



REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTRAL DE CUBASOLAR

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

**31**



Elementos para una evaluación técnico-económica de un sistema fotovoltaico conectado a la red electroenergética de Cuba.....	1
Bagazo de caña de azúcar: ¿energía o etanol carburante? Dos casos de estudio .....	11
Producción de electricidad con ciclos de baja temperatura en la industria azucarera .....	33
Determinación de la huella ecológica de la provincia de Cienfuegos.....	49
Determinación del factor de carga en las calderas pirotubulares en la ciudad de Cienfuegos .....	97
¿Qué comían nuestros aborígenes? Una mirada a través de la Arqueología Ambiental en el oriente de Cuba .....	105

## **Elementos para una evaluación técnico-económica de un sistema fotovoltaico conectado a la red electroenergética de Cuba**

### **Elements for a technical-economic evaluation of a photovoltaic system connected to the electric power grid of Cuba**

*Por M.Sc. Belén Herrera Acosta\*  
y M.Sc. Tomás Lay Portuondo\*\**

*\*\* Centro de Desarrollo de la Electrónica  
y la Automática (CDEA), Pinar del Río, Cuba.*

*\*\* Oficina Central del Grupo de la Electrónica,  
La Habana, Cuba.*

*e-mail: belen@gelect.cu y tomas@gelect.cu*

#### **Resumen**

Los sistemas fotovoltaicos (SFV) conectados a la red eléctrica son en la actualidad una opción muy costosa para los países en desarrollo, lo cual limita su aplicación. En este trabajo se presenta un análisis de los elementos que determinan en el costo nivelado de la electricidad durante el tiempo de vida útil de un SFV de referencia, acoplado al sistema electroenergético nacional (SEN), y la relación con otros indicadores económicos de rentabilidad de las inversiones, teniendo en cuenta diferentes condiciones en los acuerdos de compra-venta de la energía eléctrica producida. El procedimiento utilizado se basa en los resultados de la modelación con HOMER, y en el cumplimiento requerido de las «Indicaciones para el Proceso Inversionista» expuestas en la Resolución 91/06 de alcance nacional.

#### **Abstract**

Photovoltaic systems (SFV) connected to the electricity grid are currently a very expensive option for developing countries, which limits their application. This paper presents an analysis of the elements that determine the level cost of electricity during the lifetime of a reference SFV, coupled with the national energy system (SEN), and the relationship with other economic indicators of profitability of the investments, taking into account different conditions in the agreements of purchase and sale of the electric power produced. The procedure used is based on the results of the modeling with HOMER, and on the required compliance with the "Indications for the Investor Process" set forth in Resolution 91/06 of national scope.

## Premisas Sistema Electroenergético Nacional

Los detalles de la producción de electricidad en Cuba durante el 2009 [Oficina..., 2010] se muestran en tabla 1, en la cual se aprecia que sólo 6,6% de la electricidad producida no está asociada a combustibles fósiles.

Tabla 1. Matriz energética cubana

Tipo de generación	GWh/año	%
Termoeléctricas	9 922,3	56,0
Grupos electrógenos	4 252,1	24,0
Energías	2 373,0	13,4
Subtotal	16 547,4	93,4
Otros	1 161,7	6,6
Total	17 709,1	

Los servicios de generación, transmisión y distribución de electricidad, así como otros servicios asociados, son responsabilidad de la Unión Eléctrica (UNE) y de sus organizaciones de base distribuidas en todo el país.

El aporte de las fuentes renovables de energía (FRE) en el 2008 ascendió a 1 065,3 miles de toneladas equivalentes de petróleo, fundamentalmente por la biomasa (97,4%), en especial el bagazo asociado a la industria azucarera; las hidroeléctricas aportaron 138,3 GWh y los parques eólicos 8,2 GWh [Oficina..., 2009].

A partir de la información anterior se aprecia la fuerte dependencia del petróleo y, con ello, de su precio en la matriz energética cubana. El despliegue de las FRE es una forma de avanzar hacia la independencia energética del país, lo cual es mandato de la UNE.

Tabla 2. Productividad solar en Cuba

Estación	Provincia	Localización	kWh/m <sup>2</sup> -día	kWh/kWp-año
Casablanca	La Habana	23,17 N; 82,35 O	4,78	1 352
Paso Real de San Diego	Pinar del Río	22,57 N; 83,30 O	5,02	1 431
Puerto Padre	Holguín	21,20 N; 76,60 O	5,40	1 528
Santiago de Cuba	Santiago de Cuba	19,97 N; 75,85 O	5,81	1 657

El costo nivelado de la electricidad (CNE) se calcula a partir de valores actualizados mediante la expresión

[Cameron, 2010].

$$CNE = \frac{\sum_{n=0}^N \frac{C_n}{(1+d)^n}}{\sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+d)^n}}$$

Donde:

$C_n$ : Suma de los costos anuales del sistema.

$Q_n$ : Producción de electricidad.

$d$ : Tasa de descuento.

$N$ : Años de vida útil de la instalación.

Los factores que determinan su valor son la productividad del sistema fotovoltaico y, por tanto, su dimensión y microlocalización, así como los costos iniciales de inversión y, en menor medida, los costos de operación y mantenimiento del sistema. También influye la tasa de descuento, como medida del rendimiento exigido a la inversión; parámetro difícil de estimar en países con escasos recursos financieros.

### **Productividad fotovoltaica en Cuba**

Aunque en Cuba la radiación solar presenta una variación relativamente pequeña en todo el territorio, la microlocalización también influye en la productividad esperada de los sistemas fotovoltaicos, y es necesario realizar una estimación con la mayor precisión posible, teniendo en cuenta los datos históricos del lugar. En este trabajo se utilizó el programa de cálculo «HOMER» [NREL], del National Renewable Energy Laboratory (NREL), que tiene almacenado los registros de diez años correspondientes a la base de datos del proyecto SWERA (Solar and Wind Energy Resources Assessment), en el cual Cuba participó de forma activa [Energy Plus].

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos para 4 de las 18 localizaciones disponibles por SWERA, con el objetivo de precisar la escasa variación entre los valores máximos y mínimos; también se incluyeron otros valores representativos por su repetitividad.

Estudio de caso Se propone un sistema fotovoltaico (SFV) de hasta 50 kWp conectado al SEN, que pudiera estar ubicado en los techos, o en las inmediaciones de instalaciones industriales, comerciales o turísticas.

## **Dimensionado del sistema**

El carácter modular de los SFV permite optimizar el funcionamiento de varios bloques organizados de diferentes formas, y ofrece mayor libertad al diseño eléctrico del arreglo en presencia de sombras o limitaciones de área. Para el dimensionado del sistema se consideran los módulos de 185 Wp de producción nacional, modelo DSM-185 (23)-C [Grupo...], por lo cual se requieren aproximadamente 284 unidades. Al estar ubicados de forma vertical, un posible arreglo consiste en 10 filas de hasta 30 unidades. El cálculo de la distancia entre filas dio como resultado 1,7 m para evitar las sombras de la fila siguiente, con una inclinación de los módulos a 23°. En estas condiciones se requiere un área aproximada de 31 m de largo por 18 m de ancho, para un total de 550 m<sup>2</sup>. En general, los cálculos realizados indican que para las condiciones de Cuba el área requerida es de 11 m<sup>2</sup>/kWp instalados.

El análisis de la productividad del SFV se realiza con los datos correspondientes a la estación meteorológica ubicada en Casablanca, a fin de valorar el peor caso, y teniendo en cuenta, además, que la mayor demanda de electricidad corresponde a la capital del país. La modelación mediante HOMER del SFV de 50 kWp, arroja una productividad de 67 500 kWh anuales, para un promedio mensual de 5,6 MWh.

## **Costos del sistema**

Los precios de los sistemas fotovoltaicos han disminuido de forma drástica en los últimos meses [Yole Development, 2009], y en la actualidad se pueden encontrar ofertas del equipamiento inferiores a 3 dólares por watt-pico (Wp) en sistemas de 10 kWp [DM SOLAR], lo cual es posible lograr en las condiciones de Cuba.

En el análisis realizado se acotan los costos de inversión inicial para el SFV de 50 kWp en 3,30 USD/Wp, asumiendo que el equipamiento representa 85% del total de la inversión, y 70% de este costo corresponde a los módulos fotovoltaicos. El segundo componente importante son los inversores, por lo cual se requiere lograr una relación directa con un productor que permita acceder a precios de fábrica, así como la certificación de especialistas nacionales que permitan garantizar la operación y mantenimiento de los sistemas. Los servicios de proyecto e instalación también deben ser realizados por entidades nacionales, para lograr alcanzar el costo considerado en este trabajo.

En la tabla 3 se precisan los valores resultantes del análisis realizado para el estudio de caso.

*Tabla 3. Características fundamentales del sistema propuesto*

<b>Potencia nominal</b>	<b>52,5 kWp</b>
Productividad promedio	5 625 kWh/mes
Costo inicial de inversión	165 M USD
Costos de operación y mantenimiento	1 650 USD/año

Un aspecto importante a considerar en la disminución de los costos asociados a un despliegue de la fotovoltaica en Cuba, es la fuente de financiamiento para la inversión inicial. Los análisis realizados en este trabajo indican que un préstamo bancario en condiciones relativamente blandas, como pudieran ser 6% de interés a pagar en diez años, incrementaría el costo del sistema en estudio en 54 450 USD por concepto del pago de intereses, lo cual representa 33% del valor total de la inversión inicial.

Es por ello que se asume que el financiamiento de las inversiones se realice por medios propios, teniendo en cuenta que el carácter modular de los sistemas fotovoltaicos permite comenzar con arreglos más pequeños, e ir incrementando el tamaño hasta alcanzar la potencia deseada y(o) permitida por el área disponible. Los motivos para realizar este tipo de inversiones son diversos, aunque la razón principal es financiera, por ser una vía de ahorro directo para las entidades que son grandes consumidoras, en las cuales el precio de la electricidad pudiera ser elevado a partir de determinado consumo; también se debe considerar el compromiso con el medio ambiente.

### **Tarifas eléctricas**

En Cuba, la recuperación de la inversión solo es posible a partir del costo evitado que representa la generación de electricidad de forma autónoma, ya que no es posible aplicar a nivel nacional y masivamente políticas de incentivos a las fuentes renovables de energía mediante tarifas diferenciadas (FIT).

El Sistema Tarifario Eléctrico vigente a nivel nacional quedó establecido por el Ministerio de Finanzas y Precios mediante la Resolución No. 311-2011, la cual precisa el conjunto de tarifas vigentes, en correspondencia con el tipo de servicio y usuario.

Teniendo en cuenta que el precio mínimo del kWh generado por la Unión Eléctrica Nacional (UNE) es 9 centavos, y que se incrementa de forma progresiva en escalas de 100 kWh, siendo 19 centavos un valor intermedio, en este trabajo se asume una tarifa plana con precios del kWh en el intervalo de 15 a 45 centavos, con el fin de mostrar la importancia de este aspecto. Es necesario destacar que debido a la dualidad monetaria aún vigente en Cuba, el pago del servicio de electricidad se realiza en CUC o CUP, dependiendo de las características del cliente.

En correspondencia con las «Indicaciones para el proceso inversionista» establecidas en la Resolución No. 91/2006, del Ministerio de Economía y Planificación (MEP), se calculó un flujo de caja para la planificación financiera de la inversión objeto de este estudio, en el cual se asumen como ingresos, los costos anuales evitados por concepto del pago de la electricidad dejada de consumir. También se calcularon los indicadores económicos más utilizados en Cuba en la actualidad, ya que permiten identificar de forma rápida la recuperación de las inversiones: la tasa interna de retorno (TIR) y el período de recuperación de la inversión (P.R.). El tiempo de vida útil de la instalación se asumió en 25 años, con una degradación anual de 0,5% a partir del primer año.

ResultadosEl costo nivelado de la electricidad (CNE) no depende del precio que se le asigne a la energía fotovoltaica generada, por esta razón puede ser considerado como un indicador de la tarifa eléctrica a aplicar al kWh generado, para lograr el despliegue de la energía solar fotovoltaica.

En las figuras 1 y 2 se muestra el comportamiento del CNE para diferentes niveles de exigencia en el rendimiento económico del sistema fotovoltaico de 50 kWp en estudio, teniendo como parámetro la productividad en diferentes localidades del país y el precio del Wp instalado, que determina el valor inicial de la inversión, respectivamente.

En la figura 1 se puede apreciar que el CNE varía en dependencia de la ubicación; aunque son sólo aproximadamente 5 centavos, este pequeño valor representa un incremento de 25% en el valor de la tarifa actual de 19 centavos; lo cual indica que la microlocalización de la instalación debe ser un aspecto de prioridad a tener en cuenta en el acuerdo de la tarifa eléctrica a acordar con la UNE.



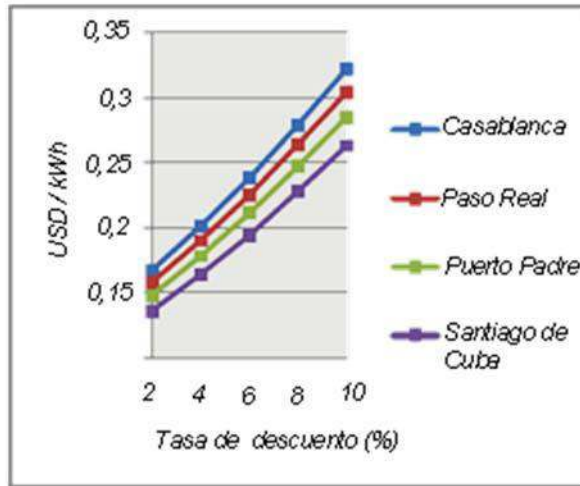


Fig. 1. Comportamiento del CNE para diferentes valores de productividad.

Aunque es un resultado incuestionable la disminución del CNE al decrecer el costo inicial de inversión, en general se aprecia una fuerte dependencia con el precio del sistema, cuya variación se ha considerado en +/- 20%. En la figura 2 también se observa, al igual que en el caso analizado anteriormente, que al exigir tasas de descuento de 10%, las tarifas para el kWh deben ser superiores a los 25 centavos.

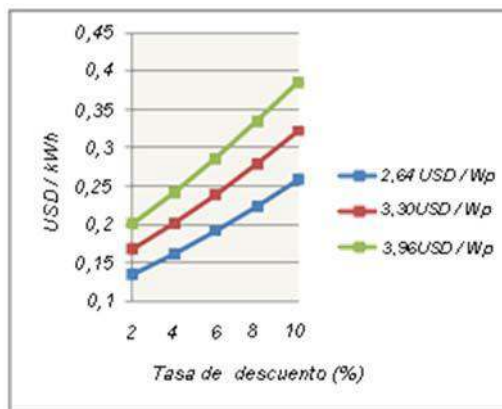
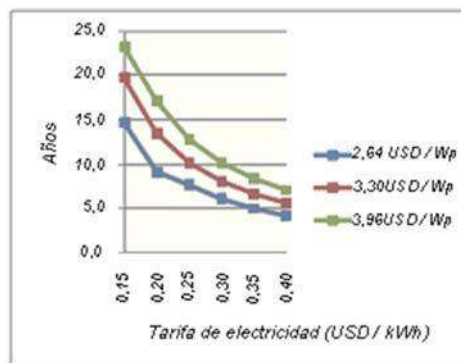


Fig. 2. Comportamiento del CNE para diferentes valores de inversión inicial.

En los países desarrollados, para este tipo de inversiones se exigen rentabilidades inferiores a 6% [Stierstorfer, 2008]; sin embargo, en las dos figuras anteriores se aprecia que pretender rentabilidades superiores a 10%, como es común en los proyectos nacionales, sólo es posible con tarifas superiores a los 25 centavos, incluso en localidades con la radiación máxima, y considerando además el menor valor del costo de inversión.

Teniendo en cuenta que los resultados anteriores indican que la mayor variación del CNE está asociada al costo inicial de la inversión, en las figuras 3 y 4 se muestra el comportamiento de los indicadores económicos seleccionados: período de recuperación de la inversión (P.R.) y tasa de interna de retorno (TIR) en función de los posibles precios del kWh, que representa el costo evitado para el inversionista; en ambos casos se han considerado como parámetros variaciones de +/- 20% en el costo del Wp instalado.

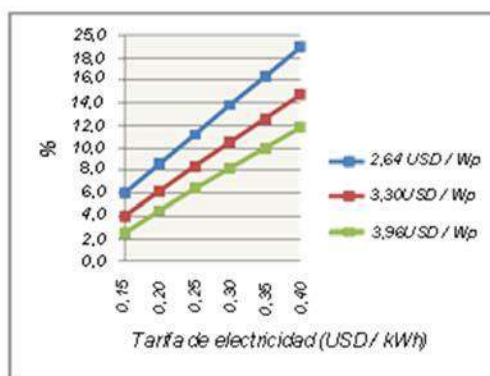
En la figura 3 se observa, de forma inmediata, que sólo con tarifas superiores a los 35 centavos se pueden lograr periodos de recuperación relativamente cortos, y que con tarifas que oscilen en los 20 centavos, como son las vigentes actualmente en Cuba, se requieren más de 10 años para recuperar la inversión. No obstante, esto no debe ser interpretado de forma negativa, ya que el tiempo de vida real de las instalaciones fotovoltaicas supera los treinta años, y una vez concluida la recuperación de la inversión, la electricidad generada por la instalación será casi gratuita, si se tiene en cuenta la tendencia creciente de los precios de los combustibles fósiles.



*Fig. 3. Comportamiento del P.R. para diferentes valores de inversión inicial.*

El comportamiento de la tasa interna de retorno de la inversión mostrado en la figura 4, indica que solo a las entidades que paguen el kWh a precios superiores a los 25 centavos les puede resultar atractiva la inversión propuesta, ya que incluso a precios cercanos a 4 USD/Wp se logran TIR superiores a 8%, valor aceptable para inversiones de este tipo [Verhelst, et al., 2010].

En la figura 4 también se puede apreciar que un sistema fotovoltaico como el propuesto es una inversión rentable en los casos de usuarios que sean altos consumidores y le correspondan tarifas del kWh superiores a 35 centavos.



*Fig. 4. Comportamiento de la TIR para diferentes valores de inversión inicial.*

Conclusiones a partir del análisis técnico económico realizado a un sistema fotovoltaico de hasta 50 kWp, se expone la viabilidad de proyectos de este tipo; los indicadores de rentabilidad económica no son atractivos, pero sí aceptables. Los valores calculados para el costo nivelado de la electricidad pueden ser una referencia para las tarifas eléctricas futuras.

En el trabajo se muestra que en Cuba existen condiciones para lograr un despliegue de la energía solar fotovoltaica, si se logra integrar las oportunidades productivas y de servicios para obtener un precio meta de 3,30 USD/Wp instalado en los sistemas fotovoltaicos conectados a la red de mediano tamaño. El establecimiento de estos sistemas es una vía de ahorro directo en las entidades que son grandes consumidoras de electricidad, y que tengan tarifas superiores a 0,23 CUC/Wp.

Es recomendable realizar las inversiones por medios propios y de forma escalonada, dependiendo de los recursos financieros disponibles, la demanda de electricidad de la entidad y el área disponible.

Disponer de créditos gubernamentales al desarrollo, a pagar en tiempos superiores a 15 años con tasas de interés inferiores a 3%, coadyuvaría al despliegue masivo de la energía solar fotovoltaica en Cuba.

### **Reconocimientos**

Los autores desean agradecer al Ing. Jorge L. Isaac, de la UNE, las discusiones realizadas sobre el servicio eléctrico durante el desarrollo de este trabajo.

## Bibliografía

- BREYER, C. AND A. GERLACH. «Global Overview on Grid Parity Event Dynamics». Q Cells, s/a.
- CAMERON, CHRISTOPHER P. «Levelized Cost Of Electricity. Sensitivity Assessment», en Taller de Integradores de Sistemas FV, SANDIA National Laboratorios, abr., 2010. Copextel S.A. EcoSol Energía.  
<http://www.copextel.com/index.asp?module=division/detalle&id=37>
- COUTURE, D., et al. «A Policymaker's Guide to Feed-in Tariff Policy Design», en *Technical Report*, jul., 2010. DM SOLAR. Acceso en <http://www.dmsolar.com/>
- EIA. «Technology Roadmap. Solar Photovoltaic Energy». 2010. El Gammal, Adel. «Potencial of On - Grid Photovoltaic Solar Energy in Sunbelt Countries», en Conferencia sobre el Cambio Climático CPO 15. Copenhagen: EPIA, dic., 2009.
- Energy Plus. «Weather Data». Disponible en: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data3.cfm/region=4\\_north\\_and\\_central\\_america\\_wmo\\_region\\_4/country=CUB/cname=Cuba](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=4_north_and_central_america_wmo_region_4/country=CUB/cname=Cuba)
- Grupo de la Electrónica. *Catálogo de productos*.  
[http://www.gec.cu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=57&Itemid=56](http://www.gec.cu/index.php?option=com_content&view=article&id=57&Itemid=56)
- MILLNER, A. «The Solar Industry within the SET-Plan (or “Quo-Vadis, European Solar Industry?”)», en 5 Fórum de la Industria FV en Europa, Valencia, sep., 2008.
- Ministerio de Economía y Planificación. *Resolución No. 91/06. Indicaciones para el proceso inversionista*. La Habana; 2006.
- NREL. HOMER. Disponible en <http://www.homerenergy.com>.
- Oficina Nacional de Estadística. *Inventario nacional de fuentes renovables de energía. Enero-diciembre 2008*. La Habana: may., 2009.
- Oficina Nacional de Estadísticas. *Producción y consumo de electricidad. Enero-diciembre 2009*. La Habana: feb., 2010.
- STIERSTORFER, J. «Total Cost of Ownership (TCO) - Perspective on PV competitiveness», en 5 EPIA Forum. Valencia: sep., 2008.
- VERHELST, B., et al. «Technical and Business Economic Study of Photovoltaic Systems», en International Conference on Renewable Energies and Power Quality. España: 2010.
- Yole Development. «Photovoltaic Report. Technology, Equipment and Materials». 2009.

## **Bagazo de caña de azúcar: ¿energía o etanol carburante? Dos casos de estudio**

### **Bagasse of sugar cane: energy or fuel ethanol? Two case studies**

*Ing. Francisco Diez Torres e Ing.  
Norge Garrido Carralero*

*\* Instituto Cubano de Investigaciones de los  
Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA),  
La Habana, Cuba.*

*e-mail: francisco.diez@icidca.edu.cu  
y norge.garrido@icidca.edu.cu*

#### **Resumen**

El presente trabajo constituye un análisis comparativo sobre la utilización del bagazo como combustible directo para la generación y cogeneración, o para la producción de etanol. Como resultado se ha obtenido que el bagazo siempre tenga un valor de uso mucho mayor como combustible directo en la generación de energía eléctrica y térmica, que como materia prima para la producción de etanol mediante su hidrólisis. Con ello se logra vender excedentes de electricidad a la red nacional, a partir de esquemas eficientes de producción de azúcar que aportan el bagazo sobrante necesario, y de eficientes esquemas de cogeneración que deberán concluir con la gasificación del bagazo y la generación en ciclos combinados. Además, se podrán obtener ganancias por la venta de créditos de carbono por la reducción en la emisión de gases contaminantes y de efecto invernadero.

**Palabras clave:** Bagazo, etanol, ciclo Rankine, ciclo combinado, hidrólisis ácida y enzimática

#### **Abstract**

The present work constitutes a comparative analysis on the use of bagasse as a direct fuel for generation and cogeneration, or for the production of ethanol. As a result, it has been obtained that the bagasse always has a much higher use value as a direct fuel in the generation of electrical and thermal energy, than as a raw material for the production of ethanol through its hydrolysis. This is achieved by selling surplus electricity to the national grid, based on efficient sugar production schemes that provide the necessary excess bagasse, and efficient cogeneration schemes that must conclude with the gasification of the bagasse and the generation in combined cycles. In addition, profits may be obtained from the sale of

carbon credits due to the reduction in the emission of polluting gases and greenhouse gases.

**Keywords:** Bagasse, ethanol, Rankine cycle, combined cycle, acid and enzymatic hydrolysis

## **Introducción**

Durante las últimas décadas, la comunidad internacional ha tomado conciencia de los grandes problemas que aquejan a nuestro planeta y de la necesidad de ir hacia un desarrollo sustentable. Uno de los grandes problemas a ser resueltos es la reducción del consumo de combustibles fósiles, por un lado, debido al agotamiento inevitable de las reservas por los altos niveles de consumo, y por otro, por la necesidad de reducir las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero que afectan el medio ambiente. Por esta razón es que en los últimos años se han buscado nuevas fuentes de energía, renovables y limpias, que ayuden a reducir el consumo de aquellos y la consiguiente emisión de gases contaminantes.

Entre las fuentes renovables de energía en estudio, la más antigua, utilizada y difundida, es la energía obtenida a partir de la biomasa, sobre la que se realizan estudios de optimización de los procesos de combustión para alcanzar mayores rendimientos y eficiencias, y se estudian nuevas tecnologías, como son los procesos termoquímicos y la gasificación. Entre las plantas utilizadas para fines bioenergéticos se destacan las gramíneas, como la caña de azúcar, cuya eficiencia fotosintética es de las más altas entre todos los vegetales, razón por la cual la agroindustria azucarera es considerada una gran fuente de producción de energía [BNDES, 2008]. Como resultado de la molienda de la caña se obtiene el bagazo, que es utilizado para autoabastecer a la industria energéticamente (potencia y calor en sistemas de cogeneración) y como derivado tradicional, el etanol, que normalmente se obtiene de las mieles finales, pero que también puede obtenerse de mezclas de jugo y miel, y de jugo de caña directamente.

Por otra parte, durante la última década, el etanol ha devenido como gran solución, pues no sólo puede ser utilizado como combustible automotor directamente, sino que en mezclas con hidrocarburos se logra disminuir las emisiones dañinas en los vehículos automotores, debido a que su gran contenido de oxígeno (35%), junto a otras características, permiten una combustión más limpia y un mejor desempeño de los motores, lo que conlleva a la reducción de las emisiones contaminantes, cumpliendo con ello lo establecido en el Tratado de Kyoto [BNDES, 2008; Aguilar, 2007].

En los últimos tiempos, debido a la necesidad de incrementar la producción de bioetanol utilizando nuevas materias primas que no posean valor alimenticio, se ha incrementado el estudio de los procesos de hidrólisis

(ácida y enzimática), con el objetivo de separar la lignina de la celulosa y hemicelulosas de los materiales lignocelulósicos, y convertirlas en etanol. Así, en los países productores de azúcar y etanol a partir de la caña, se ha pensado en la utilización de estos procesos para producir bioetanol del bagazo, material lignocelulósico, que se dispone en la misma fábrica sin necesidad de ser recogido y transportado desde las áreas de plantación a las plantas procesadoras [Núñez, s/a]. Pero, ¿vale realmente la pena utilizar un material que de por sí constituye un combustible, con una utilización bien estudiada y cuyos procesos de combustión han sido optimizados, y aún se pueden optimizar más, para producir otro combustible?

El presente trabajo no pretende realizar un análisis detallado de la factibilidad de la producción de bioetanol o de bioelectricidad a partir del bagazo de la caña de azúcar, pero sí pretende introducir el tema a discusión, con el objetivo de hacer un uso verdaderamente racional de esta fuente de energía, sobre todo si se tiene en cuenta que la caña de azúcar puede llegar a representar, por medio del bioetanol y de la bioelectricidad, la segunda fuente primaria, y la principal fuente renovable en la matriz energética de los países productores de azúcar y etanol de caña.

## **Materiales y métodos**

### **Características generales del bagazo de la caña de azúcar**

El bagazo es el residuo lignocelulósico fibroso remanente de los tallos de caña, obtenido a la salida del último molino del tándem azucarero, constituyendo un conjunto heterogéneo de partículas de diferentes tamaños que oscilan entre 1 y 25 mm, presentando una fracción promedio de aproximadamente 20 mm. Desde el punto de vista físico, el bagazo integral se compone de 45% de fibra, 2-3% de sólidos insolubles, 2-3% de sólidos solubles y 50% de humedad, mientras que desde el punto de vista químico, se compone de 46,6% de celulosa, 25,2% de hemicelulosas (pentosanos) y 20,7% de lignina. Las hemicelulosas abarcan un conjunto de polisacáridos diferentes, cuya composición tiene como características comunes: solubilidad en solventes, reactividad frente a los ácidos y descomposición en azúcares y furfural. Estas propiedades las diferencian, analíticamente, del resto de los componentes químicos del bagazo. La lignina, tercer componente en importancia cuantitativa del bagazo, entre 20 y 22%, representa un conjunto de polímeros amorfos, reticulares, de altos pesos moleculares y naturaleza eminentemente fenólica [ICIDCA, 2000].

En cuanto a los usos del bagazo, es necesario tener en cuenta el creciente desarrollo de la industria de los derivados, es decir, de la diversificación de

la industria como manera de reevaluación económica de la misma, y su tradicional compromiso energético, los cuales comienzan a adquirir una relevante significación económica. Dentro de los derivados de mayor interés en los últimos tiempos está el etanol, por la disponibilidad del bagazo en la fábrica de azúcar, lo que disminuye los costos de producción porque se prescinde de los procesos de aumento de densidad, y de la transportación automotor, entre otros.

El bagazo ha sido utilizado históricamente como combustible en la industria azucarera, y aún cuando su valor calórico es relativamente bajo (1 850 kCal/kg), al ser comparado con otros combustibles fósiles tradicionales, no hay duda de que constituye un valioso potencial energético, sobre todo, para aquellos países que no tienen disponibilidades significativas de combustible, y a la vez son grandes productores de azúcar de caña. Así, si en el pasado los esquemas de producción de azúcar se calculaban energéticamente, de manera tal que el bagazo sirviera de combustible para la generación de la potencia y el calor necesario en la industria, con el mínimo o ningún sobrante, es decir, con "0" bagazo residual, en la actualidad se buscan esquemas energéticos y de procesos que aseguren la mayor cantidad de bagazo sobrante para la producción de derivados y, sobre todo, en los últimos años, para generar electricidad, que se aporta (se vende) a la red, sustituyendo fuel-oil y asegurando la venta de créditos de carbono con un material renovable en cada zafra. En este sentido, se ha demostrado la posibilidad de satisfacer las demandas energéticas de un central con casi la mitad del bagazo que se genera, por lo que el sobrante puede ser utilizado como materia prima para otras producciones.

Por otra parte, la existencia cada vez menor de materiales fibrosos para ser empleados como materia prima en la industria de derivados, y su carácter renovable, han estimulado también en las últimas décadas un desarrollo acelerado de la utilización del bagazo en producciones de derivados [ICIDCA, 2000].

### **Características generales del bioetanol**

El término bioetanol se refiere al alcohol etílico de fórmula  $C_2H_5OH$ , conocido también como etanol, metil carbinol, alcohol de caña, o de granos. Es un líquido incoloro, transparente, volátil, de olor etéreo, sabor picante, y miscible en agua y en diversos líquidos orgánicos. Se emplea en la industria destilado con diferentes grados de pureza, según su destino. Normalmente se comercializa en forma hidratada (de 95 a 96% v/v), o anhidra (mayor de 99% v/v) [ICIDCA, 2000].



La producción de bioetanol se realiza en bases comerciales por dos vías tecnológicas (Fig. 1): utilizando materias primas dulces, directamente fermentables, como la caña de azúcar, la remolacha azucarera y el sorgo sacarino o sorgo dulce, o mediante el uso de materias primas amiláceas, como el maíz, el trigo y la yuca, cuyo almidón debe ser convertido en azúcares (sacarificado) antes de la fermentación. Una tercera vía sería el uso de la biomasa disponible en materiales como el bagazo y la paja de caña, mediante la hidrólisis de las cadenas celulósicas, produciendo una solución de azúcares fermentables. Esta vía presenta gran interés gracias al bajo costo de la materia prima, pero aún no está disponible en escalas comerciales, aunque existen expectativas de que en los próximos años pueda alcanzar viabilidad económica [BNDES, 2008].

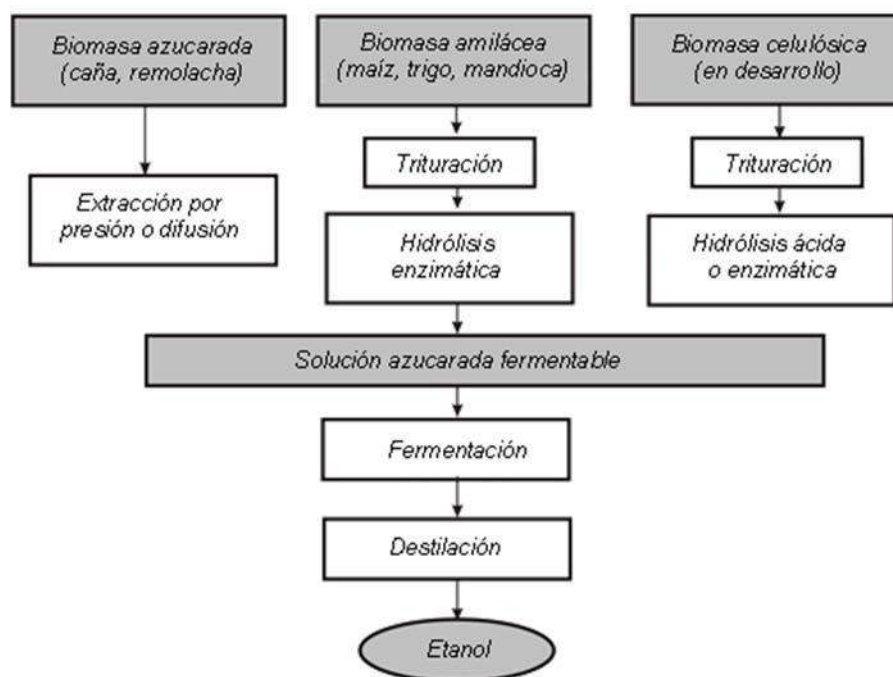


Fig. 1. Esquemas posibles de producción de bioetanol.

Desde el inicio de los años setentas del pasado siglo, a causa de la crisis energética de aquellos años, el etanol ha tomado auge. Su uso fundamental ha sido como sustituto de la gasolina debido a que sus mezclas aumentan el octanaje de forma adicional y permite reducir el empleo de tetraetilo de plomo, que posee acción cancerígena. Adicionalmente la sustitución total de la gasolina por alcohol permite reducir en los gases de escape el monóxido de carbono y óxido de nitrógeno, los cuales son altamente nocivos. En la actualidad, se ha incrementado nuevamente su utilización, y aunque hubo un período de decrecimiento de su producción y uso, a partir del 2000 y debido a la necesidad de reducción del uso de los combustibles fósiles y de la

oxigenación de las gasolinas para disminuir las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero, su utilización en mezclas con la gasolina ha devenido práctica obligatoria en los países firmantes del tratado de Kyoto [BNDES, 2008; Núñez. s/a].

Otros usos importantes del alcohol son como antiséptico, solvente, agente preservante y precipitante, disolvente de nitrocelulosa, gomas, resinol, jabón, aceites esenciales, drogas, ceras, en la elaboración de bebidas alcohólicas, en la electrónica, y muchos otros. Últimamente ha ganado interés el empleo del etanol como materia prima para la fabricación de sustancias químicas (alcoquímica).

Se deben observar una serie de aspectos referentes a la materia prima en la producción de etanol [BNDES, 2008]:

1. Las materias primas más adecuadas para la producción de alcohol son aquellas que, en un sentido amplio, se muestran más eficientes. Así, vale priorizar los cultivos que minimicen los requerimientos de tierra, agua y aportes externos, de agroquímicos fundamentalmente.
2. Debe ser tomada en cuenta la viabilidad económica, pues no tiene sentido proponer el uso de cultivos nobles y con buen valor de mercado, como fuente de bioenergía, mucho menos en estos momentos y sobre todo, si el valor energético de la biomasa propuesta como materia prima supera al del etanol que se produciría a partir de esta. Sólo en países en los que se le han otorgado precios de oportunidad al etanol, por encima de los precios de la electricidad, podría desestimarse este aspecto.
3. La materia prima representa, típicamente, entre 60 y 70% del costo final del bioetanol, y la búsqueda de alternativas de bajo costo es fundamental.
4. La existencia de coproductos y subproductos de valor alimenticio, industrial o energético, es otro aspecto importante.
5. El balance energético de cada una de las materias primas, o sea, la relación entre la energía producida y la demanda de energía, directa e indirecta, para producir tal energía. En este sentido, son más interesantes los cultivos de alta productividad y baja demanda de insumos energéticos exógenos, es decir, los de mayor grado de conversión (Tabla 1).

*Tabla 1. Comparación energética de las diferentes materias primas para la producción de etanol*

<b>Materia prima</b>	<b>Relación de energía</b>	<b>Emisiones evitadas</b>
Caña	9,3	89%
Maíz	0,6 - 2,0	-30% a 38%
Trigo	0,97 - 1,11	19% a 47%
Remolacha	1,2 - 1,8	35% a 56%
Mandioca	1,6 - 1,7	63%
Residuos lignocelulósicos*	8,3 - 8,4	66% a 73%

Analizando los aspectos antes expuestos, cabe preguntarse si, independientemente que los altos niveles de conversión energética y de reducción de gases de efecto invernadero apunten hacia una alta viabilidad de la producción de etanol a partir de la caña de azúcar, sería prudente producir etanol del bagazo atendiendo a su buen valor de mercado como fuente de bioenergía.

### **Producción de energía vs. producción de etanol a partir del bagazo de la caña**

Si el valor calórico o calorífico de una sustancia combustible, es el calor que puede ser generado con la combustión de la unidad de peso de la misma, entonces, atendiendo a los valores calóricos del bagazo integral (50% de humedad) y del etanol, podemos hacer una primera comparación entre ambos, para conocer si realmente se justifica la conversión del bagazo a etanol en vez de utilizar otras materias lignocelulósicas para esos fines, y utilizar el bagazo como generador de energía eléctrica.

Se distinguen dos tipos de valor calórico, o calorífico: el «valor calorífico superior» y el «valor calorífico inferior». El primero, indica el calor que puede obtenerse teóricamente con el combustible, que es alcanzable debido a que, en la práctica, es imposible reducir la temperatura de los productos de la combustión hasta la temperatura de rocío. Téngase en cuenta que: «el valor calorífico superior es aquel que se produce con la combustión de un kilogramo de combustible, a 0 °C y 760 mmHg de presión, donde todos los productos de combustión se reducen a las mismas condiciones, y el agua presente en el combustible, así como aquella que se forma por la combustión del hidrógeno presente, se condensa». El segundo, valor calorífico inferior, o neto, no es más que «aquel que supone que el agua presente en el combustible, así como la

que se forma en la combustión, permanecen en estado de vapor» [Hugott, 1967]. Es este valor calorífico inferior, el que da la indicación más precisa del calor que puede obtenerse realmente, y es entonces el que debe ser utilizado en la práctica y calculado, ya que no existe ningún método para determinarlo directamente.

Entonces, tomando el valor calorífico inferior del etanol puro por tablas, que es 26 790 kJ/kg, (6 399 kCal/kg), y calculando el del bagazo integral a 50% de humedad, de acuerdo a la expresión reportada por Hugot [1967]:

$$V.C.N. = 4\,250 - 4\,850 w = 4\,250 - 4\,850 (0,5) = 1\,850 \text{ kCal/kg}$$

Donde:

*w*: Porcentaje de humedad del bagazo. En la expresión anterior, ya se tuvieron en cuenta las pérdidas de calor en la producción de vapor en la fábrica. De acuerdo con lo anterior, 1 t de bagazo integral a 50% de humedad, puede producir en combustión, un calor de 1 850 000 kCal. Por otra parte, de acuerdo a la estequiometría de los procesos actuales de conversión de bagazo a etanol mediante hidrólisis, tanto ácida como enzimática, con una tonelada de bagazo sólo se pueden obtener 186 L de etanol total (Fig. 2).

Por lo tanto, con 186 L de etanol que se producen con una tonelada de bagazo [Nuñez] se puede producir un calor en combustión de:

$$186 \text{ L} \times 0,79 \text{ kg/L} \times 6\,399 \text{ kCal/kg} = 940\,269,06 \text{ kCal.}$$

Entonces, si comparamos el calor que puede ser producido por la combustión de una tonelada de bagazo integral a 50% de humedad, y el calor que puede ser producido con los 186 litros de etanol que se obtienen actualmente por los métodos de conversión de celulosa a etanol mediante hidrólisis, se obtienen 909 731 kCal más:

$$1\,850\,000 - 940\,269 = 909\,731 \text{ kCal.}$$

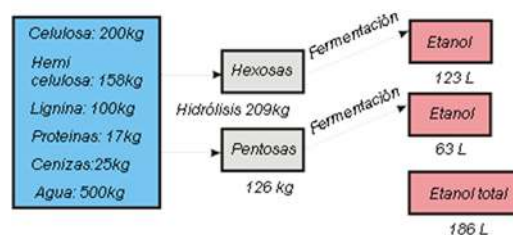


Fig. 2. Estequiometría de la conversión de una tonelada de bagazo integral a etanol.

Del análisis anterior se observa que al convertir una tonelada de bagazo a etanol mediante los procesos actuales de conversión por hidrólisis, en vez de utilizarlo en la generación de potencia y calor, se perderá energía posible a ser producida equivalente a 909 731 kCal.

Sin embargo, la bibliografía plantea que podrá llegarse a convertir bagazo a etanol mediante hidrólisis en una relación de hasta 400 L/t de materia celulósica. Teniendo en cuenta que la celulosa y las hemicelulosas representan entre ambas 71,8% del bagazo integral, la relación anterior correspondería a 287 L de etanol/t de bagazo integral, y el análisis anterior reflejaría que con la combustión del etanol que se produciría con la conversión de una tonelada de bagazo, se obtendrá una cantidad de calor por combustión (del etanol) equivalente a:

$$(287 \text{ L} \times 0,79 \text{ kg/L}) \times 6 \text{ 399 kCal/kg} = 1 \text{ 450 845,27 kCal.}$$

De este nuevo análisis se desprende que, aún con el incremento a niveles máximos de la cantidad de etanol obtenido por tonelada de bagazo mediante procesos de hidrólisis, se obtendrían 399 115 kCal más con la combustión directa del bagazo.

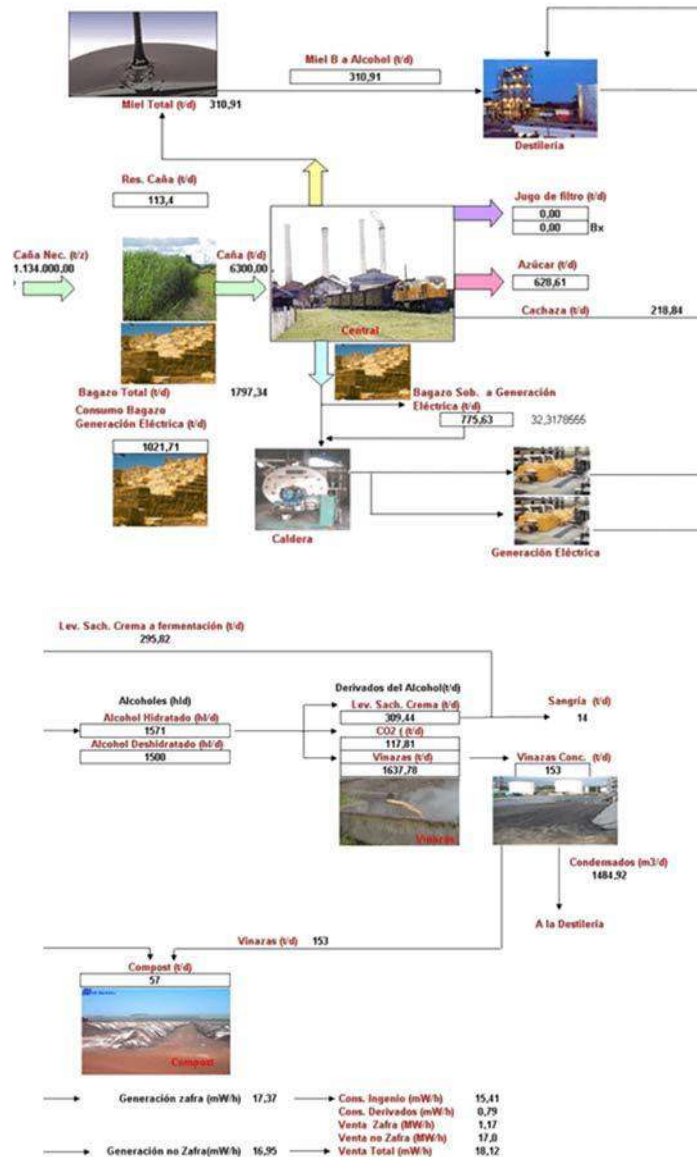
### **Análisis de dos casos de estudio**

Si se toman dos casos de estudio de producción diversificada, el primero con producción de azúcar y de etanol a partir de miel final, y el segundo, con producción de azúcar y de etanol a partir de miel B y jugo de los filtros, tendremos como resultados los mostrados en los esquemas de las figuras 3 y 4, obtenidos en corridas del programa DAFLEX (Diversificación Azucarera Flexible) desarrollado en el ICIDCA sobre hoja de cálculo EXCEL [Díaz, *et al.*, 2002]. Los esquemas anteriores se calcularon tomando como base los parámetros que se muestran en la tabla II.

Del análisis de ambos esquemas, y de los parámetros de operación de la tabla 2, se observa que las diferencias entre la energía eléctrica generada durante y después de zafra, así como en la energía consumida en los procesos de producción de azúcar y etanol, no son muy grandes; el segundo esquema (Fig. 4) vende 4,64 MWh más durante ambas etapas, que el primero (Fig. 3), en el que resulta mayor la electricidad vendida después de zafra (16,95 MWh), generada con el bagazo sobrante que se emplearía en la producción de etanol, si no se utilizara en la generación de electricidad. Por tanto, partiendo de una producción de 186 L de etanol por tonelada de bagazo con los procesos actuales de hidrólisis de biomasa, se simuló la generación de electricidad a partir del etanol obtenido con el bagazo sobrante en los dos esquemas anteriores, con las mismas condiciones de ambos, y que se presentan en las figuras 5 y 6, donde se observa que la cantidad de etanol producido en ambos esquemas se diferencia sólo en 2,24 t/día, que representan alrededor de 2 835 L de

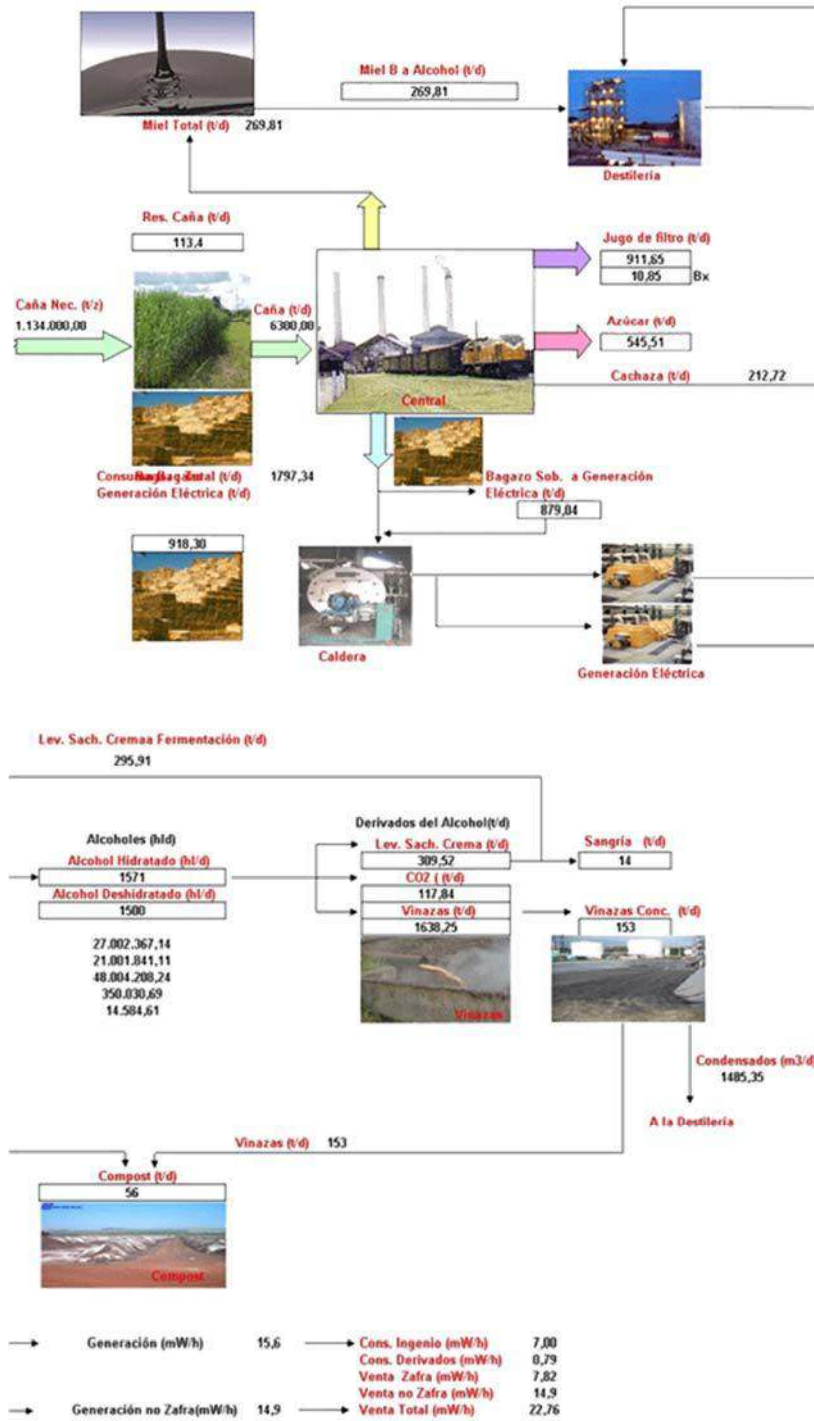
etanol más por día, pero la electricidad que se produce en ambos casos no difiere y es de 4,70 MWh.

En este caso, si se compara la electricidad que se puede producir con el etanol que se obtiene a partir del bagazo sobrante de los esquemas anteriores, con la electricidad que se genera a partir de la combustión directa del mismo, se corrobora que tal y como se demostró en la comparación de la cantidad de calor que se podía producir con ambos combustibles, con el bagazo se obtiene mucha más energía eléctrica y térmica, que con el etanol producido a partir de éste.



DAFLEX - ICIDCA  
21.02/2011

Fig. 3. Esquema de producción diversificada. Miel final a etanol.



DAFLEX - ICIDCA  
21/02/2011

Fig. 4. Esquema de producción diversificada. Miel B y jugo de los filtros a etanol

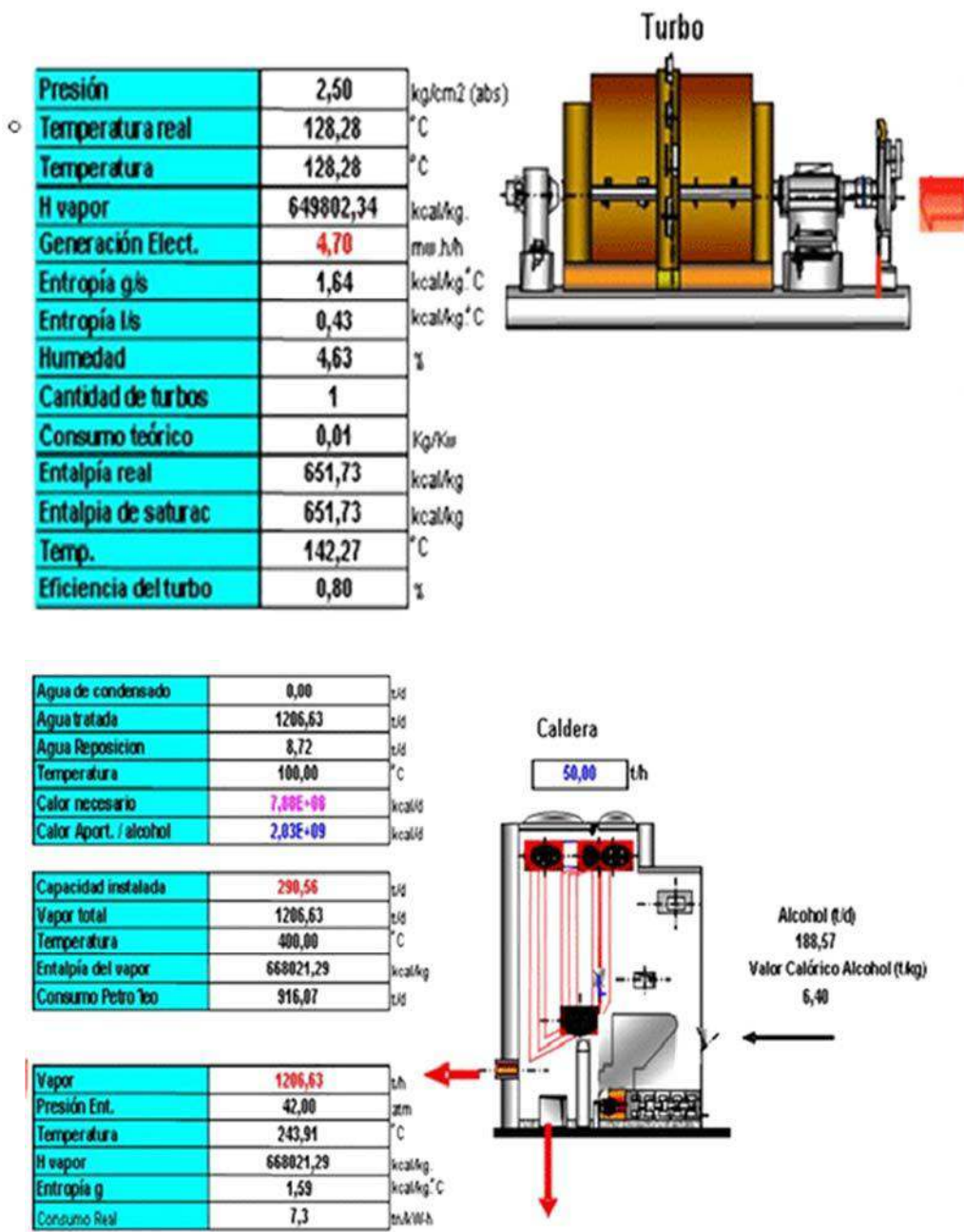
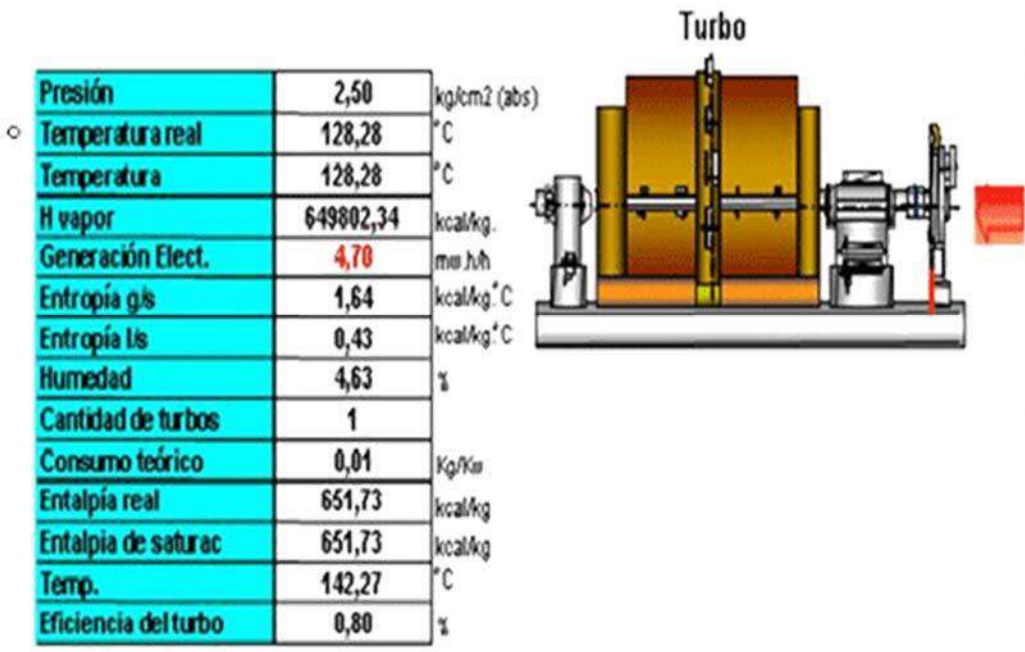


Fig. 5. Generación de electricidad con el etanol producido con el bagazo sobrante en el esquema de miel final a etanol.





Agua de condensado	0,00	td
Agua tratada	1220,91	td
Agua Reposicion	872	td
Temperatura	100,00	°C
Calor necesario	7,97E+08	kcal/d
Calor Aport. / alcohol	2,03E+09	kcal/d

Capacidad instalada	290,56	td
Vapor total	1220,91	td
Temperatura	400,00	°C
Entalpía del vapor	668021,29	kcal/kg
Consumo Petróleo	930,35	td

Vapor	1220,91	td
Presión Ent.	42,00	atm
Temperatura	243,91	°C
H vapor	668021,29	kcal/kg
Entropía g	1,59	kcal/kg.°C
Consumo Real	7,3	td/KWh

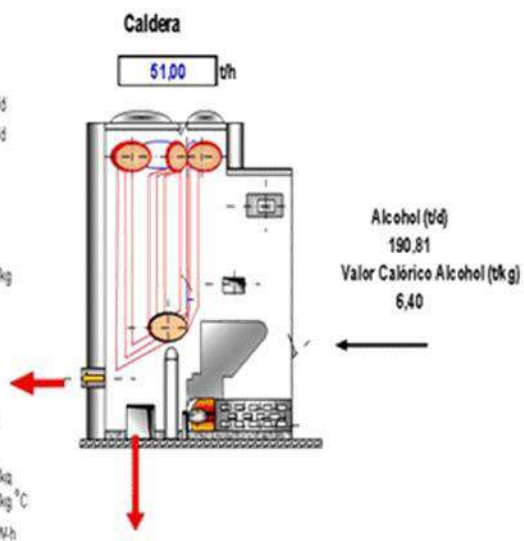


Fig. 6. Generación de electricidad con el etanol producido con el bagazo sobrante en el esquema miel final y jugo de los filtros a etanol.

*Tabla 2. Parámetros de la producción de azúcar y etanol de los casos representados en las figuras 3 y 4*

Parámetro	Esquema 1	Esquema 2	Parámetro	Esquema 1	Esquema 2
Días de zafra	180	180	Consumo vapor proceso, t/t caña	0,26	0,26
Molienda real, t/día	6 300	6300	Índice general de vapor, t vapor/t bagazo	7000	7000
Caña molida, t/h	262,5	262,5	Número y capacidad de turbos	1 de 15 MW	1 de 15 MW
Bagazo en caña, kg/t caña	285	285	Eficiencia turbos, %	0,80	0,80
Cantidad de calderas	1	1	Consumo electricidad azúcar, MWh	4,08	6,07
Capacidad calderas, t/día	100	100	Consumo electricidad etanol, MWh	0,79	0,79
Presión de vapor vivo, kgf/cm <sup>2</sup>	42	42	Bagazo disponible / calderas, t	1 797,34	1 797,34
Temperatura del vapor vivo, °C	400	400	Bagazo/generación en zafra, t/día	1 021,71	918,30
Entalpía del vapor vivo, kCal/kg	766,93	766,93	Bagazo/generación después de zafra, t/día	775,63	879,04
Consumo vapor en turbo generadores, kg/kW	5	5	Poder calorífico inferior del bagazo, kCal/kg	1 850	1 850
Presión vapor de escape, kgf/cm <sup>2</sup>	2,5	2,5	Producción electricidad en zafra, MWh	17,37	15,6
Entalpía vapor de escape, kCal/kg	648,85	648,85	Producción electricidad después de zafra, MWh	16,95	14,9

Los parámetros utilizados, sobre todo en cuanto a presión de vapor en la caldera y equipos de cogeneración, son aún modestos si se requiere potenciar la generación de electricidad. Si se realiza un análisis de la evolución técnica que ha sufrido la cogeneración en la industria azucarera, debido a los cambios de filosofía en cuanto a la disponibilidad de bagazo y

su uso como fuente de energía, renovable y limpia, para la generación de electricidad, observamos que [Costa, 2008]:

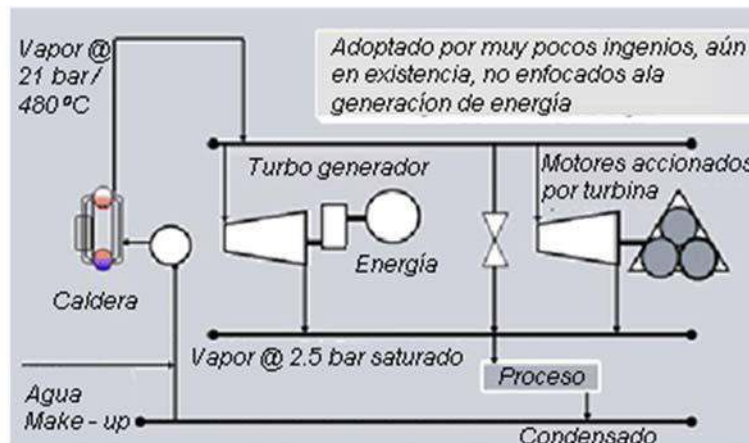


Fig. 7. Diagrama típico o tradicional de un ingenio azucarero.

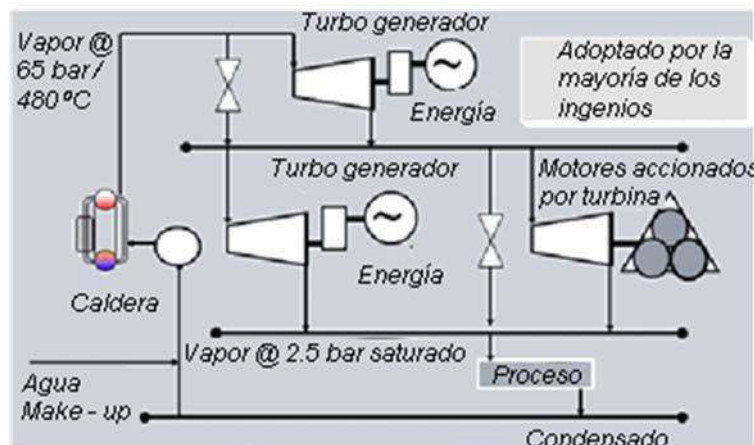


Fig. 8. Diagrama típico optimizado de un ingenio azucarero.

1. Antiguamente, el bagazo era considerado como un residual que ocasionaba un problema ambiental, por lo que debía ser quemado para resolver tal situación, y sólo se producía con él la electricidad y el vapor necesario para el proceso. Las calderas utilizadas eran de baja presión y temperatura, con una eficiencia pobre, al igual que las unidades de cogeneración que, en muchas ocasiones, no satisfacían todas las necesidades del ingenio azucarero. Por lo general, los motores mecánicos eran accionados con pequeñas turbinas de vapor, y sólo las bombas y otros equipos como las centrífugas, y otros, eran accionados por motores eléctricos (Fig. 7).

2. Posteriormente se optimiza el esquema anterior, produciéndose una generación de energía más eficiente, con una mejor relación presión/temperatura (Fig. 8), pero, sin embargo aún no bien optimizada y por debajo de las posibilidades reales. Las calderas de nueva generación tenían todavía una eficiencia media y subsistían aún demasiados motores mecánicos accionados con turbinas pequeñas de vapor, de baja eficiencia. No existía todavía un concepto definido de planta de generación de vapor y energía, pues la generación de electricidad no era todavía una necesidad.
3. Actualmente, la filosofía energética de la industria azucarera y de los derivados ha cambiado, debido al alza de los precios del petróleo, la necesidad de buscar fuentes alternativas de energía, limpias además, para evitar o disminuir la emisión de gases de efecto invernadero (Fig. 9). Por esta razón, la mayoría de los ingenios azucareros actuales presentan esquemas más eficientes de cogeneración, con mayores presiones, mayores eficiencias y con aporte de electricidad a la red. La producción de energía ha pasado a ser uno de los principales productos del ingenio azucarero, y los esquemas se caracterizan por [Costa, 2008]:  
Parámetros de alta presión y temperatura, con calderas de alta eficiencia
  - Reemplazo de turbinas de vapor pequeñas por motores eléctricos con convertidor de frecuencia, por lo que se incrementa la eficiencia global de la planta
  - La eficiencia es un objetivo fundamental en todo el ingenio azucarero. En algunos países se utiliza la paja y la punta de la caña como combustibles adicionales al bagazo. Se utilizan equipos de alto comportamiento, rendimiento y eficiencia
  - Se realiza una evaluación técnica de los procesos de gasificación de la paja de la caña y el bagazo, para producir una migración a ciclo combinado.

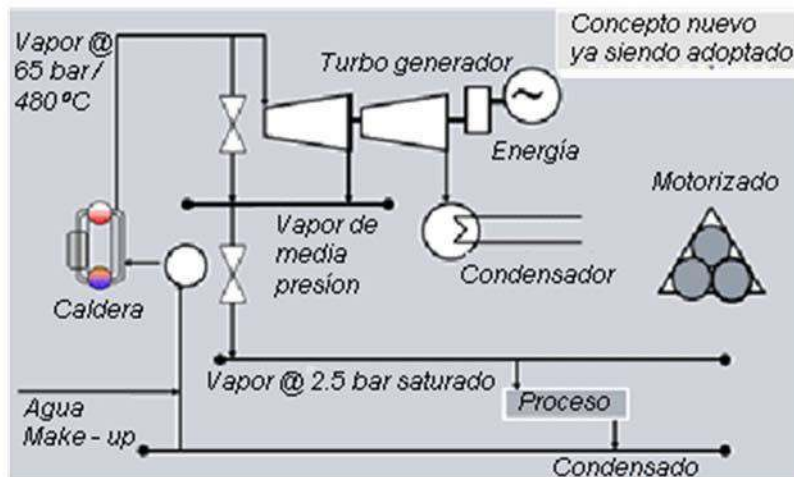


Fig. 9. Diagrama de un ingenio azucarero actual

En la actualidad, dada la potencialidad de la industria azucarera, las plantas de azúcar y derivados se están convirtiendo en productores de energía, es decir, la energía pasa a ser un producto principal y deja de contemplarse como un subproducto. En los nuevos ingenios azucareros, o en aquellos que se remodelan sobre todo desde el punto de vista energético, se tienen en consideración para el diseño de la planta de cogeneración los siguientes factores [Costa, 2008; Herrera, 2010]:

- Utilización del bagazo sólo, o bagazo más paja de la caña como combustible.
- Parámetros de vapor. Altas presiones y temperaturas con bajo consumo de vapor por kW de electricidad producido.
- Reducción de consumos internos de vapor de proceso en todo el ingenio azucarero.
- Electrificación de los accionadores
- Conexión a la red pública
- Operación del ingenio azucarero sólo en zafra, o fuera de zafra, para producción de electricidad con el bagazo sobrante.
- Uso de nuevas tecnologías. La tendencia actual es la de aumentar la eficiencia de todos los equipos que intervienen en la producción y utilización de la energía, fundamentalmente la caldera y los turbogeneradores, lo que se resume según [Costa, 2008]:
- Parámetros de vapor por encima de 85 bares y 500 °C.
- Producción de energía durante todo el año o la mayor parte de él.
- En cuanto a las turbinas se estimula el uso de una sola turbina de gran tamaño, de condensación-extracción y con álabes de reacción, en vez de dos unidades, una de contrapresión con extracción y otra de condensación, trabajando a 92 bares y 530 °C.

La siguiente tabla, compara los anteriores esquemas de cogeneración en cuanto a consumo específico de vapor/kW y energía eléctrica generada en MWh/año [Costa, 2008]:

*Tabla 3. Comparación entre los diferentes esquemas de cogeneración*

<b>Presión, bar</b>	<b>21</b>	<b>42</b>	<b>65</b>	<b>&gt; 90</b>
Temperatura, °C	300	400	490	> 500
Consumo específico, kg vapor/kW	12,5	7,8	5,7	4,74
Energía generada, MW/año	38 400	61 500	84 200	101 300
Incremento de generación, %	X	X + 60	X + 200	X + 260

No obstante, las bondades de la generación y cogeneración examinadas anteriormente con altas presiones y temperaturas de vapor, turbogeneradores de condensación extracción y gran tamaño, el rendimiento del ciclo Rankine es muy malo. Por ejemplo, con turbina y bomba de buenos rendimientos internos (cerca de 85%), un ciclo de Rankine difícilmente supera 30%. Introduciendo mejoras como el sobrecalentamiento, el recalentamiento y la adecuada elección de las temperaturas y presiones de inicio y término de expansión, los ciclos de Rankine modificados pueden llegar a tener rendimientos cercanos a 40% [Monsalve, 2008].

Para obtener rendimientos más altos, se hace necesaria la incorporación de la tecnología de ciclo combinado, en la que se realiza la generación, mediante gas primero (turbina de gas), y mediante vapor en forma paralela e integrada, en una segunda etapa. De la misma manera, el gas de síntesis obtenido de la biomasa, podría ser tratado y convertido a etanol. Ambos procesos no están disponibles todavía a escala comercial, aún cuando la gasificación ya ha sido realizada a escalas piloto y demostrativa [Yanagihara].

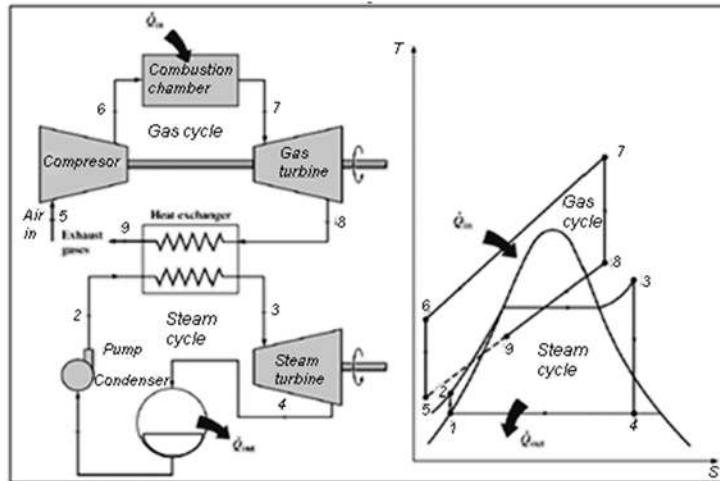


Fig. 10. Esquema y diagrama T vs. S para un ciclo combinado.

Tomando la expresión de eficiencia térmica teórica máxima para cualquier máquina térmica, hacemos un análisis comparativo sencillo entre el ciclo Rankine y el ciclo combinado, partiendo de las siguientes condiciones: 1 100 °C de temperatura de combustión del bagazo, en el ciclo Rankine se obtiene vapor en la caldera a 520 °C, y se condensa a 70 °C, temperatura de salida de la turbina de gas es de 520 °C (se considera igual al del ciclo Rankine, lo cual no es cierto, pues no se pierde tanto calor en una turbina de gas), y 20% de pérdidas en la caldera de recuperación que genera vapor a 400 °C, con 70 °C en el vapor condensante, se tiene [AADECA, 1994; Lesme]:

- Ciclo Rankine:  $(1 - (70 + 273) / (520 + 273)) * 100 = 56,7\% \eta$
- Ciclo combinado:  $(1 - (550 + 273) / (1100 + 273)) + \eta (80 / 100) * ((550 + 273) / (1100 + 273)) * (1 - (70 + 273) / (400 + 273)) = [0,40 + 0,23] = 0,63 = 63,0\% \eta$

Del análisis anterior se desprende que aún imponiéndole al ciclo Bryton del ciclo combinado, las pérdidas de calor del ciclo Rankine, que no son ciertas, éste siempre tendrá como mínimo 10% de eficiencia por encima del Rankine. Un análisis más preciso se hubiera realizado con las expresiones de eficiencia de cada ciclo, con sus características. Por lo general, las diferencias entre ambos son muchísimo mayores.

## Conclusiones

1. Inobjetablemente, el bagazo de la caña de azúcar tendrá siempre un valor de uso mucho mayor como combustible directo, que como materia prima para la producción de etanol.

2. La tendencia futura es la de lograr establecer, de manera económica y a mayor escala, la tecnología de gasificación de los materiales lignocelulósicos en general, y del bagazo de caña en particular, con la que se lograrán eficiencias mucho mayores en la producción de electricidad a partir de biomasa.
3. Sería de gran utilidad, aún con el ciclo Rankine mejorado (altas presiones y temperaturas, entre otras mejoras), adicionar los residuos de la cosecha cañera (RAC) tratados mecánicamente y mezclados con el bagazo, para incrementar la capacidad de generación de electricidad, y las ventas a la red durante y fuera de zafra.
4. El rendimiento actual de la tecnología de obtención de etanol de biomasa a partir de hidrólisis, tanto ácida como enzimática (186 L de etanol/t de bagazo), así como los rendimientos máximos posibles que se vislumbran con esta tecnología (~ 300 L de etanol/t de bagazo), no superan en valor energético las posibilidades de generación de energía eléctrica y térmica, a partir de la combustión directa de este material, con las tecnologías de cogeneración actuales, y mucho menos con la utilización de los ciclos combinados.
5. La generación de energía eléctrica a partir de bagazo, puede servir, además, para la venta de créditos de carbono, por evitar la emisión de gases de efecto invernadero, con lo que se logra la reevaluación de su uso como combustible limpio.
6. La gasificación del bagazo y la utilización de los ciclos combinados de generación y cogeneración, unido al establecimiento a escala comercial de la utilización del gas de síntesis para la producción de etanol, podrían, dada la eficiencia de ambos, permitir compromisos de generación eléctrica y de obtención de etanol, con balances económicos adecuados.
7. Independientemente a la afirmación anterior, sólo se podría pensar en la utilización del bagazo para la producción de etanol, en países con disponibilidad de otros recursos energéticos para la generación y cogeneración de electricidad, y con grandes reservas de hidrocarburos, que necesiten de grandes cantidades de etanol para la oxigenación de sus gasolinas, o su uso como combustible líquido para cumplimentar el Tratado de Kyoto, o de otros que, sin adecuadas reservas de combustible, posean grandes parques automotores. No obstante, tendrían que ser insuficientes las posibilidades de obtención de este combustible por los métodos tradicionales. Este caso podría ser por ejemplo, el de Venezuela, EE.UU. y Brasil, aunque éste último requiere mayor potencialidad



hacia la generación de electricidad, que hacia la producción de etanol [BNDES, 2008].

## Recomendaciones

1. Realizar estudios de factibilidad técnico-económicos que ayuden a establecer adecuadamente los usos más racionales del bagazo en cada caso particular.
2. Acelerar los estudios de ingeniería para la solución de los problemas que impiden el establecimiento a gran escala de la gasificación del bagazo, y de los ciclos combinados de generación y cogeneración.
3. Establecer los mecanismos para lograr la utilización de los RAC junto al bagazo, en la generación y cogeneración, lo que incrementará las capacidades actuales.
4. Para lograr la introducción adecuada de los RAC deberán estudiarse las distancias máximas de recolección de los mismos, que actualmente se establece para las condiciones cubanas en de 10 km del ingenio azucarero, aproximadamente; los tratamientos necesarios, así como el lugar de realización de los mismos para obtener las mejores relaciones costo/beneficio.

## Bibliografía

- AADECA (1994). *Calderas II. Control avanzado*. Cuadernos profesionales.
- AGÜERO, CARLOS; JORGE PISA, JORGE Y ROBERTO ANDINA (2006). En *Investigación y Desarrollo*, no. 27. ISSN 1668-9178.
- AGUILAR, N. (2007). En *Avances en Investigación Agropecuaria*. ISSN 0188-7890.
- AGUILAR, N.; D. RODRÍGUEZ Y A. CASTILLO (2010). En *Revista VIRTUALPRO*, no. 106. ISSN 1900-6241. [www.revistavirtualpro.com](http://www.revistavirtualpro.com).
- BNDES, CGEE, FAO y CEPAL (2008). [http://www.sugarcanebioethanol.org/es/download/resumo\\_executivo.pdf](http://www.sugarcanebioethanol.org/es/download/resumo_executivo.pdf)
- COSTA, P. (2008). En XIV Seminario de Ahorro de Energía, Cogeneración y Energías Renovables.
- DIAS, M.; M. CUNHA, CH. JESUS, M. SCANDIFFIO, C. ROSSELL, R. FILHO Y A. BONOMI (2010). En 20th European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE20, ELSEVIER B.V.
- DÍAZ, M.; O. CAPOTE Y N. GARRIDO (2005). DAFLEX: Herramienta para el análisis de procesos en la industria azucarera. Software. Base Excel, 2005.
- ENRÍQUEZ, M. (1998). C.N.I.A.A. *Revista Ingenio*.
- FERNÁNDEZ, M. Y A. ALCARAZ. (2001). En *Boletín IIE*, nov.-dic., 2001.
- GARCÍA, J.; R. ROMERO Y D. SALES (2008). En *Boletín del CIDEUS* 5, 31-51. ISSN 1885-5237.

GARRIDO, N. (2005) SIDEL: Herramienta para el análisis de procesos en la industria alcoholera. Software base Excel.

GIANELLA, J. (2010). COBER IV.

HERRERA, O. (2010). En I Seminario Internacional Universidad-Estado-Sociedad.

HUGOTT, E. (1967). Manual para ingenieros azucareros. La Habana: Ed Revolucionaria, 1967.

ICIDCA (2000). Manual de los derivados de la caña de azúcar. 3ª edición.

ISLAS, J. Y A. MARTÍNEZ (2009). En *Ide@s CONCYTEG*, 4, no. 54.

LESME, R. <http://www.cengicana.org/Portal/SubOtrasAreas/Cogeneracion/Presentaciones/GasificacionPartirBiomasaCanera.pdf>

MONSALVE, E.; P. CECCHI, A. VIDAL Y A. ZÚÑIGA (2008), Informe 1, ME64A Centrales térmicas de potencia, Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Física y Matemática, Universidad de Chile.

NÚÑEZ, JOSÉ P. (s/a), Diplomado Práctico en Energías Alternativas, COPERSUCAR, SP., Brasil.

OCAMPO, AQUILES (2004). En *Revista EIA*. ISSN 1794-123.

PÉREZ, R. (2011). En *Eco Solar*, CUBASOLAR. [www.cubasolar.cu](http://www.cubasolar.cu).

PINEDA, G. (2011). *Ciclo Rankine*, monografías.com.

REYES, J.; R. PÉREZ Y J. BETANCOURT (2011). En *Eco Solar*, CUBASOLAR. [www.cubasolar.cu](http://www.cubasolar.cu).

RODRÍGUEZ, A. (2011). En *Eco Solar*, CUBASOLAR. [www.cubasolar.cu](http://www.cubasolar.cu).

SILVA, E. TORRES, J. Y R. TORRES. [http://www.nodo50.org/cubasigloXXI/economia/torresmp\\_310307.pdf](http://www.nodo50.org/cubasigloXXI/economia/torresmp_310307.pdf)

VALDÉS, A. Y P. ROQUE.

YANAGIHARA, J. <http://143.107.98.150/Jurandir/cicloBrayton.pdf>

## Producción de electricidad con ciclos de baja temperatura en la industria azucarera

*Por Juan Landa García\**

*\* Centro de Estudios de Combustión y Energía,  
Universidad de Matanzas «Camilo Cienfuegos», Cuba.  
e-mail: [juan.landa@umcc.cu](mailto:juan.landa@umcc.cu)*

### Resumen

Los recursos energéticos fósiles se agotan aceleradamente; el precio de los combustibles es elevado, y las emisiones de gases de combustión crecen sostenidamente e incrementan la contaminación y el impacto ambiental, agudizándose el efecto invernadero. Esas realidades obligan a un uso más eficiente de las fuentes energéticas, fósiles o renovables. La industria azucarera cubana genera anualmente grandes volúmenes de bagazo, pero devuelve al medio ambiente gran parte de la energía liberada durante su combustión en corrientes de rechazo de baja temperatura; sin embargo, en el mundo existen actualmente, y se proponen, ciclos de potencia que permiten la recuperación de parte de esa energía. En este trabajo se exponen potencialidades de generación de energía eléctrica, a partir de las corrientes de rechazo e intermedias del proceso de producción de la caña de azúcar, y se demuestra que se puede satisfacer en gran medida la demanda actual nacional de electricidad, a partir de la caña disponible y, con una política de crecimiento dirigido de las áreas cañeras y de la industria azucarera, ésta se puede satisfacer totalmente, con bajo costo, alta eficiencia económica e impacto ambiental positivo, y lograr así la independencia y autosuficiencia energéticas.

**Palabras clave:** Ciclos de baja temperatura, industria azucarera, electricidad, generación distribuida, bagazo, combustibles renovables, caña de azúcar

### Abstract

Fossil energy resources are rapidly depleting; the price of fuels is high, and emissions of combustion gases grow steadily and increase pollution and environmental impact, enhancing the greenhouse effect. These truths force a more efficient use of energy, either fossil or renewable sources. The Cuban sugar industry annually generates large volumes of bagasse, but returns to the environment much of the energy released during combustion in low-temperature refusal currents. However, in the world there are currently power cycles that allow the recovery of part of that energy. In this paper we expose the potentialities of electric power generation, based on the refusal and intermediate currents in the sugarcane production process,

and it is demonstrated that the current national demand for electricity can be met to a great extent, starting from the cane available and, with a policy of directed growth of sugarcane areas and the sugar industry, it can be fully met, with low cost, high economic efficiency and positive environmental impact, thus achieving energy independence and self-sufficiency.

**Keywords:** Low temperature cycles, sugarcane industry, electricity, distributed generation, bagasse, renewable fuels, sugarcane

## Introducción

El desarrollo energético futuro de la humanidad debe basarse en fuentes de energía disponibles en grandes cantidades, que permitan satisfacer la demanda creciente de energía eléctrica y de calor. Ello sólo es posible con una fuente como el Sol, o una que se origine a partir de él, como lo es la biomasa o la energía almacenada en el mar.

En Cuba, uno de los renglones principales de la agricultura es la caña de azúcar, cuyo procesamiento industrial genera un volumen considerable de biomasa residual de alto valor como combustible, el bagazo de caña, cuya cifra para una zafra de ocho millones de toneladas de azúcar, es aproximadamente de 16,05 millones de toneladas (64,2 millones de toneladas de caña), de acuerdo al rendimiento de la industria azucarera cubana [Valdés, 2004], cuyo valor energético equivalente es no menor al contenido en 3,6 millones de toneladas de petróleo convencional/año. Una cifra de biomasa similar es la contenida en la paja de caña y otros residuos de su cosecha. Esto puede ser corroborado a partir de la información brindada en [www.one.cu](http://www.one.cu), donde se puede apreciar que en las últimas décadas la producción de caña disminuyó en forma muy marcada, y con ella la disponibilidad de ese recurso energético renovable.

Comparando la zafra 1983-1984 con la zafra 2006-2007, se advierte que el área sembrada se ha reducido a 24,43% (de los 1 349 Mha sembrados se redujo a 329,5 Mha), y el rendimiento cañero se ha reducido de 55,05 t/ha (promedio desde la zafra 1983-1984 hasta la de 1991-1992), a 36,1 t/ha en la zafra 2006-2007, o sea, a 65,58%.

En la industria azucarera cubana suele utilizarse, para la producción de potencia a partir del bagazo, el ciclo Rankine con sobrecalentamiento del vapor, con valores de presión y temperaturas considerados bajos para los ciclos de potencia que emplean vapor de agua (1,8 MPa, 320 °C), por lo que la eficiencia energética de la producción de electricidad es baja; sin embargo, en el mundo existen ciclos que utilizan valores de presión muy superiores (8 MPa, 540 °C), como señala Valdés [2004], por lo cual la producción de electricidad se realiza con una eficiencia muy superior a la alcanzada en Cuba, reduciéndose el consumo de bagazo por unidad de

potencia producida, en forma considerable, e incrementándose la potencia producida. En correspondencia con el índice de generación reportado por Valdés [2004], de 90-110 kWh/t de caña, se podría generar, para una zafra de ocho millones, usando un ciclo Rankine modificado con altos parámetros y vapor de agua, una cifra de 5 780 a 7 065 GWh/año, lo que representa entre 40 y 49% de la demanda nacional actual de energía eléctrica, y equivaldría a una potencia media instalada de 720 a 882 MW. Esto, indudablemente, indica la necesidad de incrementar el área cañera sembrada a los valores anteriores a 1990, así como la capacidad de molienda, y modificar las plantas de fuerza instaladas, elevando parámetros a la entrada de turbina, lo cual requiere de una inversión no menor a una cifra entre 1 188 y 1 455 millones de dólares, de acuerdo al costo unitario de potencia de 1,65 millones de \$/MW de las plantas instaladas de carbón bagazo en el 2004.

La planta de fuerza del central, además de producir electricidad, suministra vapor a los procesos. El proceso de producción combinada de calor y electricidad es de alta eficiencia, incluso para las condiciones de Cuba, al ser el calor rechazado a la fuente fría para completar el ciclo termodinámico de potencia, utilizado en procesos tecnológicos que requieren de un alto consumo de calor de bajos parámetros, pudiendo decirse que la mayor parte de la energía liberada por el combustible es aprovechada, similar a como ocurre con otras plantas de producción combinada de calor y potencia [Riznkin, 1979]. La fracción fundamental de energía rechazada de la planta de fuerza acompaña a los gases productos de la combustión.

A las grandes posibilidades citadas de incrementar la eficiencia de la planta de fuerza del central y la producción de energía eléctrica, por la mejora energética de los ciclos de vapor de agua utilizados, se adiciona el hecho de que se dispone de enormes cantidades de energía rechazada al medio con los gases productos de la combustión, a temperaturas de 230 a 250 °C, y con el agua de enfriamiento utilizada en el sistema de condensación y vacío del sistema de evaporación y cocción del jugo de caña, con temperaturas de 42 a 50 °C, siendo el valor de temperatura superior de este rango, característico de industrias bien diseñadas y operadas.

Actualmente, se dispone de tecnologías que pueden hacer un uso más eficiente de esta energía para la producción de energía eléctrica, que las existentes antes de la década de los ochentas, al ser utilizadas como foco caliente, pese a sus bajas temperaturas, y se proponen nuevas variantes de esquemas térmicos que permiten reducir los costos de inversión. Ejemplo de las tecnologías existentes en el mundo para el aprovechamiento de la energía contenida en corrientes de baja temperatura, son las siguientes:

El ciclo de absorción de Kalina [Kalina, 1984], que según Borguert y Velásquez [2004], usando gases de combustión a 154 °C como foco caliente, proveniente de un ciclo combinado, y agua de enfriamiento a 25 °C, puede alcanzar valores de eficiencia termodinámica de 11,22%. Según Linares, Lago y Moratilla [2006], la eficiencia de un ciclo Kalina modificado con adición de dos intercambiadores de calor, puede ser de más de 23%, al operar con una temperatura de los gases de combustión de 418 °C y del agua de enfriamiento de 15 °C. Por su parte, Thorín [2000] plantea que el ciclo Kalina alcanza incrementos de la eficiencia respecto al ciclo Rankine simple, entre 20 y 40%, para iguales parámetros de las fuentes caliente y fría, y se señala que el incremento de eficiencia puede ser de 30 a 80% mayor.

Otra tecnología que produce potencia eléctrica con mayor eficiencia que el ciclo Kalina, es la formulada por Uehara [1994], la cual puede llegar a duplicar la eficiencia del ciclo Rankine [Uehara, *et al.*, 2000].

Otra tecnología desarrollada es el ciclo Rankine orgánico [Letelier, consultado en 2008], el cual utiliza fluidos orgánicos como sustancia de trabajo, y es una variante del ciclo Rankine simple, que alcanza eficiencias similares a los anteriores. Es necesario precisar que el ciclo Rankine, utilizando agua como fluido de trabajo, es superior a los ciclos anteriores si trabaja con focos de alta temperatura, pero que estos nuevos ciclos superan al Rankine como segunda etapa de un ciclo combinado, ya que según Linares, Lago y Moratilla [2006], el ciclo Kalina modificado para aprovechar corrientes de rechazo de los motores supera al Rankine con vapor de agua como segunda etapa de un ciclo combinado, y sí, como se afirma, el ciclo de Uehara es superior al anterior, se sobreentiende que ambos ciclos son mejores. Para temperaturas de las corrientes de rechazo, menores de 418 °C, los ciclos de baja temperatura citados son también más eficientes que el Rankine con vapor de agua, y al disminuir la temperatura se llega a un valor en que son los únicos que pueden ser aplicados con eficiencia técnico-económica.

Sobre la introducción de ciclos de altos parámetros en la industria azucarera, se ha trabajado en Cuba por diversos autores; sin embargo, sobre el aprovechamiento de las corrientes residuales no se dispone de evidencias de que haya sido objeto de análisis, por lo que, teniendo en cuenta las premisas descritas anteriormente, se pretende dar cumplimiento al siguiente objetivo: Argumentar las posibilidades de generación de energía eléctrica, a partir de corrientes calientes rechazadas por el proceso de producción de energía eléctrica, y de producción de azúcar, de los centrales azucareros para las condiciones de Cuba.

## Potencialidades de producción de energía eléctrica

En este trabajo se analizan las potencialidades de producción de energía eléctrica con ciclos de baja temperatura, de un central con norma potencial de 6 250 t/día.

Para realizar el análisis se predefinieron tres esquemas térmicos relativamente sencillos: el Rankine simple y otros dos del ciclo Rankine modificado, con la adición de uno y dos intercambiadores de calor, respectivamente, y se elaboró una metodología que incluye el balance energético, el cálculo de los índices energéticos y del proceso inversionista de la planta, y se tomó como ejemplo un central de 6 250 t/día, el cual rechaza un flujo de agua proveniente de un sistema de condensación y vacío de alta eficiencia de  $1,13 \text{ m}^3/\text{s}$ , a una temperatura de  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ , y un flujo de gases producto de la combustión de  $40 \text{ kg/s}$  a una temperatura de  $230 \text{ }^\circ\text{C}$ , recomendado por especialistas del ramo. Fijando el valor de  $28 \text{ }^\circ\text{C}$  como temperatura de referencia para el cálculo de la energía rechazada por estas corrientes al medio ambiente (MA), los gases rechazarán un flujo de energía de  $42 \text{ MW}$ , y el agua de  $95 \text{ MW}$ , por lo que se pierde al medio ambiente y, por ende, se dispone para ser usada en cualquier proceso energético una potencia calorífica no menor de  $137 \text{ MW}$ .

Si suponemos que la temperatura de los gases a la salida de los intercambiadores del ciclo se reduzca hasta  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ , y que se disponga de agua fría para la condensación de la sustancia de trabajo a las temperaturas de  $26$ ,  $21$  y  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ , para las cuales es posible se requieran las longitudes de tuberías de agua de enfriamiento del ciclo ( $L$ ) señaladas en la tabla 1, en correspondencia con la temperatura de la toma de agua fría fijadas y las características geográficas y de disponibilidad de agua superficial, de pozo y de mar de una provincia cubana con centrales existentes en los dos primeros casos. Las bajas diferencias de temperaturas entre el foco caliente y el foco frío ( $\Delta t_{fuentes}$ ), calculadas como  $\Delta t_{fuentes} = t_{ac1} - t_{af1}$  hacen que del flujo de energía disponible solo un porcentaje pequeño pueda ser incorporada al fluido de trabajo, a través de intercambiadores de la planta de potencia y recuperado, dependiendo la cantidad transferida del valor de la diferencia de temperaturas entre los focos, y de la eficiencia de la planta.

Se fijarán parámetros en el ciclo que permitan que la eficiencia de la transformación de la energía disponible en potencia eléctrica ( $\eta_{transf}$ ), dependa en la menor medida posible de  $\Delta t_{fuentes}$ , como puede apreciarse al analizar la tabla 1. Debe señalarse que dicha eficiencia puede ser superior a los valores de los resultados reportados en este trabajo, y a los valores conocidos de los ciclos de baja temperatura existentes, lo cual es

alcanzable mediante un proceso de optimización de los parámetros de trabajo de este ciclo, lo que se mostrará en trabajos posteriores.

En la tabla 1 se exponen los resultados del ciclo que permitieron obtener los mejores resultados. Obsérvese que la caída de presión en la turbina influye sobre la producción de potencia, y que el valor de potencia eléctrica bruta es no inferior a los valores reportados en dicha tabla, o sea, de 9,72 y 24,82 MW, respectivamente, siendo el valor de la potencia neta cercano, lo que indica un bajo consumo de energía para satisfacer los requerimientos de potencia, y mantener el funcionamiento (necesidades propias) de la planta.

*Tabla 1. Valores calculados de producción de potencia, índices energéticos y económicos de una planta que usa corrientes de rechazo en un central azucarero con una molida de 6 250 t/día*

L, m	200	200	1 000	1 000	4 000	1 000	4 000	3 000	3 000
Dpturbina, MPa	0,234	0,185	0,234	0,185	0,185	0,234	0,185	0,234	0,185
Vac1, m <sup>3</sup> /s	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13
Dtaf, °C	10 800	10 800	4	4	4	4	4	5,8	5,8
taf1, °C	4	4	26	26	26	21	21	8	8
tac1, °C	26	26	50	50	50	50	50	50	50
% Qrecuperadoneto	50	50	7,09	7,92	7,92	10,14	11,07	16,90	18,10
We, MW	9,72	10,86	9,72	10,86	10,86	13,90	15,17	23,18	24,82
Weneta, MW	9,13	10,21	9,09	10,16	9,97	12,99	13,82	21,78	23,28
CuPlantaWeneta, M\$/MW	1,89	1,78	2,25	2,18	3,38	2,01	2,95	2,06	1,98
CuPlantaWeneta, M\$/MW	2,01	1,90	2,40	2,33	3,68	2,15	3,24	2,20	2,11
Ctotalplanta, M\$	18,35	19,38	21,83	23,65	36,68	27,90	44,74	47,83	49,24
Dtubac, m	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
dtubafRC, m	1,24	1,31	1,24	1,31	1,31	1,47	1,53	1,58	1,64
Dsustancia de trabajo, kg/s	38,67	43,22	38,67	43,22	43,22	53,83	58,75	84,51	90,43
DafRC, kg/s	2784	3116	2784	3116	3116	3930	4295	4710	5047
CuGenPlanta, \$/kWh	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02



CporpesoProd Planta, \$/\$	0,16	0,15	0,18	0,18	0,27	0,16	0,24	0,16	0,16
TRIconInteres, años	2,75	2,58	3,39	3,28	5,85	2,97	4,94	3,05	2,92
<b>L, m</b>	<b>200</b>	<b>200</b>	<b>1 000</b>	<b>1 000</b>	<b>4 000</b>	<b>1 000</b>	<b>4 000</b>	<b>3 000</b>	<b>3 000</b>
TRIconInteresBTI, años	1,01	0,95	1,22	1,18	1,95	1,09	1,69	1,11	1,07
TRIconIntImp Equipos, años	2,63	2,48	3,39	3,31	6,40	2,97	5,37	3,16	3,03
TRIconIntImp Planta, años	3,44	3,23	4,24	4,10	7,31	3,72	6,17	3,82	3,66
TRIconIntImp PlantaBT, años	1,27	1,19	1,53	1,48	2,44	1,36	2,11	1,39	1,33
VANPlanta, M\$	48,23	56,01	41,68	47,96	23,11	65,74	43,20	108,96	119,94
VANPlantaBT, M\$	174,25	196,85	167,16	188,12	160,73	244,95	233,89	409,40	441,15
Bahorrado, t/año	20 255	22 636	20 168	22 527	22 120	28 804	30 647	48 289	51 627
MTotal, t/año	62 217	69 532	36 611	40 955	39 766	53 940	56 654	96 209	102 902
Eelect, GWh/año	72,34	80,84	72,029	80,4	78,99	102,87	109,45	172,46	184,383
Pelect, M\$/año	8,68	9,70	8,6434	9,65	9,479	12,344	13,135	20,6953	22,126

El porcentaje de energía rechazada, transformada en potencia eléctrica, a partir de la pérdida al medio ambiente actualmente con el ciclo más eficiente, tomando como base de cálculo la temperatura del medio ambiente de 28 °C, varía de 7,09 a 18,1%, respectivamente, lo que muestra que se ha recuperado una cantidad insignificante de energía en el primer caso, y pequeña en el segundo, siendo presumiblemente factible su incremento.

No obstante su bajo valor, la recuperación obtenida bajo estas condiciones tiene un efecto económico y ambiental muy positivo, ya que permitiría reducir el consumo de combustible requerido para la generación con petróleo, de sustituirse un valor de producción similar en las centrales eléctricas convencionales por la del esquema propuesto y, por ende, se reducirían las emisiones de contaminantes atmosféricos y el impacto ambiental que estas provocan (ver Tabla 1), contribuyendo en alguna medida a reducir el efecto invernadero. De extrapolarse estas producciones a los 56 centrales del país, no habrá dudas que se podrá llegar a producir,

durante el período de zafra, una potencia no menor a 400 MW con dichos centrales.

Obsérvese que el valor del tiempo requerido para recuperar la inversión es pequeño, si la planta trabaja anualmente 7 920 horas (330 días), siendo el resto del tiempo dedicado a mantenimiento. Este resultado pone de manifiesto la necesidad de que la industria trabaje todo el año, como ocurre en Perú y Colombia [Valdés, 2004], lo que permitiría lograr varios resultados de alto efecto económico, como mayor aprovechamiento de la capacidad instalada de la industria, mayor aprovechamiento de la potencia de generación instalada, y viabiliza la inversión de un ciclo de potencia de altos parámetros, que es inaceptable para molidas cortas como las realizadas en Cuba y, además, se puede generar electricidad adicionalmente todo el año con estos ciclos anexos a la industria.

En el cálculo del tiempo de recuperación de la inversión (TRI), se utilizó el reporte de los costos en dólares de los componentes similares de la planta propuesta a los del proyecto GENOTEC [Girotec, 1994], actualizados al 2008, considerándose todos los costos que se incurren en la construcción de una planta, incluyendo el salario de los trabajadores, en moneda convertible. También se consideró el costo del permiso ambiental, del sitio de la planta y de las tuberías de agua fría (los cuales son propiedad del MINAZ), los costos del edificio y de reparación capital, los que representan un alto porcentaje del costo total (más de 31%), debiendo precisarse que solo el costo para reparación capitalizable representa más de 13% de la inversión, valor que se ha incluido a fin de que se garanticen los fondos requeridos para dar mantenimiento a la planta, tarea cuya importancia es decisiva en la conservación de sus capacidades productivas. Además, se utilizó una tasa de interés bancario de 10%, un impuesto a la renta de 20% y un porcentaje de inflación de 3%, por lo cual los valores reportados pueden ser considerados seguros.

El costo de la tubería de agua fría es superior al valor real en el caso de la planta que trabaja con temperatura del agua fría de 21 y 26 °C, ya que se calculó a partir del costo de una tubería de agua de mar profunda, incluyendo en este las dificultades y el alto costo de su montaje, y en el central analizado en este caso no se presentará esta dificultad, ya que estaría enclavado tierra adentro, o tomaría agua de la superficie del mar; y, sin embargo, pese a este elemento el costo de la potencia instalada no es muy superior al costo de la potencia instalada de una planta de altos parámetros que utiliza como combustible bagazo y carbón, especialmente para el caso que usa agua superficial de un río, o presa cercana, para una longitud de la tubería de agua fría de 200 m.

En la tabla 1 se aprecia que el costo de generación es de 2 centavos, excepto para la tubería de 4 km, valores muy ventajosos, y el costo del peso de producción es también un valor muy bajo, y, en general, son menores que el valor correspondiente a una central termoeléctrica.

La temperatura del agua fría influye en la eficiencia del ciclo y en la capacidad de recuperar la energía rechazada. Para una temperatura de la toma de agua fría de 8 °C, e iguales temperaturas del agua y de los gases de rechazo, se hace mayor que el doble la producción de energía eléctrica con respecto a la temperatura de 26 °C, como se observa en la tabla 1. Esto pone de manifiesto la importancia de usar agua fría a esta temperatura, o a temperaturas inferiores, de ser posible. Esto se puede lograr si los centrales se enclavan en sitios de la costa donde existan grandes profundidades. En Cuba, en la década de los 80, había varios centrales a una distancia menor de 2 km de la costa. Instalarlos nuevamente cerca de la costa, en lugares favorables al propósito perseguido y donde las condiciones agrícolas de las zonas tributarias permitan alcanzar un adecuado rendimiento en el cultivo de la caña, debe constituirse en una estrategia que se debe aplicar escalonadamente, y de cumplimiento a largo plazo.

Debe destacarse que los indicadores económicos de una planta anexa a un central azucarero enclavado tierra adentro, la ubican como una alternativa de inversión muy tentadora, ya que el tiempo de recuperación de la inversión en los casos citados es pequeño, brindándose varias formas de expresar este parámetro para facilitar la comprensión del análisis realizado. Si se tienen en cuenta los beneficios de no consumir combustible fósil, y de no emitir gases a la atmósfera, el tiempo requerido para recuperar la inversión es menor de dos años en la mayoría de los casos, a excepción de las tuberías de 4 km y en zafra cortas de 150 a 180 días, que es cercano a los cinco años.

La ubicación de la planta tierra adentro tiene como ventaja que puede ser instalada por empresas nacionales, y no presenta la limitante constructiva que entraña la colocación y puesta a punto de la tubería de agua fría profunda, característica distintiva de las plantas con fuente de suministro del agua fría proveniente de las profundidades marinas. Esto acarrearía dificultades y recursos para su instalación, lo que da origen a un alto costo de instalación, el riesgo tecnológico durante la instalación de la tubería, y de catástrofe durante su vida útil por efecto de las corrientes marinas, ciclones, tormentas tropicales y terremotos.

En la tabla 1 se observa que pueden ser aceptadas todas las alternativas de inversión estudiadas, ya que el valor presente o actual neto

(VANPlantaRC) es mayor que cero, y si se tienen en cuenta todos los beneficios ambientales (VANPlantaBT), este parámetro es mayor aún.

Se reporta el combustible ahorrado (Bahorrado) por sustitución de la electricidad generada en las CTE, y la reducción de las emisiones de gases (Mtotal), de las cuales más de 92% es CO<sub>2</sub> por este concepto, así como la energía eléctrica a generar durante un año de trabajo.

Debe señalarse que para molidas superiores, el costo unitario de la potencia instalada, el costo de generación y el tiempo de recuperación de la inversión se reducen, y el valor actual neto se incrementa, lo cual se ha demostrado con anterioridad [Landa, 2006; Landa, 2008], siendo la inversión más eficiente.

### **Requerimientos para hacer posible la propuesta**

Los requerimientos para hacer posible la propuesta de producción de energía eléctrica con plantas de potencia que utilizan corrientes de rechazo, son los siguientes:

1. Una molida estable y alta, que permita disponer de un suministro continuo de agua de rechazo y de gases a la central eléctrica anexa, para garantizar un alto aprovechamiento de las capacidades de potencia que se instalen.
2. Instalar un ciclo de bajos parámetros en un central eficiente, representativo de las mejores tradiciones del sector, con personal calificado, enclavado tierra adentro para facilitar el montaje, reducir los costos de la tecnología a instalar y reducir el riesgo tecnológico, de forma que sus resultados permitan su extensión a otras centrales e industrias.
3. Que la industria produzca azúcar durante todo el año, o al menos en largos períodos, ya que si ésta trabaja en períodos cortos se afecta la rentabilidad de las inversiones a acometer, al alargarse el período de recuperación de la inversión, el cual se acorta si el central muele todo el año, para lo que pueden utilizarse una o más de las vías siguientes:
  - La siembra de caña energética, la cual indudablemente producirá menos azúcar en general, y en particular en las etapas lluviosas en que se debe realizar su corte según la propuesta, pero tiene la ventaja adicional de ser una fuente de materia prima para la producción de alcohol, que es otro energético con gran valor en el futuro para el transporte y otros fines en Cuba, en la medida que se haga más escaso y caro el petróleo, y que ya tiene un gran desarrollo y uso en Brasil.

- La planta de fuerza del central debe producir energía eléctrica utilizando combustible convencional u otro tipo de combustible, trabajando en el período en que no hay zafra azucarera, como un ciclo combinado de plantas de potencia, con una primera etapa Rankine con vapor de agua, y la segunda de bajos parámetros.
4. Incluir a las plantas eléctricas actuales de los centrales azucareros, a lo largo de todo el año, en el grupo de plantas que garantizarán la generación distribuida, lo cual se justifica por la existencia de una infraestructura tecnológica en buen estado de funcionamiento, personal calificado para la operación, y que, de aplicarse la propuesta, tendría un consumo específico de combustible menor que el de los grupos electrógenos, usando adicionalmente un combustible renovable en un largo período del año. Estas plantas también pueden adaptarse rápidamente para quemar mezclas de crudo nacional mejorado, o petróleo de menor calidad que el usado por dichos motores, lo que permitiría un ahorro de recursos mediante la disminución del dinero utilizado en importar combustible, y disponer de financiamiento para otras inversiones, energéticas o de otro tipo. Otro aspecto a considerar es la facilidad con que puede realizarse el cambio de combustible de las calderas de bagazo y su bajo costo, pudiendo construirse con boquillas nacionales (CECYEN), lo que independiza la propuesta de suministro extranjero para su operación y mantenimiento a largo plazo.
  5. Empleo de un sistema abierto de suministro de agua de enfriamiento, utilizando agua de pozo, presa, río o de la superficie del mar, por lo cual la temperatura del foco frío se reduce significativamente con respecto a la temperatura del agua de enfriamiento procedente de los enfriaderos, y con ésta se incrementa el salto térmico a alcanzar en la turbina y, por ende, la producción de potencia eléctrica. Como ventaja adicional se dispondrá, en caso de que el agua utilizada sea dulce, de abundante agua para el riego en la agricultura, sin costo adicional de bombeo. De esta forma se alcanza una mayor producción de caña por hectárea, no menor de 30%, y una mayor eficiencia general en la agricultura.
  6. Ubicar centrales azucareros cerca de la orilla del mar para combinar, en lo posible, el uso de las fuentes de agua fría profunda con las altas temperaturas de las corrientes rechazadas citadas, lo cual se deriva del requerimiento anterior y ha sido demostrada su

validez mediante los resultados mostrados en la tabla 1. Este proceso debe hacerse paulatinamente, a corto, mediano y largo plazos.

### **Perspectivas de incrementar la producción de potencia eléctrica y combustibles**

Es importante identificar las perspectivas de incrementar la producción de potencia eléctrica y combustibles del país, a partir de la generación de electricidad en la industria azucarera usando la energía contenida en las corrientes de rechazo.

Incrementar las áreas cañeras y el número de centrales, ubicados preferiblemente cerca de la costa y, en especial, donde existan grandes profundidades para garantizar una elevada eficiencia energética y producción de electricidad de la propuesta de planta anexa, y se alcance por esta vía la satisfacción de la demanda nacional, o se llegue a cubrir en gran medida.

La generación distribuida será absorbida paulatinamente por la industria azucarera, siendo un requisito imprescindible para esto efectuar una adecuada distribución de los centrales, en correspondencia con las demandas de consumo de electricidad y de las áreas cañeras existentes y posibles a fomentar, de forma que el suministro de la materia prima sea seguro, eficiente, y el costo de su transportación se reduzca en forma notable.

Eliminar paulatinamente el consumo de combustible fósil en la generación de energía eléctrica.

De no lograrse el balance energético nacional y la generación distribuida hasta el último rincón del país con la industria azucarera se utilizarán las plantas de la industria del níquel, de la química, la de alimentos y otras, como las de producción de cemento, etc., los que inevitablemente trabajan con fuel u otros combustibles fósiles, y con motores que queman gas, como el caso de los ciclos combinados, los que disponen de corrientes de rechazo, a los que se establecerá un ciclo de baja temperatura.

Incrementar la producción de alcohol a partir de la caña de azúcar, utilizando el jugo de los filtros en una destilería, existente o a anexar al central, de forma que se disponga de cifras elevadas de bagazo para el período de no zafra y otros fines, al existir excedentes de bagazo por reducción del consumo de energía en el proceso tecnológico del central, lo cual traerá otros beneficios adicionales, como mejora en el proceso de clarificación, evaporación y cocción, al no reincorporar al proceso materias

extrañas, y reducir los costos en las destilerías anexas y de trasiego de las mieles finales hasta destilerías alejadas del central.

Producción de combustible de origen microalgal, a partir de las emisiones de CO<sub>2</sub> de esta industria, lo que permite disponer de un combustible a usar en medios de transporte, y otros fines, que no tiene como origen el combustible fósil. Los gases de combustión del bagazo presentan la ventaja adicional de contener solo trazas de SOx.

De instalarse 40 centrales en la costa, con una molida de 7 000 t/día, se puede producir no menos de 1 000 MW de potencia, siendo el costo unitario de la inversión inferior a 2 M\$/MW.

## **Conclusiones**

Los ciclos de baja temperatura pueden producir cantidades de energía eléctrica significativas en forma económica, comparable con las producciones de potencia de los centrales actuales, si se utiliza agua a 26 °C, o superior, si se utiliza agua del fondo del mar, cuyo valor se incrementa con la profundidad de su toma al reducirse su temperatura.

Los centrales pueden satisfacer las necesidades de electricidad de las áreas en que se encuentran enclavados y cumplimentar el principio de generación distribuida sin consumir combustible fósil, alcanzando excedentes de producción de acuerdo a las necesidades actuales que los convertirían en núcleos de desarrollo endógeno sustentable; su distribución a lo largo del país, en correspondencia con las necesidades de las diferentes zonas, permitiría la satisfacción de las necesidades de generación de electricidad sin consumir combustible fósil, al menos en un alto porcentaje del territorio nacional.

Si se instalan un número suficiente de centrales tierra adentro y cerca de la costa, en el período de zafra se puede satisfacer la demanda de electricidad nacional, utilizando ciclos de bajos parámetros, con sustancia de trabajo de bajo punto de ebullición, y de altos parámetros con vapor de agua.

El empleo de caña energética permitiría la autosuficiencia energética nacional para la producción de electricidad durante largos períodos del año; y el uso de mezclas de crudo nacional mejorado como combustible en las plantas de fuerza de los centrales, en el período de no zafra restante, permitiría la satisfacción durante todo el año.

## Recomendaciones

Incrementar el área sembrada de caña y el número de centrales azucareros, dando prioridad a aquellas inversiones que dispongan de grandes profundidades marinas cerca de los centrales, en los que se puedan aplicar sistemas de enfriamiento abierto, de forma que se incremente la eficiencia y volumen de la producción de potencia, así como de tierras adecuadas y cercanas al sitio de su ubicación.

Desarrollar estudios que permitan una distribución óptima de los centrales y de sus áreas cañeras, precisando las capacidades a instalar y áreas de cultivo, de forma que se establezca, si es posible dar cumplimiento a la demanda nacional.

Tomar las medidas que permitan el uso de los centrales a lo largo de todo el año, a través de la molienda de caña con fines de producción de azúcar o energía y, en caso de que la materia prima no satisfaga la demanda de molienda durante todo el año, generar con combustible fósil utilizando un ciclo combinado formado por la planta de fuerza del central y un ciclo de baja temperatura.

Trabajar los centrales a su máxima capacidad de producción, lo que permite producir grandes volúmenes de electricidad, y recuperar en forma rápida los costos de inversión.

## Bibliografía

BECHTEL, M. Y E. NETZ. (2001). «OTEC - Ocean Thermal Energy Conversion». Disponible en <http://exergy.se/goran/cng/alten/proj/97/ot/ot.html#Intro>. Consultado el 8 de junio de 2005.

BINGER, AL. (2003). «Potential and Future Prospects for Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) in Small Islands Developing States (SIDS)». Disponible en [www.sidsnet.org/docshare/energy/20040428105917\\_OTEC\\_UN.pdf](http://www.sidsnet.org/docshare/energy/20040428105917_OTEC_UN.pdf). Consultado el 5 de noviembre de 2007.

BORGUERT, JOSÉ A. Y JOSÉ A. VELÁSQUEZ. (2004). «Exergoeconomic Optimization of a Kalina Cycle for Power Generation», en *International Journal Exergy*, v. 1 (1): 2004. Girotec. (1994). Disponible en <http://www.bjelkeman.com/oteclibrary/otecdesigns/genotec-stcroix.pdf>. Consultado el 20 de junio de 2006.

KALINA, A. L. (1984). «Combined Cycle System with Novel Bottoming Cycle», en *ASME J. of Engineering for Power*, 106(4), p. 737-742, octubre, 1984.



LAGO QUINTÁNS, MANUEL. (2005). «Análisis de viabilidad técnica económica de un ciclo combinado con motor de combustión interna y ciclo de Kalina». Proyecto de fin de carrera. Universidad Pontificia Comillas. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Madrid. España. 2005.

LANDA GARCÍA, JUAN. (2003). «Evaluación de un sistema de trasiego de miel de afinación de una refinería de azúcar de caña», en *Revista Avanzada Científica*. Disponible en <http://www.atenas.inf.cu/Publicaciones/Revistaelectronica/Articulos/Default.aspx>.

LANDA GARCÍA, JUAN. (2006). «Metodología de cálculo energético de ciclos de conversión de energía térmica del océano y de bajos parámetros. Simulación del trabajo de ciclos OTEC y de bajas temperaturas anexos a instalaciones industriales que generan potencia y/o calor». XVI Forum de Ciencia y Técnica, Matanzas, Cuba. Septiembre de 2006.

LANDA GARCÍA, JUAN. (2008). «Posibilidades de generación de energía eléctrica con ciclos de baja temperatura en la industria azucarera en una provincia tipo», en *Revista Avanzada Científica*. Disponible en <http://www.atenas.inf.cu>.

LETELIER, EDUARDO. «Ciclos ORC: una alternativa para la cogeneración y las energías renovables». (En línea). Consultado en enero de 2008.

LINARES, J. I.; M. LAGO Y B. Y. MORATILLA. (2005). «Análisis de un ciclo combinado con motor de combustión interna y ciclo de Kalina». Publicado en *el Libro de Actas de las IV Jornadas Nacionales de Ingeniería Termodinámica*, Logroño, España. Junio de 2005.

NAKASHIMA, T. (1995). «Research Activities at Korchi Artificial Upwelling Laboratory on the Utilization of Deep Seawater Resources», en *IOA Newsletter* 6, No. 4.1. Disponible en <http://www.google.com>.

RIZHKIN, V. YA. (1979). *Centrales termoeléctricas*. 2 t. La Habana: Ed. Pueblo y Educación, 1979.

THORIN, EVA. (2000). «Power Cycles with Ammonia-Water Mixtures as Working Fluid», Department: KTH, en *Chemical and Engineering and Technology*. Disponible en [http://www.lania.mx/~ccoello/EMOO/leyland\\_thesis.pdf.gz](http://www.lania.mx/~ccoello/EMOO/leyland_thesis.pdf.gz).

TURTON, RICHARD; R. C. BAILE, W. B. WHITING Y J. A. SHAEIWITZ. (1998). *Analysis, Synthesis and Design of Chemical Process*. New Jersey: Ed. Prentice Hall, 1998.

UEHARA, H.; Y. IKEGAMI Y T. NISHIDA. (2000). «Performance Analysis of OTEC System Using a Cycle with Absorption and Extraction Processes», en *Journal of the JSME*, 96-1696, 2000. Disponible en [http://www.ioes.saga-u.ac.jp/OLD/about-otec-lab\\_e.html](http://www.ioes.saga-u.ac.jp/OLD/about-otec-lab_e.html). Consultado el 20 de junio de 2006.

VEGA, L. A. (1999). «Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)». Hawaii, USA. Disponible en [www.thermoptim.org/sections/enseignement/cours-en-ligne/fiches-guides-td-projets/fiche.../OTECbyVega\\_with\\_photos.pdf?...](http://www.thermoptim.org/sections/enseignement/cours-en-ligne/fiches-guides-td-projets/fiche.../OTECbyVega_with_photos.pdf?...)

VEGA, L. A. (2003). «Ocean Thermal Energy Conversion Primer», en *Marine Technology Society Journal*, Winter 2002/2003, 6 (4): 25-35, 2003.

## **Determinación de la huella ecológica de la provincia de Cienfuegos**

### **Determination of the ecological footprint of the province of Cienfuegos**

*Por Dr. Eduardo López Bastida,  
Dra. Luisa de los Ángeles Rodríguez Domínguez,  
Lic. Rubiel Leiva Rodríguez  
y Lic. Romel Nodarse García  
\* \* Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales,  
Universidad de Cienfuegos, Cuba.  
e-mail: kuten@ucf.edu.cu y lrodriguez@ucf.edu.cu*

#### **Resumen**

El presente trabajo pretende hacer un cálculo de la huella ecológica de la provincia de Cienfuegos. Para ello fue realizado un análisis crítico de las ventajas y desventajas de la mencionada huella como indicador del desarrollo sostenible y se determinó que la metodología de William Rees y Mathis Wackemagel [1996] es la más apropiada para aplicarse en la provincia. A partir de la citada metodología se confeccionó una base de datos que permitió su cálculo y obtener por separado el de las subhuellas energía, alimentos, pastos, bosque, mar y superficie construida. Los datos obtenidos fueron comparados con huellas ecológicas de ciudades y países con diferentes grados de desarrollo, y a su vez, con la capacidad de carga de la provincia. A partir de los datos obtenidos se recomiendan acertadas políticas y estrategias de desarrollo, que debe llevar a cabo la provincia de Cienfuegos en un futuro cada vez más cercano.

#### **Abstract**

The present paper is aimed at calculating the ecological footprint of the province of Cienfuegos. To this end we made a critical analysis of the advantages and disadvantages of the obtained value as an indicator of sustainable development. It was also determined that the William Rees and Mathis Wackemagel methodology [1996] is the most appropriate to be applied in the province. Based on the aforementioned methodology, it was created a database that allowed the calculation of the ecological footprint and it was obtained separately the energy, food, pasture, forest, sea and constructed surface ecological footprints. The data obtained were compared with ecological footprints of cities and countries with different degrees of development, and in turn, with the carrying capacity of the province. Based on the data obtained, the paper recommends policies and development strategies to be applied in the province of Cienfuegos in the near future.

## Introducción

La huella ecológica es un indicador agregado, definido como «el área de territorio ecológicamente productivo (cultivos, pastos, bosques o ecosistemas acuáticos) necesaria para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población dada con un modo de vida específico de forma indefinida». Su objetivo fundamental consiste en evaluar el impacto sobre el planeta de un determinado modo o forma de vida y, consecuentemente, su grado de sostenibilidad.

El cálculo de la huella ecológica es complejo, y en algunos casos resulta hasta imposible, lo que constituye su principal limitación como indicador. En cualquier caso, existen diversos métodos de estimación a partir del análisis de los recursos que una persona consume, y de los residuos que produce. Básicamente, sus resultados están basados en la observación de los aspectos siguientes:

1. Cantidad de área utilizada para urbanizar, generar infraestructuras y centros de trabajo.
2. Área necesaria para proporcionar el alimento vegetal necesario.
3. Superficie necesaria para pastos.
4. Superficie marina necesaria para producir el pescado.
5. Área de bosque necesaria para asumir el CO<sub>2</sub> que provoca nuestro consumo energético, y para la producción de madera, papel y leña.

La huella ecológica tiene gran importancia, ya que nos ayuda a comprender cómo afecta nuestro modo de vida a la naturaleza, y a establecer los verdaderos costes del concepto actual de desarrollo (entendido hasta ahora como un aumento de tamaño, y no de calidad de vida), ya que permite ver muchos impactos que el análisis monetarista tradicional no contempla.

El análisis de la huella ecológica, a su vez, proporciona una herramienta para la interpretación ecológica de hoy, y permite identificar los objetivos para disminuir la carga ecológica de la humanidad. Es posible asegurar el bienestar humano con el patrimonio ecológico que tomamos prestado de nuestros hijos, y la huella nos indica si caminamos en la dirección adecuada.

El cálculo de la huella ecológica revela, asimismo, los intercambios implicados por el comercio entre las naciones, lo que permite a los gobiernos, y a sus agencias, evaluar los riesgos que pudieran presentarse y formular políticas consecuentes.

La huella ecológica sirve también como herramienta para desarrollar estrategias y escenarios con miras a un futuro sostenible.

Este cálculo se ha realizado a nivel mundial para estimar la huella de naciones, regiones, ciudades, familias o individuos.

El modelo de la huella, como cualquier otro, no representa todas las interacciones posibles. Debemos tener en cuenta que esta es una subestimación del impacto humano en la naturaleza, por lo que puede ser utilizada como un instrumento en las decisiones diarias de la Administración Pública; además, proporciona algunas sugerencias clave, que pueden ser muy útiles para los decisores, siempre y cuando tengan en cuenta los problemas suscitados por las interrogantes referentes a la sustentabilidad.

Es importante calcular la huella ecológica de las ciudades, ya que:

Según la Organización de las Naciones Unidas, 45% de la humanidad vive en ciudades y se espera que 61% lo haga en el 2025. En América, más de 80% de la población vive en núcleos urbanos. En la provincia de Cienfuegos, reside en zonas urbanas 81% de su población total, según Anuario Estadístico de Cienfuegos en el 2005, y solo existe un municipio con más de 50 000 habitantes (Cumanayagua); los núcleos urbanos tienden a expandirse, por lo que estamos a tiempo de dirigir este desarrollo hacia la sostenibilidad.

- La mayoría de las decisiones políticas y económicas se toman en las ciudades. Los negocios, los principales centros educativos, y el grueso de la población se concentra en ellas.
- Las ciudades son los mayores contribuyentes al Producto Bruto Mundial.
- Dado el desarrollo económico, las ciudades son los mayores consumidores de recursos. La concentración de desechos pone en peligro la salud de la ciudadanía, particularmente en los países en vías de desarrollo, que por lo general no disponen de una infraestructura adecuada para la reducción de la contaminación y la gestión de los residuos.
- El presente trabajo tiene como objetivo general determinar la huella ecológica de la provincia de Cienfuegos, a partir de la metodología propuesta por William Rees y Mathis Wackemagel [1996].

### **Objetivos específicos de la investigación**

- Realizar un análisis crítico de las distintas metodologías para determinar la huella ecológica, y evaluar sus ventajas y desventajas como indicador de desarrollo sostenido.
- Crear una base de datos adecuada que permita determinar la huella ecológica de la provincia de Cienfuegos.

- Determinar la huella ecológica de la provincia de Cienfuegos y sus diferentes subhuellas, realizando un diagnóstico del estado actual de los valores obtenidos.
- Comparar los valores de la huella ecológica de ciudades y países con diferentes niveles de desarrollo, con la capacidad de carga de la provincia.

## **Desarrollo**

### **Caracterización general de la provincia Cienfuegos**

La Villa Fernandina de Jagua, actual ciudad de Cienfuegos, capital de la provincia de igual nombre, fue fundada el 22 de abril de 1819 por un grupo de colonos franceses, encabezados por Don Luis D'Clouet. Se encuentra situada al centro y sur del país, entre las coordenadas 21° 21' y 22° 35' de latitud norte y 80° 20' y 81° 10' de longitud oeste. Limita al Norte con los municipios de Ranchuelo y Santo Domingo (provincia de Villa Clara) y con los municipios Calimete y Los Arabos (provincia de Matanzas). Al Este, con los municipios de Manicaragua (provincia de Villa Clara) y Trinidad (provincia de Sancti Spíritus). Al Sur limita con el Mar Caribe y al Oeste con los municipios Ciénaga de Zapata y Calimete, de la provincia de Matanzas. Cienfuegos surgió como provincia en el año 1976, al implantarse en el país la División Política Administrativa, quedando conformada por ocho municipios: Aguada de Pasajeros, Rodas, Palmira, Lajas, Cruces, Cumanayagua, Cienfuegos y Abreus (Anexo 3).

Al cierre del 2005 cuenta con una población residente de 400 028 habitantes y una densidad de población de 95,7 hab/km<sup>2</sup>. Tiene una extensión territorial de 4 180,0 km<sup>2</sup>, por lo que es una de las cuatro más pequeñas del país, junto con La Habana, Ciudad de La Habana y Santiago de Cuba.

En la región predominan las llanuras en las zonas occidental y central, hacia el Norte el relieve es ondulado, hacia el este es montañoso debido a la presencia de las montañas de Trinidad, donde se encuentra la elevación culminante de la provincia, el Pico San Juan, con 1 156 m de altura sobre el nivel del mar. Al Sur, el relieve está contorneado por el Mar Caribe, donde predominan las costas abrasivas y acumulativas, con la presencia de algunas caletas y piscinas naturales en costas rocosas, con playas puntuales. La bahía de Cienfuegos, en forma de bolsa y con un área aproximada de 88 km<sup>2</sup>, es otro accidente natural notable de la provincia, que ha determinado, por su privilegiada ubicación y sus condiciones, la expansión industrial y el desarrollo, en función de la economía, no solo territorial, sino fundamentalmente nacional.

Las corrientes superficiales más importantes son los ríos Damují, Caunao, Arimao, Salado, San Juan, Hanábana, Yaguanabo, Hanabanilla, Cabagán y Hondo. Algunos de estos ríos han sido represados, encontrándose los embalses: Damují, Galindo, Voladora, Avilés y el Canal Paso Bonito-Cruces. Posee siete cuencas subterráneas: Hanábana, Cartagena, Abreus, Juraguá, Lajas, Cienfuegos y Cumanayagua. Predominan los suelos pardos sialíticos, ferralíticos, fersialíticos y alíticos. Desde el punto de vista agroproductivo, la mayor parte de los suelos de la provincia clasifican como muy poco productivos, muy productivos y productivos, en ese orden.

El clima de la provincia responde a las condiciones tropicales de nuestro país, modificado por la influencia de las masas de agua oceánicas, la latitud y la altitud. Hacia el Sudeste, el macizo montañoso provoca un efecto que distorsiona la trayectoria de los alisios y produce un sistema de vientos locales.

En el 2005, las temperaturas mínima y máxima medias alcanzaron valores de 19,2 y 31,3 °C, respectivamente, la humedad relativa de 76,0% y las precipitaciones totales medias anuales fueron del orden de los 1 459,0 mm.

La provincia de Cienfuegos se caracteriza por las actividades industriales, agrarias, constructivas y agropecuarias. Actualmente cuenta con empresas estatales, empresas mixtas, unidades presupuestadas, Organizaciones Económicas Estatales (OEE), Unidades Básicas de Producción Cooperativa (UBPC), Cooperativas de Producción Agropecuaria (CPA) y Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS), las que conforman la infraestructura económica.

El territorio muestra un desarrollo social sostenido, con un sistema educacional que comprende todos los tipos de enseñanza; un sistema de salud que dispone de instalaciones equipadas con tecnologías de avanzada y un personal altamente calificado; un apreciable potencial deportivo con numerosas instalaciones y variados centros culturales.

En el 2005, durante la celebración de la XXIX Conferencia de la UNESCO sobre Patrimonio Mundial celebrada en Durban, Sudáfrica, el Centro Histórico de la ciudad de Cienfuegos fue declarado Patrimonio Cultural de la Humanidad por su valor universal, su autenticidad, y la integridad y grado de conservación, convirtiéndose en el único de una ciudad iberoamericana, fundada en el siglo xix, en alcanzar esta importante distinción.

### **Metodología empleada**

Después de una amplia consulta bibliográfica, se decidió utilizar para el estudio la metodología de Willian Ress y Wackernagel [1996] empleada en la determinación de la huella ecológica de Cochabamba, con sus modificaciones para nivel de regiones.

## Modificaciones de la metodología

Con la intención de acercar dicha metodología a nuestro ámbito de estudio, se le realizaron modificaciones a la metodología estándar, y se aplicó en el ámbito de la provincia de Cienfuegos.

Las principales modificaciones son:

- La aplicación de índices de productividad local, en lugar de los mundiales.
- La conversión de la energía consumida de forma directa mediante el método de la producción de biocombustibles.
- La no aplicación de factores de ponderación, con lo que los resultados finales, tanto de huella ecológica como de capacidad de carga, son expresados en hectáreas de territorio productivo local.

*Tabla 1. Diferencias metodológicas entre la metodología estándar y la modificada*

<b>Subhuella</b>	<b>Metodología estándar</b>	<b>Metodología modificada</b>
Subhuella energía	Absorción de CO <sub>2</sub>	Biocombustibles / superficie ocupada
Subhuella alimentos	Índices de productividad medios mundiales	Índices de productividad medios locales
Subhuella pastos	Índices de productividad medios mundiales	Índices de productividad medios locales
Subhuella mar	Índices de productividad medios mundiales	Índices de productividad medios mundiales
Subhuella bosque	Índices de productividad medios mundiales	Índices de productividad medios mundiales
Subhuella superf. const.	Ponderación	Resultados finales
Territorio productivo disponible (capacidad de carga)	Ponderación	Resultados finales
Resultados de la huella ecológica	Resultados finales	Resultados finales
Unidad de medida	Hectáreas de territorio productivo estándar	Hectáreas de territorio productivo local

*Fuente: Elaboración propia.*



La metodología tiene las ventajas siguientes:

- Se pueden contabilizar físicamente (en toneladas) los recursos que consumimos.
- Estos *imputs* pueden traducirse en área biológicamente productiva (hectáreas).
- La mayor parte de los datos que se utilizan pueden ser encontrados en los Centros Estadísticos de los organismos de la provincia.

### **A continuación se exponen los pasos de esta metodología.**

El cálculo de la huella ecológica se hace a partir de la suma de las huellas particulares de las distintas necesidades del hombre y, la necesidad de reciclar sus desechos. Estas necesidades, que a la vez son las subhuellas, se dividen en:

- Energía (área de absorción de CO<sub>2</sub>).
- Alimentación.
- Pastos.
- Mar.
- Bosques. Superficie construida.

La subhuella individual de cada recurso se calcula mediante una sencilla fórmula dada por los autores del tema:

$$A_{ai} = C_i/p_i$$

Donde:

*aai*: Área de tierra per cápita para la producción de cada artículo de consumo.

*C<sub>i</sub>*: Consumo medio anual de ese artículo (kg/cap).

*p<sub>i</sub>*: Su productividad media o rendimiento (kg/ha).

Por ejemplo, con los datos de productividad de naranja (kg/ha) y consumo (kg/cap) se obtiene el componente de la huella (ha/ha) de naranjas.

### **Cálculo de la subhuella energía**

El cálculo de la subhuella energía (área de absorción de CO<sub>2</sub>), se desglosa en electricidad y combustible; a su vez, estos, en: petróleo, diésel, gasolina y gas; no tomando en cuenta los consumos de aquellos que se consideren insignificantes a la hora de realizar los estudios.

Dado que la metodología propuesta por los autores utiliza el término de giga joule (Gj), en este apéndice de la huella ecológica lo primero que se hace es realizar dicha conversión para cada tipo de combustible.

En resumen, el cálculo de la subhuella ecológica energía quedará como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Subhuella energía} = & \frac{\text{Cons. elect.}}{\text{habitan te}} / \text{factor de conv.} + \frac{\text{Cons. petrol}}{\text{habitan te}} / \text{factor de conv.} + \\ & \frac{\text{Cons. diesel}}{\text{habitan te}} / \text{factor de conv.} + \frac{\text{Cons. gasol.}}{\text{habitan te}} / \text{factor de conv.} + \frac{\text{Cons. Intermed.}}{\text{habitan te}} / \text{factor de conv.} + \\ & \frac{\text{Cons. Fáb cemento}}{\text{habitan te}} / \text{factor de conv.} \end{aligned}$$

### Cálculo de la subhuella alimentos

Los alimentos se subdividen en cereales, hortalizas, legumbres, tubérculos y raíces, viandas, cítricos, frutas y otros alimentos, estas subcategorías se dividen en productos específicos (Tabla 4).

Con estos datos se determina la subhuella de los alimentos dada por la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Subhuella alim} = & \sum_{i=1}^n \text{cereales} \frac{\text{Cons. } i.}{\text{habitan te}} / \text{rend. } i. + \sum_{i=1}^n \text{hortaliza} \frac{\text{Cons. } i.}{\text{habitan te}} / \text{rend. } i. + \\ & \sum_{i=1}^n \text{tub. y raíces} \frac{\text{Cons. } i.}{\text{habitan te}} / \text{rend. } i. + \sum_{i=1}^n \text{legumbres} \frac{\text{Cons. } i.}{\text{habitan te}} / \text{rend. } i. + \\ \text{Subhuella alim} = & \sum_{i=1}^n \text{cereales} \frac{\text{Cons. } i.}{\text{habitan te}} / \text{rend. } i. + \sum_{i=1}^n \text{hortaliza} \frac{\text{Cons. } i.}{\text{habitan te}} / \text{rend. } i. + \\ & \sum_{i=1}^n \text{tub. y raíces} \frac{\text{Cons. } i.}{\text{habitan te}} / \text{rend. } i. + \sum_{i=1}^n \text{legumbres} \frac{\text{Cons. } i.}{\text{habitan te}} / \text{rend. } i. + \end{aligned}$$

### Cálculo de la subhuella pastos

En el caso de los pastos, se subdividen en las categorías siguientes:

- Huevo.
- Leche.
- Queso.
- Carnes (bovina, porcina y avícola).

En resumen, el cálculo de la subhuella de los pastos se calcula de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \text{Subhuella pastos} = & \sum_{i=1}^n \text{carn. bov.} \frac{\text{Cons. } i.}{\text{habitante}} / \text{rend. } i + \sum_{i=1}^n \text{carn. porc.} \frac{\text{Cons. } i.}{\text{habitante}} / \text{rend. } i + \\ & \sum_{i=1}^n \text{carn. avic} \frac{\text{Cons. } i.}{\text{habitante}} / \text{rend. } i + \\ & \frac{\text{Cons. huevo.}}{\text{habitante}} / \text{rend. huevo} + \frac{\text{Cons. leche}}{\text{habitante}} / \text{rend. leche} + \\ & \frac{\text{Cons. queso.}}{\text{habitante}} / \text{rend. queso.} \end{aligned}$$

### Cálculo de la subhuella mar

Lo relacionado con el mar, se dividió en:

- Pescado fresco.
- Pescado envasado.
- Otros alimentos pesqueros.
- Mariscos.

En conclusión, la subhuella de mar se calcula de la forma siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Subhuella mar} = & \sum_{i=1}^n \text{pesc. fresco} \frac{\text{Cons. } i.}{\text{habitante}} / \text{rend. } i + \frac{\text{Cons. pesc. env.}}{\text{habitante}} / \text{rend. pescado} + \\ & \frac{\text{Cons. otros alim. pesquero.}}{\text{habitante}} / \text{rend. pescado} + \frac{\text{Cons. mariscos.}}{\text{habitante}} / \text{rend. mariscos.} \end{aligned}$$

### Cálculo de la subhuella bosque

Para terminar la categoría de bosque, se dividió en:

- Madera.
- Papel.
- Leña.

En conclusión, la subhuella de bosque se calcula como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Subhuella bosque} = & \frac{\text{Cons. madera.}}{\text{habitante}} / \text{rend. madera} + \frac{\text{Cons. leña.}}{\text{habitante}} / \text{rend. leña} + \\ & \frac{\text{Cons. papel.}}{\text{habitante}} / \text{rend. papel.} \end{aligned}$$

### **Cálculo de la subhuella superficie construida**

Para este cálculo se utiliza la fórmula siguiente:

$$\text{Subhuella sup. const.} = \sum_{i=1}^n \text{tipode sup.} \cdot \frac{\text{Sup. const. } i.}{\text{habi tan te}}$$

### **Cálculo de la capacidad de carga**

En este apartado se calcula la capacidad de carga para cada una de las subhuellas en que se subdivide la huella ecológica, mediante la fórmula siguiente:

$$\text{Cap. de carga} = \left( \sum_{i=1}^n \frac{\text{Cant. tierra. disp. por subhuella } i.}{\text{habi tan te}} \right) - 12\% \text{ biodiversidad.}$$

### **Cálculo de la huella ecológica general**

Para terminar la metodología se suman las subhuellas de cada categoría y de esta forma obtener la superficie de tierra y mar, ecológicamente productiva, ocupada exclusivamente para producir los recursos consumidos y asimilar los desechos generados por la población, en este caso la huella ecológica de la población en estudio, que es la de la provincia de Cienfuegos. La ecuación utilizada fue la siguiente:

Huella ecológica = subhuella energía + subhuella alimentos + subhuella pastos + subhuella mar + subhuella bosque + subhuella superficie construida

Por último, se realiza una comparación entre la huella ecológica y la capacidad de carga, para determinar por cada una de las subhuellas si existe sobrecarga o déficit ecológico.

### **Análisis de los resultados**

En este acápite se muestran los datos empleados para la determinación de la huella ecológica, los cálculos y resultados de la misma, así como un breve comentario sobre ellos. Los datos utilizados se obtuvieron en su gran mayoría en las principales entidades estadísticas de la provincia: Oficina Nacional de Estadística, Planificación Económica Provincial y Planificación Física Provincial.

En la tabla 2 se observan los principales datos tomados de referencia de la literatura para los cálculos generales de la huella ecológica.

*Tabla 2. Cálculos generales de la huella ecológica*

<b>Datos</b>	<b>Valor</b>
Número de habitantes de la provincia	400 028 habitantes
Cantidad total de hectáreas de la provincia	418 001,7 hectáreas
Cantidad de energía que absorbe 1 hectárea	100 GJ
Peso específico del aceite	0,920 kg/m <sup>3</sup>
Una tonelada de leche	10 000 L
Una caballería de tierra	13,5 hectáreas
Un quintal	45,454545 kg
Producción de huevo por ave al año	247 huevos
Peso promedio de un ave en el momento de sacrificio	4 kg
Peso promedio de un cerdo en el momento de sacrificio	80 kg
Rendimiento promedio de leche por vaca al día	12 L
Rendimiento de la madera	95,8 m <sup>3</sup> /ha
Rendimiento del papel (40% del de la madera)	38,32 m <sup>3</sup> /ha

*Fuente: Elaboración propia.*

### **Cálculo de la subhuella energía**

Para la determinación de esta categoría, primeramente se lleva de kilogramo de petróleo equivalente a kilocalorías, luego de kilocalorías a joule y, por último, a GJ.

En la electricidad se utilizó el consumo de la provincia para el 2006. Este fue brindado por el despacho de la Oficina de la Empresa Eléctrica

Provincial, luego de convertir los MWh en GJ, se calculó el consumo per cápita, para luego determinar lo que representa dicho consumo en hectáreas; siendo esto posible, ya que William Rees y Mathis Wackernagel plantean que una hectárea absorbe 100 GJ de energía al año.

En la tabla 3 se aprecian los cálculos realizados para la determinación de la subhuella de energía en el 2006 en Cienfuegos, según la metodología explicada.

*Tabla 3. Cálculos realizados para la determinación de la subhuella de energía en el 2006 en Cienfuegos*

Variables en estudio	Cant. de comb en kg equivalente	kCal que libera	Cant. de kCal que libera	Cant. de J que representa	Cant. de GJ que representa	HE
Electricidad	1,7541*10 <sup>8</sup>	10 000	1,7541*10 <sup>12</sup>	7,3393*10 <sup>15</sup>	7 339 342,7	0,18
Petróleo	8 622 406,3	10 000	8,6224*10 <sup>10</sup>	3,6076*10 <sup>14</sup>	360 761,48	0,009
Diésel	35 514 222	11 200	3,9776*10 <sup>11</sup>	1,6642*10 <sup>15</sup>	1 664 224,9	0,04
Gasolina	8 153 427,8	11 800	9,621*10 <sup>10</sup>	4,0254*10 <sup>14</sup>	402 544,51	0,01
Cons. F C.	74 821 000	10 000	7,4821*10 <sup>11</sup>	3,1305*10 <sup>15</sup>	3 130 510,6	0,078
Ins. Termo.	33 608 000	10 000	3,3608*10 <sup>11</sup>	1,4062*10 <sup>15</sup>	3 130 510,7	0,035
Total						0,35

*Fuente: Elaboración propia.*

Del análisis de la tabla podemos hacer los comentarios siguientes:

1. El valor de la subhuella energía de la provincia de Cienfuegos es 0,35, lo que representa 43,21% de la huella ecológica total.
2. Como se puede observar, las categorías electricidad y diésel son las de mayor aporte a esta subhuella, con 51,24 y 11,36%, respectivamente, aunque también juegan un papel fundamental los dos grandes consumidores de combustible de la provincia, que son los insumos de la termoeléctrica y el carbón que consume la fábrica de cemento (9,94 y 22,16%).
3. Comparando este valor con las subhuellas ecológicas de energía que aparecen en la tabla 14, estamos en una posición intermedia, es decir, por debajo de las áreas desarrollados como Alemania, China, San Sebastián y Navarra, y por encima de Camerún, los países de bajos ingresos y la ciudad de Cochabamba.

### Cálculo de la subhuella alimentos

Para la determinación de la subhuella alimentos se tomaron los datos de consumo de alimentos de la población en estudio, para nuestro caso, el de la provincia de Cienfuegos para el 2006, los cuales fueron suministrados por las Oficina Nacional de Estadística de la provincia (Tabla 4).

Por otra parte, fue necesario recopilar los rendimientos de cada producto, los cuales se obtuvieron en el Anuario Estadístico de Cuba 2006 (Anexo 1, Tabla 1), al igual que los rendimientos de los productos importados, los cuales fueron tomados de diversos datos estadísticos internacionales (Anexo 1, Tabla 2).

En la tabla 4 se presenta un resumen de los cálculos realizados en la determinación de la subhuella de los alimentos.

*Tabla 4. Cálculos realizados en la determinación de la subhuella de los alimentos*

Productos	Cons.año, kg	Cons. Perc.kg/pc	Rend.kg/ha	HE	HE por categoría	
1	Harina de trigo	27 724 200	66,81	2 452,55	0,03	0,134
	Harina de maíz	252 200	0,63	1 212,12	0,001	
	Maíz	9 809 090,8	24,52	1 212,12	0,02	
	Pan	12 412 500	31,03	2 452,55	0,013	
	Arroz	28 259 091	70,64	1 077,44	0,07	
2	Tomate	14 827 273	37,07	15 016,84	0,0025	0,016
	Otras hortalizas	70 745 454	175,35	13468	0,013	
3	Papa	14 154 545	35,38	21 683,5	0,002	0,011
	Otros tubérculos	43 190 909	103,97	10505	0,009	

4	Frijoles	10 127 273	25,32	1 380,47	0,018	0,022
	Chícharo	2 030 400	5,08	1 380,47	0,004	
5	Plátano	14 386 182	35,92	34 680,13	0,001	0,013
	Otras viandas	57 545 454	143,85	12 356,9	0,012	
6	Cítricos	3 550 000	8,87	4 612,79	0,002	0,002
<b>Productos</b>		<b>Cons.año, kg</b>	<b>Cons. Perc.kg/pc</b>	<b>Rend.kg/ha</b>	<b>HE</b>	<b>HE por categoría</b>
7	Frutales	12 463 636	31,16	6 565,66	0,005	0,007
	Otras frut. no cit.	4 146 404,9	10,37	6 565,66	0,0016	
	Conser. de fruta	165 000	0,41	6 565,66	0,00006	
8	Café	3 010 200	7,52	3 000	0,003	0,022
	Azúcar	17 448 200	43,62	28 000	0,0016	
	Aceite	2 403 300	6,0078	1 106	0,005	
	Sal	2 312 700	5,78	500	0,012	
Total						0,23

*Fuente: Elaboración propia.*

1. Cereales. 2. Hortalizas. 3. Tubérculos y raíces. 4. Legumbres. 5. Viandas. 6. Cítricos. 7. Frutas. 8. Otros alimentos.

Del análisis de la tabla podemos hacer los comentarios siguientes:

1. El valor de la subhuella alimentos es de 0,23, lo que representa 28% de la huella ecológica total, siendo los productos de mayor aporte el arroz y la harina de trigo, con 8,6 y 3,7%, respectivamente, ambos pertenecientes a la categoría cereales.



2. Esta subhuella ecológica ofrece valores inferiores a todos los países comparados, lo que puede estar explicado, en primer lugar, por la gran cantidad de tierra sin cultivar (ociosa) que presenta la provincia y que son tomadas en consideración en la huella ecológica. La provincia cuenta con 82 100 hectáreas de tierra ociosa, que representa 58% de la tierra cultivable, y en segundo lugar, por su baja productividad. Esto significa que existe una demanda insatisfecha de alimentos.
3. De esta subhuella ecológica, los alimentos que se producen en la provincia representan 52,17%, y los que se importan, tanto de otras zonas como del exterior del país, representan 47,83%.

### **Cálculo de la subhuella pastos**

En la determinación de esta subhuella, los datos de los consumos de los productos huevo, leche, queso y carnes se obtuvieron en la Oficina Nacional de Estadística de la provincia (Tabla 4). Los rendimientos de huevo, leche y queso se obtuvieron a partir de datos cubanos ofrecidos por las entidades correspondientes (Anexo 1, Tablas 4, 5 y 6). En el caso de las carnes, fue necesario realizar un doble cálculo.

Primero se calculó la cantidad de tierra necesaria para lograr la cantidad de carne consumida (avícola, bovina y porcina), es decir; se realizó la conversión de kg de carne - hectárea de tierra. Esto se hizo tomando los consumos de las distintas carnes en el 2006, a partir de los datos ofrecidos por la Oficina Nacional de Estadística de la Provincia. Los rendimientos se obtuvieron en las distintas empresas relacionadas con estos productos, así como de datos a nivel internacional (Anexo 1, Tablas 6, 8 y 9).

Seguidamente fue necesario añadirle la cantidad de tierra requerida para producir el pienso equivalente a la cantidad de carne consumida; es decir, se realizó la conversión de kg de carne-kg de pienso. Para esto se utilizaron los datos ofrecidos por las entidades implicadas en dichas producciones. (Anexo 1, Tabla 3). Para determinar el rendimiento del pienso, se tomaron los rendimientos de los principales productos que lo componen (Anexo 1, Tabla 7).

Con estas cantidades de pienso y sus rendimientos, se calculó la huella ecológica para estas subcategorías según la fórmula expuesta al comienzo del epígrafe.

En la tabla 5 aparece un resumen del cálculo de la subhuella pastos.

Tabla 5. Cálculo de la subhuella pastos

Categorías		Consumo	Cons. per cápita	Ren x hect.	HE	HE total por categ.
Huevos (miles)		83 028 800	207,56	61 750 000	0,0000034	0,0000034
Leche (litros)		69 021 000	172,54	34 560	0,0049	0,005
Queso		9 869 000	24,67	3 456	0,0071	0,007
Bovina	kg carne	4 270 700	10,68	522	0,02	0,0232
	kg pienso	8 541 400	21,35	6 684,95	0,0032	
Porcina	kg carne	8 538 500	21,34	975 609,76	0,000022	0,014
	kg pienso	36 288 625	90,71	6 684,95	0,0135	
Avícola	kg carne	5 785 600	14,46	400 000	0,000036	0,0007
	kg pienso	1 677 824	4,19	6 684,95	0,00063	
<b>Total</b>						<b>0,05</b>

Fuente: Elaboración propia.

Del análisis de la tabla podemos hacer los comentarios siguientes:

1. Los pastos representan 6,17% de la huella ecológica total, siendo los principales aportes la carne bovina, la porcina y el queso, los cuales representan 46,4, 28 y 14%, respectivamente.
2. Estos subvalores de huella ecológica resultan inferiores a los países comparados debido a los conocidos problemas que presenta el nuestro en la producción y consumo de carne y leche.
3. De esta subhuella ecológica se produce en las tierras de la provincia 99,1%, y el otro 0,9% es importada de las vecinas, o del exterior.

### Cálculo de la subhuella mar

El lo que respecta al mar, este se divide en: pescado fresco, pescado envasado, otros alimentos pesqueros y mariscos. Se utilizaron los datos de consumos de estos productos ofrecidos por la Oficina Nacional de Estadística de la provincia, y los rendimientos se obtuvieron por diferentes vías (Tablas 6 y 7).

Tabla 6. Rendimiento de captura

Producto	Países	Rend. x país	Rend. prom.
Pescado plataforma	EE.UU.	3 000 kg/ha	8 000 kg/ha
	China	13 000 kg/ha	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 7 se ofrece un resumen del cálculo de la subhuella mar.

Tabla 7. Cálculo de la subhuella mar

Producto		Consumo año kg	Cons. per cápita	Ren kg/cap.	HE	HE total por categ.
Pescado fresco	Plataforma	1 184 200	2,96	8 000	0,00037	0,00077
	Acuicultura	709 700	1,77	4 824	0,0004	
Pescado envasado		20 300	0,026	8 000	0,000003	0,000003
Otros alim. pesq.		835 000	2,09	8 000	0,0003	0,0003
Mariscos		23 166	0,058	6 300	0,000009	0,000009
Total						<b>0,0011</b>

Fuente: Elaboración propia.

Del análisis de la tabla podemos hacer los comentarios siguientes:

1. La subhuella ecológica de mar representa 0,14% de la huella ecológica de la provincia, siendo el producto de mayor aporte a esta subhuella otros alimentos pesqueros (picadillos, croquetas y demás productos elaborados con pescados), el cual representa 27,27 % de la misma.
2. El porcentaje de la subhuella ecológica mar es muy bajo con respecto a las comparadas, lo que puede estar dado por la poca oferta de estos productos, que se dan en los mercados normados y no normados.
3. De este total de la subhuella mar se producen en los mares de la provincia 80 %, y el otro 20 % proviene del resto del país, así como de importaciones.

### Cálculo de la subhuella bosque

Para determinar la categoría bosque, la misma se dividió en madera, papel y leña. Se utilizaron los consumos de estos productos, ofrecidos por diferentes entidades y los rendimientos se obtuvieron en las empresas relacionadas con esta categoría (Tablas 8 y 9).

Tabla 8. Conversión de los productos

Producto	Consumo al año	Consumo per cápita	Rend. x ha.	HE
Madera	58,4041 m <sup>3</sup>	0,000146 m <sup>3</sup>	95,8 m <sup>3</sup> /ha	0,000002
Leña	3 943 900 kg	9,86 kg	15 670 kg	0,0006
Papel	4 200 294 kg	10,5 kg	34 871,2 kg	0,0003
Total				0,0009

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Rendimiento de la leña

Tipo de plantación	Total de patrimonio, m <sup>3</sup>	Porc. que se emplea en leña, %	Valor que representa, m <sup>3</sup>	Total ha. plant.	Rend. total x ha.
Bosques productores	636 761	40	254 704,4	6 391	47,95 m <sup>3</sup> /ha
Protectores de H <sub>2</sub> O y suelos	2 021 673	8	161 733,84	19 838	

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 10 expone un resumen del cálculo de la subhuella bosque.

Tabla 10. Cálculo de la subhuella bosque

Producto	Consumo al año	Consumo per cápita	Rend. x ha.	HE
Madera	58,4041 m <sup>3</sup>	0,000146 m <sup>3</sup> /cap	95,8 m <sup>3</sup> /ha	0,000002
Leña	3 943 900 kg	9,86 kg	15670 kg	0,0006
Producto	Consumo al año	Consumo per cápita	Rend. x ha.	HE

Papel	4 200 294 kg	10,5 kg	34871,2	0,0003
Total				0,0009

*Fuente: Elaboración propia.*

Del análisis de la tabla podemos hacer los comentarios siguientes:

1. La subhuella ecológica bosque representa 0,11% de la huella ecológica de la provincia, siendo el producto de mayor aporte a esta subhuella la leña, con 66,6%.
2. Esta subhuella ofrece valores relativamente bajos en comparación con todos los países estudiados, cuya explicación está dada por los bajos niveles de consumo de papel y cartón, debido a nuestras limitaciones de desarrollo y los bajos consumos de leña de nuestra población rural en comparación con los países subdesarrollados, ya que la misma utiliza en muy poca medida la leña como combustible en la cocción de los alimentos.

### **Cálculo de la subhuella superficie construida**

Para la superficie construida se tomaron en cuenta las hectáreas de suelos ocupados por la superficie poblacional construida, la de los asentamientos poblacionales, tanto urbano como rural, la de instalaciones e infraestructura, la del transporte, la industrial, la de explotación minera, la ocupada por los vertederos, la de la agricultura y silvicultura, así como la de educación, turismo y otras instalaciones. Todos estos datos fueron tomados del Acta Balance de la tierra emitida por la Oficina Nacional de Estadística de Cienfuegos para el 2006 (Anexo 4). Estos valores se dividieron entre la cantidad de habitantes de la población en estudio. En la tabla 11 aparece un resumen del cálculo de la subhuella superficie construida.

*Tabla 11. Cálculo de la subhuella superficie construida*

<b>Tipo de sup. const.</b>	<b>Cantidad ha.</b>	<b>HE</b>
Poblac. constructiva	27 295	0,068
Asent. poblac.	12 118,7	0,03
Infraestructura	15 176,4	0,04
<b>Tipo de sup. const.</b>	<b>Cantidad ha.</b>	<b>HE</b>

Transporte	5 233,4	0,013
Industria	959,8	0,0024
Minería	561,4	0,0014
<b>Tipo de sup. const.</b>	<b>Cantidad ha.</b>	<b>HE</b>
Vertederos	42,1	0,00011
Agricultura y silvicultura	7 737,4	0,019
Otras instalaciones	642,3	0,0016
Total		0,18

*Fuente: Elaboración propia.*

Del análisis de la tabla podemos hacer los comentarios siguientes:

1. Esta subhuella arroja valores similares a la mayoría de los países subdesarrollados comparados, y es entre 2 y 4 veces menor que los países y ciudades desarrolladas, lo que no está acorde con el elevado porcentaje de nuestra población urbana, explicado por las limitaciones de viviendas que presenta el país.

### **Cálculo de la capacidad de carga**

Para el cálculo de la capacidad de carga los datos fueron tomados del Acta Balance de la Tierra 2006 ofrecido por la Oficina Nacional de Estadística de la provincia (Anexo 4).

La tabla 12 expone un resumen del cálculo de la capacidad de carga.

*Tabla 12. Cálculo de la capacidad de carga*

<b>Sub. HE</b>	<b>Hectáreas utilizadas</b>	<b>Cap. carga</b>
Energía	48 439	0,12
Alimento	140 373,2	0,35
Pastos	85 051,3	0,21
Mar	8 800	0,022

Bosque	666 447,8	0,1666
<b>Sub. HE</b>	<b>Hectáreas utilizadas</b>	<b>Cap. carga</b>
Superficie cond.	68 690,4	0,1717
Total	418 001,7	1,04
-12% biodiversidad		0,1248
Total con biodiversidad		0,9152

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla 13. Comparación entre la capacidad de carga y huella ecológica*

<b>Categorías</b>	<b>SubHE Cienfuegos</b>	<b>Cap. carga</b>	<b>Def. o super.</b>
Energía	0,35	0,12	- 0,23
Alimento	0,23	0,35	0,12
Pastos	0,05	0,21	0,16
Mar	0,0011	0,022	0,021
Bosque	0,0009	0,1666	0,1657
Superficie const.	0,18	0,1717	- 0,01
Total	0,81	1,042	-
-12% biod.		0,1248	-
Total	0,81	0,92	0,11

*Fuente: Elaboración propia.*

Del las tablas anteriores podemos realizar los comentarios siguientes:

1. Nuestra capacidad de carga está por encima de nuestra huella ecológica, lo que es un resultado que apunta al desarrollo sostenible.
2. En la comparación que se expone en la tabla 13, se puede apreciar cómo, con excepción de la energía y la superficie de construcción, el resto de las capacidades de carga son superiores a las subhuellas ecológicas, lo que da a entender que Cienfuegos está por un buen camino en cuanto al desarrollo sostenible.
3. A pesar de resultar positivos estos factores, es negativo que Cuba sea uno de los países de América Latina de más baja capacidad de carga; esto implica que se deben trazar estrategias de agricultura intensiva y no extensiva.

### Cálculo de la huella ecológica general

A continuación se muestra una tabla comparativa en la que aparece la huella ecológica de Cienfuegos junto a la de otros países y ciudades, para una mejor comprensión y análisis de las mismas.

*Tabla 14. Valores de cálculos de huellas ecológicas*

Subhuella ecológica	1	2	3	4	5	6	7
Energía	0,35	0,125	0,48	1,23	0,76	0,08	0,21
Alimento	0,23	0,5303	0,32	0,56	0,40	0,39	0,34
Pastos	0,05	0,62	1,37	0,24	0,12	0,10	0,04
Mar	0,0011	----	1,12	0,99	0,17	0,06	0,04
Bosque	0,0009	0,008	0,29	0,39	0,12	0,14	0,1
Sup. constr.	0,18	0,01	0,02	0,05	0,05	0,06	0,05
Total	0,81	1,29	3,6	0,46	1,6	0,83	0,78

*Fuente: Elaboración propia.*

1. Cienfuegos. 2. Cochabamba. 3. San Sebastián. 4. Navarra. 5. China.
6. Camerún. 7. Países con bajos ingresos.



Comparando la huella ecológica de la provincia de Cienfuegos con otras buscadas en la literatura, y mediante similares metodologías, se pueden realizar los comentarios siguientes:

1. La huella ecológica de Cienfuegos es similar a los valores de Camerún y los países de bajos ingresos, e inferior a la de la ciudad de Cochabamba y a la de los países desarrollados. Esto está influenciado, en sentido general, por los bajos niveles en alimentación, por las limitaciones que en la actualidad enfrenta el país.
2. Cienfuegos es una provincia con una huella ecológica inferior a la biocapacidad de Cuba, lo que explica el alto índice de desarrollo humano que muestra la misma.
3. Se considera que para acceder al desarrollo, Cuba, y específicamente Cienfuegos, tienen necesidad de aumentar su huella ecológica en las categorías de alimentos y bosque (madera y papel). Esto puede verse limitado por la baja capacidad de carga con que cuenta la provincia. Nuestras estrategias de desarrollo sostenible deben compensar esta situación con la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> (subhuella energía), y aplicando políticas de desarrollo basadas en la exportación de conocimientos y de aprovechamiento óptimo de nuestras tierras cultivables, así como lograr altos rendimientos en las mismas.

Propuestas de políticas a aplicar en la provincia

1. Política de energía = eficiencia energética y uso de fuentes renovables de energía.
  - a) Intensificar el uso de los paneles solares fotovoltaicos.
  - b) Aplicación de la energía eólica.
2. Política sobre los alimentos.
  - a) Trazar planes de producción más eficaces y eficientes que aceleren los procesos productivos, para la obtención de alimentos.
  - b) Uso intensivo y no extensivo de la tierra.
3. Políticas sobre el mar.
  - a) Intensificar la producción acuícola.
  - b) Mejorar los métodos de pesca.

- c) Aumentar los rendimientos de captura.
  - d) Diversificar las zonas de pesca.
4. Políticas sobre los bosques.
- a) Reforestación de espacios libres.
  - b) Mejor aprovechamiento de las materias primas en los procesos productivos a que es sometida la madera.
5. Políticas sobre superficie construida.
- a) Construcción de edificios multifamiliares.
  - b) Construcción de plantas piloto de producción de biogás a gran escala.

## **Conclusiones**

1. El análisis crítico de la huella ecológica, como indicador de desarrollo sostenible, enuncia sus principales características, así como sus ventajas y desventajas.
2. Se adaptó la metodología de William Rees y Mathis Wackemagel (1996) para el cálculo de la huella ecológica de la provincia de Cienfuegos, y se obtuvieron los principales datos para el cálculo de la misma, a partir, fundamentalmente, de los distintos sistemas estadísticos cubanos.
3. El resultado obtenido de la huella ecológica de Cienfuegos es 0,81ha/cap/año, desglosada en energía 0,35 ha/cap/año, alimentos 0,23 ha/cap/año, pastos 0,05 ha/cap/año, mar 0,0011 ha/cap/año, bosque 0,0009 ha/cap/año y superficie construida 0,18 ha/cap/año.
4. La subhuella energía mostró valores intermedios comparados con ciudades y países desarrollados y subdesarrollados, estando los mayores aportes en el consumo de electricidad, el cual representa 51,14% del total de esta subhuella.
5. Las subhuellas alimenticias (alimento, pastos, mar) determinaron valores bajos en comparación con el resto de las huellas ecológicas comparadas, lo que puede estar explicado por la improductividad de muchas de nuestras tierras agrícolas, y las limitaciones materiales debido al bloqueo económico al que está sometido nuestro país. De esta huella ecológica alimenticia se produce en la provincia 13,7%, mientras que 86,3% restante proviene de otras provincias y de importaciones del exterior.
6. La subhuella bosque, mostró valores comparativamente bajos, lo que puede estar dado por la poca población rural de la provincia,

que utiliza leña en la cocción de los alimentos, y los bajos niveles de consumo de papel y cartón.

7. La superficie construida mostró valores similares a la de los países subdesarrollados comparados, e inferiores a la de los países desarrollados comparados. El mayor aporte lo dio la superficie de vivienda, con 37,7%.
8. Una comparación entre la capacidad de carga de Cienfuegos y la huella ecológica, mostró valores positivos lo que puede ser un indicador de la tendencia hacia políticas sustentables. Sin embargo, la necesidad del aumento de nuestra subhuella ecológica alimento y bosque, es búsqueda ineludible hacia el desarrollo. Nuestra baja capacidad de carga, en comparación con la mayoría de las regiones de América Latina, constituye una amenaza que debe ser compensada con acertadas políticas de desarrollo que tengan en cuenta esta contradicción.

### **Recomendaciones**

1. Realizar este estudio en los municipios de la provincia, para contar con elementos suficientes y poder realizar una comparación real entre los mismos.
2. Seguir perfeccionando la base de datos estadísticos con que se obtuvo este trabajo, a fin de que 100% de los mismos respondan a fuentes propias de la provincia.
3. Realizar el cálculo de huella ecológica anual, con el objetivo de tener elementos comparativos sobre la tendencia de desarrollo, sostenible o no, de la provincia.
4. Aplicar esta metodología de cálculo a otras provincias del país, para obtener elementos comparativos en cuanto a este indicador.

### **Bibliografía**

«Bienestar social». Tomado de: [http://es.wikipedia.org/wiki/Bienestar\\_social](http://es.wikipedia.org/wiki/Bienestar_social). 24 de diciembre de 2007. «Cálculo de la huella ecológica de Navarra».

Tomado de:

<http://www.cfnavarra.es/Medioambiente/agenda/Huella/EcoNav.htm>.

España. 13 de abril de 2008.

«Cálculo de la huella ecológica». Tomado de:

[http://www.larioja.org/ma/prevención\\_ambiental/huella\\_ecologica/consumos\\_superficies.htm](http://www.larioja.org/ma/prevención_ambiental/huella_ecologica/consumos_superficies.htm). España. 2 de enero de 2008.

«Calidad de vida». Tomado de: [http://es.wikipedia.org/wiki/Calidad\\_de\\_vida](http://es.wikipedia.org/wiki/Calidad_de_vida). 24 de abril del 2008.

«Concepto de huella ecológica». Tomado de:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Huella\\_ecol%C3%B3gica](http://es.wikipedia.org/wiki/Huella_ecol%C3%B3gica). Bélgica. 23 de diciembre de 2007.

«Concepto de Índice de planeta vivo». Tomado de:  
<http://www.panda.org/livingplanet>. 23 de marzo de 2008.

«Definición de Desarrollo sostenible». Tomado de:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Desarrollo\\_sostenible](http://es.wikipedia.org/wiki/Desarrollo_sostenible). 24 de abril de 2008.

«Desarrollo sostenible». Tomado de:  
<http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecología/Hipertexto/140DEsSost.htm>.  
13 de mayo de 2008.

«Ecological Footprint of Nations». Tomado de:  
<http://www.redefiningprogress.org>. 24 de marzo de 2008.

«Huella ecológica, método cuantitativo para medir el desarrollo sustentable». Tomado de:  
<http://asesores.uv.mx/Gaceta/Nov05/seraca6.htm>. México.  
26 de diciembre de 2007.

«Huella ecológica». Tomado de: [http://es.wikipedia.org/wiki/Huella ecológica](http://es.wikipedia.org/wiki/Huella_ecol%C3%B3gica). 24 de abril de 2007.

«Huella ecológica». Tomado de:  
<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?idarticulo=880>,  
12 de febrero de 2008.

«Indicadores de desarrollo sostenible». Tomado de:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Indicadores de desarrollo sostenible](http://es.wikipedia.org/wiki/Indicadores_de_desarrollo_sostenible).  
25 de abril de 2007.

«Índice de desarrollo humano». Tomado de:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%8Dndice\\_de\\_desarrollo\\_humano](http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%8Dndice_de_desarrollo_humano).  
24 de abril de 2008.

«Informe sobre el desarrollo humano 2006». Tomado de:  
<http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2006/chapters/spanish/>.  
19 de febrero de 2008.

«La huella ecológica es una herramienta que nos ayuda a analizar la demanda de naturaleza por parte de la humanidad». Tomado de:  
<http://www.autosuficiencia.com.ar/img>. Argentina. 18 de diciembre de 2007.

«La huella ecológica: Muerto el perro empieza la vaina». Tomado de:  
<http://delhortelanosuperro.blogspot.com/2007/12/la-huella-ecol%C3%B3gica-muerto-el-perro.html>. 29 de mayo de 2008.

«Las huellas de los países». Tomado de:  
<http://www.redefiningprogress.org/publications/footprintnations2004.pdf>.  
Estados Unidos. 27 de abril de 2008.

«Planeta vivo». Tomado de: <http://www.wwf.es/planetavivo04.php>.  
24 de abril del 2008.

«Ventajas claves para los tomadores de decisiones». Tomado de: <http://www.redefiningprogress.org.programs/sustainability/eflpr2000>. Oakland. 13 de febrero de 2008.

CHAVALIER, S., et. al. *User Guide to 40 Community Health Indicators*. Ottawa: Health and Welfare, 1992.

*Empresa Forestal Integral. Dinámica Forestal*. Cienfuegos: EFI., MINAG, 2007. 10 p.

ENEP-DPCSD. *The Role of Indicators in Decision-Making. Discussion Paper prepared by UNEP for the Indicators of Sustainable Development for Decision Making Workshop*. Belgium: Chent, 1998. 140 p.

GALOPÍN, G. C. *Indicadores de desarrollo sostenible para América Latina y el Caribe. Desarrollo sostenible y asentamientos humanos*. Santiago de Chile, (106): 38, 2006.

GALOPÍN, G. C. *Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico. Serie medio ambiente y desarrollo. Desarrollo sostenible y asentamientos humanos*. Santiago de Chile, (64): 35, 2003.

HERRERA, A. O., et.al. *¿Catástrofe o Nueva Sociedad? Modelo Mundial Latinoamericano 30 años después*. Buenos Aires: Centro internacional de Investigación para el Desarrollo, IIED-América Latina, 2004. 40 p.

HINOSTROZA PINO LUIS. *La huella urbana y ecológica de Magallanes. Una mirada sobre nuestra insostenibilidad*. Urbano (Chile) 8 (011): 28-40, 2006.

HOLLING, C. S. *Adaptive Environmental Assessment and Management*. Chichester: John Wiley & Sons, 1978. 201 p.

JIMÉNEZ, L. *Desarrollo sostenible y economía ecológica: Integración medio ambiental-desarrollo y economía-ecología*. Madrid: Ed. Síntesis, 1996. 190 p.

LOMBORG, B. *The Skeptical Environmentalist: Measuring the Real State of the World*. Cambridge: Univ. Press, 2001. 364 p.

MÁRQUEZ RODRÍGUEZ, A. «Sostenibilidad y sustentable». Tomado de: <http://www.analítica.com/biblioteca/amarquez/sostenible.asp>. 25 de noviembre de 2008.

MCQUEEN, D. *Health Promotion Indicators: Current Status, Issues and Problems. Health Promotion 3*. (Estados Unidos), (3): 117-125, 1988.

MEADOWS, D., et. al. *The Limits to Growth*. New York: Universe Books, 1972. 284 p.

OECD Organization for Economic Cooperation and Development Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews. A Synthesis Report by the Group on the State of the Environment. (París) v (12): 35, 1993.

Oficina Nacional de Estadística. *Acta Balance de la Tierra. Cienfuegos. MEP, 2007. 3 p.*

Oficina Nacional de Estadística. *Anuario Estadístico de Cienfuegos. Cienfuegos. MEP, 2007. 150 p.*

Oficina Nacional de Estadística. *Anuario Estadístico de Cuba. Cienfuegos*. MEP, 2007. 250 p.

PRADO, P., et.al. *La huella ecológica de la ciudad de Cochabamba*. Bolivia: 2005. 11 p.

REES, WILLIAM E. «Indicadores territoriales de sostenibilidad», en *Ecología Política* 12, (Estados Unidos) 12: 27-40, 1996.

REES, WILLIAM E. «La ciudad glotona». Tomado de: <http://www.unchs.org/unchs/spanish/hdmar98/vista.htm>. 15 de marzo del 2008.

REES, WILLIAM E. *Our Ecological Footprint. Reducing Human Impact on the Planet*. Gabriola Island: 1996. 206 p.

SENGHOR, ALBIN. «Huella ecológica. Hasta fin de existencia». Tomado de: <http://www.ladinamo.org/ldnm/articulo.php?numero=22&id=555>. 27 de abril de 2008.

TUNSTALL, D. *Developing Environmental Indicators: Definitions, Framework and Issues. Background Materials for the World Resources Institute. Workshop on Global Environmental Indicators*. Washington D.C: World Resources Institute, 1999. 206 p.

WACKERNAGEL, MATHIS. «¿Cuánto mide nuestra huella ecológica?» Tomado de: <http://www.tierramerica.org/consumidor/huella.shtml>. 14 de enero de 2008.

## Anexo 1. Tablas de conversión

Tabla 1. Conversión de los rendimientos agrícolas

Productos	Mq/cab	kg/cab	kg/ha
Harina de maíz	0,36	1 636 364	121 212
Maíz			
Hortalizas	4,00	181 818,18	13 468
Tomate	4,46	202 727,27	15 016,84
Tubérculos	3,12	141 818,18	10 505,05
Papa	6,44	292 727,27	21 683,5
Legumbres	0,41	18 636,36	1 380,47
Plátano	10,30	468 181,81	34 680,13
Otras viandas	3,67	166 818,18	12 356,9
Cítricos	1,37	62 272,73	4 612,79
Frutas	1,95	88 636,36	6 565,66
Azúcar	8,316	378 000	28 000
Arroz	0,32	1 454 545	1 077,44

Fuente: Anuario Estadístico de Cuba 2006.

Tabla 2. Rendimiento de productos importados

Producto	País	Rend. x país, kg	Rend. prom.
Pan y harina de trigo	Argentina	1 272,73	6 684,95
	Bolivia	1 700	
	España	1 600	
	Ecuador	690	
	Rend. mundial	7 000	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Conversión de kg carne-kg pienso

Tipo de carne	kg carne	Factor de conv. (kg carne-kg pienso)	kg pienso
Bovina	4 270 700	2	8 541 400
Porcina	8 538 500	4,25	36 288 625
Avícola	5 785 600	0,29	1 677 824

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Rendimiento de la leche

Producto	Rend. x litro	Factor de conversión	Rend. en kg
Leche	34 560	0,1	3 456

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Determinación del rendimiento por hectárea de la leche

Producto	Animal x hectárea	Litros de leche x vaca diario	Cant. de litros x hect. al día	Rend. leche al año x ha
Leche	8	12	96	34 560

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Determinación del rendimiento por hectárea de carne avícola y huevo

Producto	Superficie x ave, m <sup>2</sup>	Cantidad de ave x hect.	Rendimiento
Huevo	0,04	250 000	61 750 000
Carne pollo	0,1	100 000	400 000 kg/ha

Fuente: Elaboración propia



*Tabla 7. Determinación del rendimiento por hectárea del pienso*

<b>Componentes</b>	<b>Rend. x Hect.</b>	<b>Rend. prom.</b>
Pescado	8 750 kg	6684,95
Yuca	10 505,05	
Boniato	10 505,05	
Maíz	1 212,12 kg	
Harina de trigo	2 452,55	

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla 8. Determinación del rendimiento por hectárea de carne bovina*

<b>Producto</b>	<b>Países</b>	<b>Rend. x país</b>	<b>Rend. prom.</b>
Carne bovina	Argentina	371	522 kg/ha
	Bolivia	573	
	Venezuela	917,8	
	Uruguay	370	
	Chile	120	
	Paraguay	780	

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla 9. Determinación del rendimiento por hectáreas de carne porcina*

<b>Producto</b>	<b>Superficie x animal</b>	<b>Cantid. cerdo x hect.</b>	<b>Cantid. kg carne x ha</b>
<b>Carne de cerdo</b>	0,82 m <sup>2</sup>	12 195	975 600

*Fuente: Elaboración propia.*

Tabla 10. Factores de conversión de los combustibles. Año 2007

<b>Combustibles</b>	<b>UM</b>	<b>Para llevar a litros, multiplicar por:</b>	<b>Factores para llevar a toneladas de combustible convencional (tcc), multiplicar por:</b>
Electricidad	MWh	-	0,310
Fuel oil medio	t	1 019,82	0,9903
Diésel oil	t	1 178,55	1,0534
Gasolina regular	t	1 367,24	1,0971
Gasolina especial	t	1 360,91	1,0971
GLP	t	1 833,38	1,1631
Nafta	t	1 441,34	1,0971
Kerosina	t	1 252,51	1,0709
Petróleo crudo 1400	t	1 010,92	0,9903
Petróleo crudo 650	t	1 023,02	0,9903

Fuente: Oficina Provincial de Estadística Económica.

## Anexo 2

### *Población residente por municipios y sexos*

<b>Municipios y sexos</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>
Cienfuegos	391 503	396 691	398 569	396 103	398 053	399 241	400 028
Mujeres	193 746	196 280	197 246	194 797	195 838	196 404	196 802
Hombres	197 757	200 411	201 323	201 306	202 215	202 837	203 226
Aguada	30 752	30 983	31 040	31 416	31 624	31 749	31 809
Mujeres	14 886	14 906	14 982	15 218	15 340	15 446	15 466
Hombres	15 866	16 077	16 058	16 198	16 284	16 303	16 343
Rodas	32 876	33 194	33 297	33 424	33 457	33 497	33 462
Mujeres	15 900	16 067	16 123	16 175	16 179	16 181	16 194
Hombres	16 976	17 127	17 174	17 249	17 278	17 316	17 268
Palmira	33 012	33 316	33 318	32 947	33 111	33 194	33 286
Mujeres	16 094	16 255	16 254	15 846	15 941	15 990	16 054
Hombres	16 918	17 061	17 064	17 101	17 170	17 204	17 232
Lajas	23 421	23 632	23 707	22 662	22 623	22 580	22 524
Mujeres	11 450	11 550	11 599	10 917	10 926	10 908	10 897
Hombres	11 971	12 082	12 108	11 745	11 697	11 672	11 627
Cruces	32 737	32 987	33 000	32 040	32 126	32 152	32 134
Mujeres	16 088	16 205	16 183	15 787	15 882	15 908	15 876
Hombres	16 649	16 782	16 817	16 253	16 244	16 244	16 258

Cumanayagua	50 772	51 497	51 558	51 274	51 371	51 498	51 537
Mujeres	24 472	24 859	24 855	24 525	24 566	24 622	24 621
<b>Municipios y sexos</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>
Hombres	26 300	26 638	26 703	26 749	26 805	26 876	26 916
Cienfuegos	158 790	161 519	163 057	162 339	163 473	164 180	164 749
Mujeres	80 611	81 962	82 709	81 994	82 524	82 827	83 099
Hombres	78 179	79 557	80 348	80 345	80 949	81 353	81 650
Abreus	29 143	29 563	29 592	30 001	30 268	30 391	30 527
Mujeres	14 245	14 476	14 541	14 335	14 480	14 522	14 595
Hombres	14 898	15 087	15 051	15 666	15 788	15 869	15 932

### Anexo 3



Mapa de la provincia de Cienfuegos por municipios

## Anexo 4



Cienfuegos, 31 de diciembre de 2007  
Año 49 de la Revolución  
A: Ana G. Lavado Campo  
Dirección Nacional de Agropecuario  
De: Damay García González Ferregur  
Dpto. Estadísticas Económicas  
ACTA BALANCE DE LA TIERRA

Asunto:

- 1) Análisis de las variaciones en los indicadores del uso de la tierra, administrada por los centros informantes radicados en el territorio.

La provincia de Cienfuegos tiene una extensión territorial de 418 001,7 ha, de las cuales 417931,7 ha son de tierra firme y 70,0 ha de cayos. A la superficie agrícola le corresponden 307 525,0 ha y 265,1 ha menos, que en igual período del año anterior, debido a las adecuaciones y actualización del catastro, 140 373,2 ha son las destinadas a la superficie cultivada y 167 151,8 ha a la superficie no cultivada. La superficie no agrícola se incrementa en 625,1 ha, ascendiendo a 110 476,7 ha.

En anexo adjunto enviamos las causas que motivaron las variaciones de la tenencia y uso del suelo en los distintos indicadores emitidos por GEOCUBA, las que fueron analizadas y aprobadas por los organismos que constituyen la comisión provincial del Balance de la Tierra.

*Tabla. Variación del uso de la tierra*

Indicadores	2006	2005	Diferencia
Superficie total	418 001,7	418 001,7	-
Superficie de cayos	70,0	70,0	-
Superficie de tierra firme	417 931,7	417 931,7	-

Superficie agrícola	307 525,0	308 150,1,0	(625,1)
Superficie cultivada	140 373,2	143 029,9	(2 656,7)
De ella, con riego	2 354,3	3 122,1	(767,8)
<b>Indicadores</b>	<b>2006</b>	<b>2005</b>	<b>Diferencia</b>
Superficie cultivos permanentes	89 841,0	92 904,2	(3 063,2)
Caña de azúcar	71 908,6	73 770,5	(1 861,9)
Café	5 394,4	5 351,6	42,8
Cacao	-	-	-
Pastos y forrajes	4 099,3	4 551,6	(452,3)
Plátano	1 744,1	2 021,1	(277,0)
Cítricos	1 581,8	1 605,3	(23,5)
Frutales	3 837,0	3 807,8	29,2
Otros permanentes	354,4	326,3	28,1
Superficie con cultivos temporales	49 905,5	49 433,1	472,4
Arroz	5 217,5	4 895,6	321,9
Cultivos varios	26 658,0	26 070,0	588,0
Tabaco	678,1	686,5	(8,4)
Forrajes	-	-	-
Otros temporales	17 351,9	17 781	(429,1)
Superficie no cultivada	167 151,8	165 120,2	2 031,6

Pastos naturales	85 051,3	81 858,3	3 193,0
De ello, posible rotur.	-		-
Tierra ociosa	82 100,5	83 261,9	(1 161,4)
Superficie no agrícola	110 476,7	109 851,6	625,1
<b>Indicadores</b>	<b>2006</b>	<b>2005</b>	<b>Diferencia</b>
Superficie forestal	66 647,8	64 968,4	1679,4
Bosques naturales	48 439,0	47 682,0	757,0
De ello, mangle	1 517,7	1 521,6	(3,9)
Plantaciones	12 984,4	12 437,2	547,2
Coníferas	2 796,7	2 124,6	672,1
Latifolias	10 187,7	10 312,6	(124,9)
Deforestada	5 224,4	4 849,2	375,2
Superficie no aptas agric. y silvicultura	6 412,3	6 522,0	(109,7)
No aptas	6 253,0	6 362,7	(109,7)
Ciénaga de herbazal	159,3	159,3	-
Superficie acuosa	10 121,5	10 833,7	(712,2)
Hídrica natural	3 792,3	4 469,9	(677,6)
Embalses	5 280,6	5 324,1	(43,5)
Canales magistrales	1 048,6	1039,7	8,9
Superficie poblacional constructiva	27 295,1	27 527,5	(232,4)



Superficie de los asent. poblac.	12 118,7	12 141,1	(22,4)
Urbanos	9 379,5	9 378,6	0,9
Rural	2 739,2	2 762,5	(23,3)
Sup. de instalac. e infraest.	15 176,4	15 386,4	(210,0)
Sup. de construc. del transp.	5 233,4	5 176,8	56,5
<b>Indicadores</b>	<b>2006</b>	<b>2005</b>	<b>Diferencia</b>
Autopista	670,6	663,6	7,0
Carreteras	1 232,5	1 212,2	20,3
Vías de interés específico	2 189,6	2 174,1	15,5
F.F.C.C. públicos	531,0	537,9	(6,9)
F.F.C.C. cañeros	501,6	501,6	
F.F.C.C. industrial	76,0	55,3	20,7
Otras const. del transp.	32,1	32,1	
Sup. de construc. indust.	959,8	969,6	(9,8)
Sup. en explotac. minera	561,4	632,4	(71,0)
Sup. ocup. por los vert.	42,1	44,1	(2,0)
Sup. de const. agric. y silv.	7 737,4	7 935,1	(197,7)
Inst. de prod. pecuarias	931,3	930,2	1,1
Inst. de apoyo prod. agrop.	6 771,9	6 970,6	(198,7)
Inst. de apoyo prod. Silvc.	34,2	34,3	(0,1)

Superficie de otras instalaciones	642,3	628,4	13,9
Educación	143,8	147,1	(3,3)
Turismo	179,7	177,2	2,5
Otras instalaciones	318,8	304,1	14,7

2) Significamos lo siguiente.

- Los resultados de la tenencia de la tierra fueron debatidos por los miembros de la comisión y presentados a los órganos de la provincia.
- Se aprueba de mutuo acuerdo por los abajo firmantes.

<b>Organismos</b>	<b>Cargo</b>	<b>Nombre y apellidos</b>
ONE	Delg. Territorial	Alberto Suárez Crespo
GEOCUBA	J. Taller Catastro	Yosbani Rojas Segura
Dir. de Hidrografía y Geodesia	J. Territorial ONHG	Adolfo Reyes González
IPF	Especialista Sistema IT	Raquel Agüero González
MINAGRI	Subdirector Econ.	Bárbaro Sarduy Garay
MINAZ	Dir. de Prod. de Caña	Ramón Ruiz Vázquez
ANAP	Asesor Jurídico Prov.	Antero Hernández Ferreira

## Anexo 5

Tabla 1 Autoabastecimiento provincial.

Descripción	U. M.	Producción				
				Año	Cump.	%
		Plan	Real	Anterior	Plan	Crec.
Viandas Total	Mqq	1778,9	1408,2	1792,3	79,2	78,6
Tubérculos y Raíces	Mqq	1363,0	1086,9	1353,2	79,7	80,3
De ello: Papa	Mqq	420,0	386,6	495,5	92,0	78,0
Plátano	Mqq	415,9	321,3	439,1	77,2	73,2
Hortalizas	Mqq	2153,0	1574,3	2921,7	73,1	53,9
De ello: Tomate	Mqq	409,5	332,7	471,0	81,2	70,6
Arroz Consumo	Mqq	473,9	174,2	203,4	36,8	85,6
Maiz	Mqq	461,0	247,8	296,9	53,7	83,5
Frijoles	Mqq	153,0	77,0	118,8	50,3	64,8
Cítricos	Mqq	789,7	229,4	490,9	29,1	46,7
Frutales	Mqq	303,8	306,0	414,9	100,7	73,8
Leche de Vaca	ML	21155,6	20470,4	19615,3	96,8	104,4
Huevos	MU	93276,2	91894,1	95739,2	98,5	96,0
Carne Vacuna en Pie	T	4089,2	5779,4	5299,3	141,3	109,1
Carne de Cerdo en Pie	T	12596,0	10771,0	10453,6	85,5	103,0
Carne de Ave en Pie	T	687,5	868,6	887,4	126,3	97,9
Carne Ovino-Caprino en Pie	T	536,1	455,1	480,6	84,9	94,7
Otras Carnes en Pie	T	67,2	127,1	134,4	189,3	94,6

Pescado Fresco	T	742,4	1514,0	1745,5	203,9	86,7
Plataforma	T	245,2	722,5	591,3	294,7	122,2
Acuicultura	T	497,2	791,5	1154,2	159,2	68,6
Descripción	U. M.	Salidas del Territorio				
				Año	Cump.	%
		Plan	Real	Anterior	Plan	Crec.
Viandas Total	Mqq	466,2	75,9	162,8	16,3	46,6
Tubérculos y Raíces	Mqq	435,1	75,4	159,9	17,3	47,2
De ello: Papa	Mqq	420,0	75,1	156,8	17,9	47,9
Plátano	Mqq	31,1	0,5	2,9	1,6	17,2
Hortalizas	Mqq	43,1	9,4	10,5	21,8	89,5
De ello: Tomate	Mqq	41,5	3,1	3,3	7,5	93,9
Arroz Consumo	Mqq	10,2	4,0	0,0	0,0	0,0
Maiz	Mqq	20,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Frijoles	Mqq	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0
Cítricos	Mqq	321,2	150,7	393,9	46,9	38,3
Frutales	Mqq	22,6	14,3	44,5	63,3	32,1
Leche de Vaca	ML	12223,6	2811,9	2799,5	23,0	100,4
Huevos	MU	44277,7	6792,6	9885,1	15,3	68,7
Carne Vacuna en Pie	T	4017,2	1508,7	984,6	37,6	153,2
Carne de Cerdo en Pie	T	6344,8	2232,5	2051,6	35,2	108,8
Carne de Ave en Pie	T	0,0	-	8,3	0,0	-
Carne Ovino-Caprino en Pie	T	3,7	-	0,0	0,0	-

Otras Carnes en Pie	T	6,2	-	0,0	0,0	-
Pescado Fresco	T	46,4	109,2	160,2		68,2
Plataforma	T	0,4	109,2	160,2	Z	68,2
Acuicultura	T	46,0	-	0,0	.	0,0
<b>Descripción</b>	<b>U. M.</b>	<b>Autoabastecimiento</b>				
				<b>Año</b>	<b>Cump.</b>	<b>%</b>
		<b>Plan</b>	<b>Real</b>	<b>Anterior</b>	<b>Plan</b>	<b>Crec.</b>
Viandas Total	Mqq	1233,5	1259,3	1377,4	102,1	91,4
Tubérculos y Raíces	Mqq	854,7	950,2	959,5	111,2	99,0
De ello: Papa	Mqq	0,0	311,4	190,6	-	163,4
Plátano	Mqq	378,8	309,1	417,9	81,6	74,0
Hortalizas	Mqq	2080,1	1542,2	2873,2	74,1	53,7
De ello: Tomate	Mqq	361,8	326,2	457,7	90,2	71,3
Arroz Consumo	Mqq	454,3	151,7	188,9	33,4	80,3
Maiz	Mqq	380,9	215,8	261,9	56,6	82,4
Frijoles	Mqq	146,3	73,1	115,6	50,0	63,2
Cítricos	Mqq	468,4	78,1	84,9	16,7	92,0
Frutales	Mqq	280,0	272,2	348,6	97,2	78,1
Leche de Vaca	ML	8548,0	16513,2	15620,9	193,2	105,7
Huevos	MU	48193,3	83028,8	81193,1	172,3	102,3
Carne Vacuna en Pie	T	72,0	4270,7	4314,7	Z	99,0
Carne de Cerdo en Pie	T	6251,2	8538,5	8462,0	136,6	100,9
Carne de Ave en Pie	T	687,5	868,6	879,1	126,3	98,8
Carne Ovino-Caprino en Pie	T	532,4	455,1	480,6	85,5	94,7

Otras Carnes en Pie	T	61,0	127,1	134,4	208,5	94,6
Pescado Fresco	T	675,2	1257,0	1380,2	186,2	91,1
Plataforma	T	242,8	467,3	274,8	192,5	170,1
Acuicultura	T	432,4	789,7	1105,4	182,6	71,4

*Tabla 2 Indicadores generales*

Descripción	U.M.	Total	Normado	Mercado Agrop.		Autocons.	Ventas a Trabaj.
			Comercio	Comercio Minorista	Agrop. Minagri	Campesino y familia	
Viandas Total	Mqq	1266,3	51,4	2,4	74,9	177,3	28,7
Tubérculos y Raíces	Mqq	950,2	42,8	0,9	42,6	133,6	19,9
Papa	Mqq	311,4	42,8	-	-	0,2	-
Plátano	Mqq	316,1	8,6	1,5	32,3	43,7	8,8
Hortalizas	Mqq	1543,2	-	2,2	122,8	95,0	15,3
Tomate	Mqq	326,2	-	2,6	23,7	24,0	5,4
Arroz Consumo	Mqq	621,7	305,9	0,2	4,7	14,2	9,8
Maíz Grano Seco	Mqq	215,8	-	0,2	8,0	49,6	15,4
Frijoles	Mqq	222,8	80,1	0,2	1,7	16,0	1,8
Cítricos	Mqq	78,1	-	0,2	24,6	2,6	0,2
Frutales	Mqq	274,2	-	0,6	17,7	37,3	3,4
Leche de Vaca	ML	16513,2	4958,0	-	-	2389,0	1831,2
Helados	ML	3153,9	-	-	-		-

Descripción	U.M.	Total	Normado	Mercado Agrop.		Autocons.	Ventas a Trabaj.
			Comercio	Comercio Minorista	Agrop. Minagri	Campesino y familia	
Quesos	ML	325,4	-	-	-	-	-
Huevos	MU	83028,8	37953,4	2,4	-	1225,7	339,7
Cárnicos	T	15815,1	1564,3	37,1	301,6	257,8	448,6
Carne Vacuna en Pie	T	4270,7	442,5	-	-	-	-
Carne de Cerdo en Pie	T	8538,5	458,7	35,9	268,0	125,4	308,1
Carne de Ave en Pie	T	2423,7	653,7	-	-	30,3	78,6
Carne Ovino-Caprino en Pie	T	455,1	0,0	1,2	0,0	101,2	59,5
Otras Carnes en Pie	T	127,1	9,4		33,6	0,9	2,4
Pescado Fresco	T	1893,9	531,7	-	-	-	18,8
Plataforma	T	1184,2	435,2	-	-	-	14,0
Acuicultura	T	709,7	96,5	-	-	-	4,8
Harina de trigo	T	26724,2	11879,6	-	-	-	-
Azucar	T	17448,2	11623,7	-	-	-	-
Aceite	T	2403,3	1207,7	-	-	-	-
Leche evaporada	ML	1202,0	977,4	-	-	-	-
Leche en polvo	T	698,2	446,8	-	-	-	-

Descripción	U.M.	Total	Normado	Mercado Agrop.		Autocons.	Ventas a Trabaj.
			Comercio	Comercio Minorista	Agrop. Minagri	Campesino y familia	
Sal	T	2312,7	1624,1	-	-	-	-
Soya text.	T	723,0	497,4	-	-	-	-
Soya p/ lacteos	T	1951,4	1689,3	-	-	-	-



Descripción	U.M.	Total	Gastronomía	Industria alimenticia	Consumo social	Patios y parcelas	Otros
Viandas Total	Mqq	1266,3	9,2	-	44,8	138,9	738,7
Tubérculos y Raíces	Mqq	950,2	7,1	-	33,9	93,8	575,6
Papa	Mqq	311,4	2,0	-	6,1	-	260,3
Plátano	Mqq	316,1	2,1	-	10,9	45,1	163,1
Hortalizas	Mqq	1543,2	4,9	11,5	27,7	219,8	1044,0
Tomate	Mqq	326,2	1,4	8,1	3,4	61,6	196,0
Arroz Consumo	Mqq	621,7	25,6		30,1	85,1	146,1
Maíz Grano Seco	Mqq	215,8	3,1	-	10,3	48,6	80,6
Frijoles	Mqq	222,8	13,3	-	16,6	35,2	57,9
Cítricos	Mqq	78,1	1,0	0,9	11,5	19,7	17,4
Frutales	Mqq	274,2	3,7	7,7	5,8	67,8	130,2
Leche de Vaca	ML	16513,2	106,5	-	158,9	1114,2	5955,4
Helados	ML	3153,9	2601,1	-	448,0	-	104,8
Quesos	ML	325,4	192,9	-	60,6	-	71,9
Huevos	MU	83028,8	8984,0	6321,2	4775,3	16423,2	7003,9
Cárnicos	T	15815,1	737,5	0,0	396,2	2456,0	9616,0
Carne Vacuna en Pie	T	4270,7	11,3		101,8	-	3715,1
Carne de Cerdo en Pie	T	8538,5	358,9	-	153,2	1881,4	4948,9

Descripción	U.M.	Total	Gastronomía	Industria alimenticia	Consumo social	Patios y parcelas	Otros
Carne de Ave en Pie	T	2423,7	358,5	-	125,2	294,7	882,7
Carne Ovino-Caprino en Pie	T	455,1	2,6	-	9,1	212,2	69,3
Otras Carnes en Pie	T	127,1	6,2	-	6,9	67,7	0,0
Pescado Fresco	T	1893,9	266,7		433,6	244,7	398,4
Plataforma	T	1184,2	156,3	-	311,5	-	267,2
Acuicultura	T	709,7	110,4	-	122,1	244,7	131,2
Harina de trigo	T	26724,2	4363,6	6210,6	3157,2	-	1113,2
Azucar	T	17448,2	592,6	2669,5	682,7	-	1879,7
Aceite	T	2403,3	139,8	257,7	544,6	-	253,5
Leche evaporada	ML	1202,0	-	-	88,7	-	135,9
Leche en polvo	T	698,2	0,2	-	251,0	-	0,2
Sal	T	2312,7	39,9	234,5	98,2	-	316,0
Soya text.	T	723,0	61,2	-	53,0	-	111,4
Soya p/ lacteos	T	1951,4	113,3	-	27,2	-	121,6

## **Determinación del factor de carga en las calderas pirotubulares en la ciudad de Cienfuegos**

### **Determination of the load factor in pirotubular boilers in the city of Cienfuegos**

*M.Sc. David Armando Vidal Moya\**  
*y Dra. Margarita J. Lapido Rodríguez\*\**

*\* Máster en Eficiencia Energética,  
Empresa de Calderas Alastor, Cienfuegos, Cuba  
\*\* Doctora en Ciencia y Profesora Titular  
de la Universidad de Cienfuegos, Cuba  
e-mail: alastorcfg@enet.cu y mlapido@ucf.edu.cu*

#### **Resumen**

En el presente trabajo se muestran los problemas que, desde los puntos de vista energético, mecánico, económico y medio ambiental, se encuentran en instalaciones en las cuales existen generadores de vapor pirotubulares subutilizados o explotados en condiciones de cargas inferiores a las nominales, en cuanto a su eficiencia, así como la eficiencia de la instalación energética de la cual forman parte en general. Se hace un estudio con los datos obtenidos, del trabajo de las calderas de diferentes capacidades de producción de vapor en sus condiciones reales de operación, instaladas en la ciudad de Cienfuegos, para determinar el factor de carga de cada una de ellas, y el promedio del factor de carga en la ciudad. Se analizan las principales pérdidas energéticas que ocurren y su aumento al verse afectadas por el factor de carga cuando trabajan en condiciones reducidas de capacidad.

**Palabras clave:** Calderas pirotubulares, factor de carga, sobredimensionamiento

#### **Abstract**

This paper shows the problems found, from the energy, mechanical, economic and environmental points of view, in facilities where we find pirotubular steam generators under-used or exploited under load conditions lower than the nominal ones, with regard to its efficiency, as well as the efficiency of the energy facility in general. A study was made with the data obtained, from the operation of the boilers with different steam production figures under actual operating conditions installed in the city of Cienfuegos, to determine the load factor of each of them, and the average load factor in the city. We analyze the main energy losses that occur and their increase

when affected by the load factor when working in reduced capacity conditions.

**Keywords:** Piro-tubular boilers, load factor, oversizing

## **Introducción**

El ahorro de los recursos energéticos es un concepto muy importante en cualquier industria o unidad de servicios. El grado de eficiencia del trabajo de las instalaciones constituye una parte fundamental en el ahorro o despilfarro de los mismos, especialmente del combustible. Esto es aplicable a las unidades generadoras de vapor, como sucede con la caldera piro-tubular, donde la eficiencia del sistema termoenergético depende en gran medida de las pérdidas energéticas asociadas a ellas, entre las que se encuentran las que ocurren por radiación al medio exterior, y las que ocurren con los gases de la combustión.

Los sistemas energéticos de las instalaciones que funcionan a base de vapor producido en calderas piro-tubulares en la ciudad de Cienfuegos, han sufrido con el paso del tiempo, un considerable deterioro, que ha llevado a que muchos de los consumidores instalados originalmente se encuentren fuera de servicio. Debido a esta causa, hoy las calderas o generadores de vapor se encuentran sobredimensionadas para el nivel de consumo real. Esto conlleva a que tengan un bajo factor de carga, afectando considerablemente la eficiencia energética general de la instalación y, por consiguiente, la economía de las entidades, por cuanto esta situación se refleja en el costo final de la producción del vapor.

## **Generalidades de la generación de vapor en calderas piro-tubulares en Cienfuegos**

En la ciudad de Cienfuegos existen en funcionamiento, controladas por la Empresa de Calderas ALASTOR, 18 salas de calderas con equipos de diferentes capacidades de producción de vapor instalados en el momento de su puesta en funcionamiento.

El potencial total de producción nominal de vapor es de 19 870 kg/h, y el promedio es de 1 528,46 kg/h.

Las producciones de vapor oscilan en el rango desde 440 kg/h, las más pequeñas, hasta 4 000 t/h las de mayor capacidad; esto representa las capacidades más comúnmente presentes en la generalidad de las pequeñas y medianas industrias, y en las entidades de prestación de servicios.

De las 18 salas de calderas, fueron estudiadas 13: de ellas, 12 tienen dentro de su objeto social la cocción de alimentos o la preparación de los

mismos, representando 92,31%; 4 tienen incorporada una lavandería, lo que representa 30,8%; y 4 ofertan otro tipo de servicio como la esterilización o la obtención de agua caliente sanitaria (ACS), representando igualmente 30,8%.

#### Caracterización del sobredimensionamiento

Se entiende por sobredimensionamiento la cantidad de vapor que es capaz de producir la caldera y que sobrepasa la cantidad real necesaria demandada por el consumidor (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización del sobredimensionamiento

Centro	Producción de vapor nominal, kg/h	Consumo nominal instalado, kg/h	Consumo real, kg/h	Aprovechamiento de la capacidad de generación instalada, %	Sobredimensionamiento, %
(1)	(2)	(3)	(4)	$(5 = (4/2)*100)$	$(6 = 100 - 5)$
1	510	561	448	87,8	12,2
Centro	Producción de vapor nominal, kg/h	Consumo nominal instalado, kg/h	Consumo real, kg/h	Aprovechamiento de la capacidad de generación instalada, %	Sobredimensionamiento, %
2	4 000	3 591	2 872,8	71,8	28,2
3	2 500	712	596	23,8	76,2
4	660	349	279,2	42,3	57,7
5	440	516	428,8	97,4	2,5
6	1 000	600	480	48,0	52,0
7	440	245	196	44,5	55,4
8	1 120	523	418,4	37,3	62,6
9	660	245	196	29,7	70,3
10	2 500	1 020	816	32,6	67,4
11	440	137	109,6	24,9	75,1

12	4 000	4 071	3 256,8	81,4	18,6
13	1 600	80	80	5,0	95,0
<b>Valores promedio</b>	<b>1 528,5</b>	<b>973,1</b>	<b>782,9</b>	<b>48,2</b>	<b>51,8</b>

Del análisis de la tabla anterior se observa que de una producción de vapor de 19 870 kg/h, sólo se demanda, potencialmente, un promedio de 973,1 kg/h, de los cuales realmente se consumen como promedio 782,9 kg/h, por lo que se aprovecha sólo 48,22% de la capacidad de generación instalada. Se puede concluir que la capacidad de producción de vapor en la ciudad se encuentra sobredimensionada en 51,8%, o sea, más de la mitad se encuentra subutilizada.

Clasifican dentro de ese mayor sobredimensionamiento, 9 centros, que constituyen 69,2%, y de estos, tres pueden ser considerados como críticos por estar por encima de 75%.

### **Factor de carga**

El generador de vapor que se instale en cualquier industria debe ser seleccionado de forma tal que en todo momento satisfaga los requerimientos de vapor, ya sea cuando el proceso está demandando

cargas mínima, máxima o normal, siempre teniendo en cuenta que esto debe suceder con la mayor eficiencia posible en el trabajo del equipo.

Como el régimen de trabajo es variable en la gran mayoría de los procesos, entonces se define un coeficiente o factor de carga, el cual permite conocer en qué medida el generador de vapor está siendo explotado con respecto a su capacidad, o lo que es igual, en cuanto se encuentra subutilizado. La información necesaria para el análisis de este factor de carga puede ser tomada a partir de los datos de chapa de la caldera y de los equipos consumidores, los que se suman algebraicamente en el caso de que dichos consumidores trabajen a tiempo completo, consumiendo esta cantidad de vapor. Pero en la mayoría de los casos, los procesos no funcionan de esta manera, sino que el consumo es intermitente o discontinuo, lo cual quiere decir que cada consumidor trabaja sólo una parte del tiempo consumiendo vapor, como sucede, por ejemplo, en las cocinas, lavanderías y procesos de esterilización.

Otra forma de conocer o determinar el factor de carga, consiste en tomar durante una jornada de trabajo de la caldera, total o parcial, la cantidad de

arranques y paradas del quemador, y los tiempos correspondientes a los mismos. Sumando estos tiempos se puede conocer cuánto del tiempo total estuvo realmente trabajando el generador de vapor, y con ello se puede determinar el factor de carga, el cual se formula de la manera siguiente:

$$\Phi = ttq / ttgv$$

Donde:

*ttq*: Tiempo de trabajo del quemador (h)

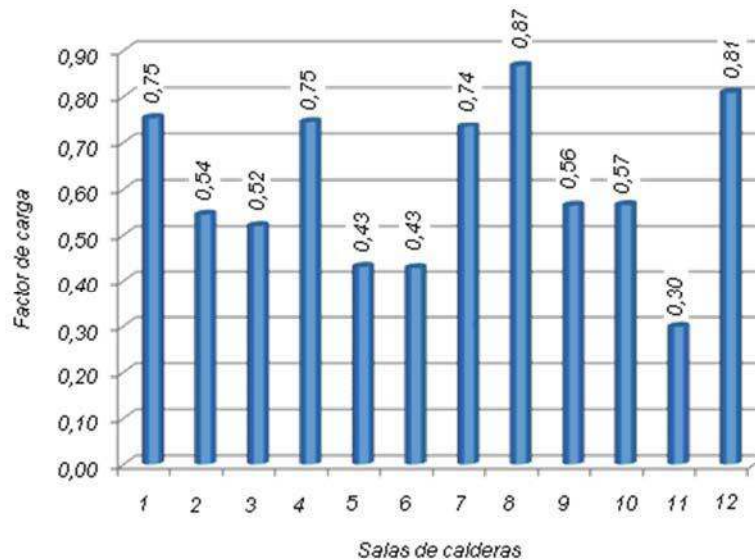
*ttgv*: Tiempo de trabajo del generador de vapor (h).

Del análisis de la fórmula anterior se concluye que para que el generador de vapor cumpla con los requisitos de selección y eficiencia antes mencionados, la variable debe ser 1. La obtención de valores inferiores a la unidad señala que el generador se encuentra sobredimensionado, y no tiene incorporado un mecanismo o dispositivo regulador que permita ir variando la producción de vapor, según los requerimientos instantáneos del proceso.

### **Cálculo del factor de carga en las calderas pirotubulares de la ciudad de Cienfuegos Método para el cálculo del factor de carga**

Para la determinación del factor de carga de las calderas se emplea el Método de Línea de Balance, que permite, sin una instrumentación sofisticada, hacer el ajuste de la capacidad instalada de las calderas pirotubulares, mediante la realización de un balance de carga-capacidad de producción de vapor, con el objetivo de mantener constante el funcionamiento de estas.

Este método consiste en calcular la relación matemática entre el calor absorbido, el calor disponible y los tiempos de arranques y paradas de la caldera.



*Fig. 1. Gráfico del factor de carga en las calderas de la ciudad de Cienfuegos.*

En la figura 1 se observa que sólo cuatro de doce centros tienen un factor de carga igual o superior a 0,75, lo que representa 33,3% del universo estudiado, y cuando hacemos un análisis de los mismos se evidencia que, en realidad, ello no define fielmente la situación existente.

La existencia de altos factores de carga no implica de por sí la utilización eficiente y eficaz de la producción de vapor, pues en muchos casos esconde condiciones adversas, presentes en la instalación que lo produce, así como en las redes de distribución y los consumidores, representados en los escapes de vapor vivo a través de orificios en las líneas, prenses de las válvulas, elementos de unión de las redes, trampas con mal funcionamiento, y las pérdidas energéticas en líneas y cuerpos sin aislamiento térmico, entre otros, y que se comportan como consumidores cuando en realidad son pérdidas.

Se estudió como promedio el funcionamiento de las calderas durante 4:38:02 horas, las cuales como promedio trabajaron durante 2:47:04 horas, para indicarnos un factor de carga de 0,61, también promedio en dichas instalaciones.

En este índice no está reflejada otra deficiencia que emana de la mala planificación del consumo; la gran mayoría de estos procesos intermitentes se caracterizan por una insuficiente planificación que permita simultanear todos los procesos en el menor tiempo posible para un aprovechamiento pleno y eficaz de la producción de vapor de la caldera, sino que es común el distanciamiento en el tiempo del trabajo de los consumidores, alargando



el tiempo total de trabajo y, con ello, la cantidad de arranques y paradas del quemador.

Otra oportunidad de ahorro, que se desaprovecha, consiste en algo tan simple como un cambio de boquillas por otras de menor flujo de combustible.

El trabajo con bajo factor de carga lleva implícito una serie de inconvenientes, algunos de los cuales se enumeran a continuación:

Continuos arranques y paradas del quemador, con afectaciones en sus partes mecánicas.

- Mayor trabajo de los mecanismos y dispositivos de seguridad y control de la caldera.
- Enfriamiento relativo del horno y los conductos de gases en los momentos de arranque, debido al barrido con aire a temperatura atmosférica del ventilador de tiro forzado.
- Gasto de combustible no quemado por la ineficiencia de la combustión en los momentos de arranque, en los cuales no se ha logrado homogeneidad en la mezcla aire-combustible.

Todos estos inconvenientes se revierten en deterioro de la caldera y sus mecanismos, en afectaciones en la eficiencia y, por consiguiente, en la economía de la entidad en cuestión.

## **Conclusiones**

1. El deterioro de los sistemas energéticos ha provocado la salida del servicio de gran cantidad de consumidores, y ha llevado a que en la actualidad exista un sobredimensionamiento de la capacidad de generación de vapor saturado, en la ciudad de Cienfuegos, de 51,8%.
2. El aprovechamiento real de la capacidad de generación instalada representa sólo 48,2%, o sea, menos de la mitad.
3. El factor de carga en el que trabajan las calderas pirotubulares es muy bajo en la mayoría de ellas, siendo su valor promedio de 0,61, lo que indica que se consume sólo algo más de la mitad de la necesidad del consumo real instalado.
4. Ambos índices o valores se complementan, y demuestran que se están subutilizando en gran medida las potencialidades energéticas de las calderas pirotubulares existentes en la ciudad.

## Bibliografía

- BALWANT, YUGESFTWAR ANDY. «Establecer expresiones de pérdidas por calor sensible y rendimiento térmico en calderas pirotubulares aplicando métodos experimentales y técnicas de I. A.». Trabajo de Diploma, Universidad de Cienfuegos, 2009.
- BORROTO NORDELO, ANÍBAL Y ÁNGEL RUBIO GONZÁLEZ. *Combustión y generación de vapor*. Cienfuegos: Editorial Universo Sur, Universidad de Cienfuegos, 2007.
- GONZÁLEZ ALONSO, ADRIÁN. «Caracterización del sobredimensionamiento de las calderas en el sector da la salud en Cienfuegos». Trabajo de Diploma, Universidad de Cienfuegos, 2007-2008.
- GOPAL, RAM KUMAR. «Influencia de las pérdidas por radiación en las calderas pirotubulares». Trabajo de Diploma, Universidad de Cienfuegos, 2009.
- LAPIDO, MARGARITA. «Incremento de la eficiencia térmica en calderas pirotubulares por disminución de las pérdidas por calor sensible». Tesis presentada en opción del grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad de Cienfuegos, 1998.
- RUBIO GONZÁLEZ, ÁNGEL M. *Generadores de vapor: funcionamiento y explotación*. Santa Clara, Cuba, 2000.
- VIDAL, DAVID. Determinación del factor de carga en las calderas pirotubulares en la ciudad de Cienfuegos. Tesis presentada en opción del grado científico Máster en Eficiencia Energética de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad de Cienfuegos, 2010.

## **¿Qué comían nuestros aborígenes? Una mirada a través de la Arqueología Ambiental en el oriente de Cuba**

### **What did our aborigines eat? A look through the Environmental Archeology in eastern Cuba**

*Por M.Sc. Lourdes Pérez Iglesias  
\* \* Departamento de Arqueología,  
Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales  
y Tecnológicos (CISAT), Holguín, Cuba.  
e-mail: lourdes@cisat.cu*

#### **Resumen**

La Arqueología Ambiental es una disciplina de apoyo a las investigaciones arqueológicas que ofrece, desde una perspectiva arqueológica, datos que permiten una mayor comprensión de la interrelación del hombre primitivo con su ambiente, entre ellos, la alimentación. El presente trabajo muestra los estudios que sobre esta temática, se han realizado en el oriente de Cuba, los que tratan subdisciplinas tales como arqueozoología, arqueobotánica y estudios químicos, entre otras, que aportan datos, que mayormente amplían los conocimientos sobre la alimentación de los grupos primitivos.

#### **Abstract**

Environmental Archeology is supporting discipline for archaeological research that offers, from an archaeological perspective, data that allow a better understanding of the interrelation of primitive human beings with their environment, including food. The present paper shows the studies have been carried out in the Eastern part of Cuba, dealing with subdisciplines such as archaeozoology, archaeobotanics and chemical studies, among others, that contribute with data that ample the knowledge on the feeding of the aboriginal groups of our country.

#### **Introducción**

Cuando leemos a los cronistas de América, específicamente los de las Indias Occidentales, encontramos información sobre los paisajes de esta región, así como descripciones de las costumbres, ritos, alimentación entre otros aspectos, de los aborígenes, primeros habitantes de estas tierras. Estos aspectos también son tratados por la Arqueología Ambiental, con la diferencia de basarse en estudios científicos que aportan datos certeros sobre esos temas.

La Arqueología Ambiental es la disciplina encargada del estudio de la relación a largo plazo entre los seres humanos y sus ambientes, y constituye una ciencia relativamente joven. Se auxilia del concurso de otras disciplinas como la Arqueobotánica, la Arqueozoología, la Geofísica, la Biología humana, la Química, la Climatología, la Geomorfología y la Ecología humana, entre otros.

En Cuba su reconocimiento es muy joven; sin embargo, se realizan sistemáticamente estudios de sus disciplinas de apoyo de forma aislada. Dentro de ellas podemos mencionar los estudios climáticos, químicos, arqueobotánicos y arqueozoológicos.

El Departamento de Arqueología de Holguín, ubicado en el oriente de Cuba, posee entre sus líneas de investigación, una de las subdisciplinas de la Arqueología Ambiental, la Arqueozoología, y se nutre de otras para una mejor comprensión de las relaciones del hombre primitivo con el entorno. Su accionar se enmarca fundamentalmente en la región oriental del país.

En específico, la Arqueozoología y la Arqueobotánica se encargan del estudio de las relaciones del hombre con el mundo animal, o vegetal, del pasado. La información emanada de estas subdisciplinas, posibilita un acercamiento al uso que hicieron de esos recursos las comunidades primitivas.

A continuación se ofrece una panorámica del desarrollo de la Arqueología Ambiental en la región oriental de Cuba, con énfasis en los recursos usados como alimento y en las técnicas de su producción, a través de la agricultura.

### **Estudios químicos**

Uno de los estudiosos más destacados de esta rama de la arqueología ambiental en el oriente de Cuba, es el investigador Roberto Rodríguez Suárez, de la Facultad de Biología de la Universidad de La Habana.

En 1989, Rodríguez Suárez y colaboradores realizaron estudios pedológicos en el sitio Pueblo Viejo, de Guantánamo, en el área arqueológica de un cercado térreo. La metodología utilizada fue el análisis químico, específicamente a través de análisis de fosfatos, prueba de carbonato y determinación del pH. El uso del análisis de fosfatos resultó positivo en áreas de color diferenciado, que se corresponden con la hipótesis del uso de la técnica agrícola de montones con la acumulación antropogénica de materia orgánica, con el consiguiente aumento de la fertilidad, textura y aireación del suelo, y mantenimiento de la humedad.

Un estudio similar, pero a partir de fragmentos de cerámica aborigen, fue realizado por Rodríguez Suárez en Laguna de Limones, Guantánamo [Rodríguez, 2004]. En este caso usó como técnica el análisis de carbonatos, fosfatos, proteínas, carbohidratos y ácidos grasos para identificar presencia de agua, desechos orgánicos, carnes, tubérculos y otros materiales ricos en azúcares y grasas. Se considera que los análisis realizados fueron efectivos y los resultados obtenidos apuntan a la presencia en las vasijas de residuos de proteínas, grasas y carbohidratos, en este orden, y a la no utilización continuada de esos recipientes como continentes permanentes de agua.

Otro trabajo fue el realizado por Rodríguez Suárez y Jaime Pagán en 2006 a un burén del sitio Macambo II, provincia de Guantánamo, utilizando la técnica de análisis de almidones. Empleando una costra blanquecina que se ubicaba sobre la superficie de uso del burén, y valiéndose de la flotabilidad diferencial de las partículas, se extrajeron e identificaron ocho gránulos de almidón bien conservados, que correspondieron a dos de *Xantosoma* spp. (malanga o yautía), dos de *Ipomoea batatas* (boniato), dos de *Zea mays* (maíz) y dos de leguminosas (frijoles). De esta forma, además de lograr identificar el uso de estas especies botánicas, que ya habían sido narradas por los cronistas; también se comprobó la utilización del burén no sólo relacionado con el procesamiento de la yuca o mandioca (*Manihot sculenta*), sino también para procesar otras especies.

Otras técnicas de análisis químico fueron empleadas por Irina Journaleva y Noemí González en el sitio Esterito, Banes, Holguín. Las autoras realizaron un estudio de la cerámica de éste sitio y utilizando el método de cromatografía de gases para la identificación de ácidos grasos, ofrecen la información que complementa el trabajo. Mediante el mismo se logró identificar concentraciones de los ácidos cáprico, laúrico y mirístico, indicadores de la presencia de grasas de palmáceas. Otros ácidos presentes fueron los de cadena larga de 20 a 22 átomos de carbono, característicos de las grasas de peces y en la del maní. Las autoras presentan un análisis del comportamiento de estos compuestos por estratos, que permite realizar interpretaciones en cuanto a la evolución del sitio en su relación con los recursos alimenticios, tanto de procedencia animal como vegetal [Journaleva y González, 2000].

El análisis de isótopos de Sr, Ca, Na, Mg en una muestra de huesos humanos en Chorro de Maíta, Banes, Holguín, realizada por Clara Taylor en 1990, bajo la tutoría de Roberto Rodríguez Suárez, ha permitido corroborar por métodos químicos la relación de este grupo humano con su ambiente, y específicamente con el componente dietario. En este caso los resultados apuntaron a que este grupo humano tuvo una dieta variada, que fluctuaba entre recursos provenientes del mar (pescado y moluscos) y productos agrícolas, dados por las bajas concentraciones del Sr y las

relativamente altas de Zn, Na, Cu. Otros resultados fueron que, según las concentraciones de Na y Zn, debió existir una especialización en las labores, donde los hombres debieron centrar sus actividades en la caza, pesca y recolección, con mayor probabilidad de acceso a estos alimentos.

Uno de los últimos aportes a la arqueología ambiental, relacionado con la aplicación de análisis químico, ha sido la contribución realizada por la Dra. Eleonora Reber, de la Universidad de Georgia, a partir de 6 vasijas de cerámica procedentes del Chorro de Maíta, para la obtención de residuos de ácidos grasos [Reber, 2010]. Este estudio, considerado como piloto, permitió reconocer la presencia de lípidos pertenecientes a plantas y carne animal. También se reconoció la presencia de resina de alguna conífera, cuestión que se investiga por no existir actualmente ambiente para ese tipo de planta en el lugar, y no poseer patrones de paleoambientes de la zona en el tiempo, o el planteamiento de nuevas interpretaciones en el comportamiento de esa comunidad en cuanto a su movilidad para la obtención de tales recursos.

### **Estudios botánicos**

Este último ejemplo, junto a los dos que se muestran a continuación, relacionados con la temática arqueobotánica, se producen a partir de la colaboración existente entre la Universidad de Alabama, en especial su Facultad de Artes y Ciencias, y el Departamento de Arqueología de Holguín, a través del Proyecto «Contacto indohispánico en el Chorro de Maíta», que ha permitido, además, extender su influencia a otras universidades, como las universidades de Carolina del Sur, de Georgia y de Pennsylvania, de los Estados Unidos.

Uno de los restos más comunes en un sitio arqueológico es el carbón vegetal, material obtenido a partir de la combustión de la madera. En estas piezas de carbón arqueológico es factible identificar su procedencia, es decir, de las plantas de las cuales fueron extraídas. Este tipo de trabajo ha sido realizado por la Dra. Lee Newson, la que utilizando un microscopio óptico ha logrado identificar 17 taxones de plantas maderables procedentes del sitio arqueológico Chorro de Maíta.

Otros trabajos arqueobotánicos son los realizados por el Dr. David Goldstein, Lee Newson y Lisette Muñoz, consistente en la identificación de semillas extraídas de los estratos arqueológicos del Chorro de Maíta. Mediante la técnica de cernido con diferentes diámetros de malla, se obtienen fracciones correspondientes con el tamaño de los elementos (semillas y otras estructuras). Usando esta técnica se han logrado identificar un grupo de semillas arqueológicas, correspondientes, posiblemente, a herbazales existentes en el Chorro de Maíta. Estos

estudios están en plena realización, de manera que en un futuro cercano habrá resultados más acabados.

Por la parte cubana, esta subdisciplina de la Arqueología Ambiental, ha sido trabajada por Juan Hernández Cano y Ramón Navarrete [Hernández y Navarrete, 1999]. Sus resultados se materializan a través de la identificación de semillas carbonizadas en el residuario La Batea, de Santiago de Cuba. La semilla en cuestión se corresponde con *Sideroxylon foetidissimum* Jacq., de la familia Sapotáceas, y su presencia sugiere el posible uso de esta planta como árbol maderable, comestible (sus frutos) y medicinal.



*Fig. 1. Especialistas realizando análisis arqueobotánico en el Departamento de Arqueología de Holguín, 2010.*

### **Estudios arqueozoológicos**

En la región oriental de Cuba, los primeros trabajos relacionados con la Arqueozoología se remontan a los años 40 del siglo xx, y realizados por Eduardo García Fera, José A. García Castañeda y Orencio Miguel Alonso, entre otros, quienes poseían colecciones de objetos extraídos de muchos residuarios arqueológicos de la localidad. Por esa misma época se publica el libro *Archaeology of Maniabón Hills*, de Irvin Rouse, en la que el investigador norteamericano informa sobre un levantamiento de los sitios arqueológicos de esta región, y describe en muchos de ellos la presencia de evidencias arqueozoológicas [Rouse, 1942].

Con posterioridad a 1959 surge en Holguín el Grupo de Aficionados «Jóvenes Arqueólogos», luego derivado en el «Grupo García Fera», cuyos trabajos arqueológicos contemplaban, entre otros materiales, testimonios arqueozoológicos. Muchos de estos materiales pasaron a engrosar las colecciones del Museo Guamá, primer museo público de la ciudad de

Holguín dedicado a la arqueología y la historia [Guarch, 2006]. También, algunos de estos materiales pasaron a las colecciones del Museo de Historia Natural Carlos de la Torre y Huerta, de la ciudad de Holguín.

Hasta este momento, los datos arqueozoológicos aportados por los distintos autores, no pasan de ser listas de entidades zoológicas, vistas desde una perspectiva descriptiva, y alguna vez tratadas a nivel de clases zoológicas en general, por lo que es frecuente encontrar términos como: conchas de moluscos, huesos de jutías, pinzas de cangrejo, huesos de majá, etcétera.

La creación del Departamento de Antropología, adscrito a la Academia de Ciencias de Cuba, es el punto de partida para la sistematización de metodologías en las diferentes disciplinas que asisten a la Arqueología, entre ellas la Arqueozoolología. De esa época son los trabajos sobre sitios de la región nororiental de la isla, como los estudios del sitio Arroyo del Palo y Mejías Mayarí, en 1966, por Tabío y Guarch, y en 1970 por Milton Pino. El estudio de este sitio representa un aporte a la arqueología cubana, al llegar a describirse por primera vez las características de una cultura que posteriormente se llamaría protoagrícola, o apropiador ceramista.

También son de la autoría de Pino, los primeros estudios arqueozoológicos del sitio Cueva Los Cañones, donde se ubica uno de los contextos arqueológicos más antiguos del país, relacionado con grupos cazadores, al que se le atribuye una antigüedad de alrededor de 7 000 años.

En Holguín, la institucionalización de las investigaciones arqueológicas se materializaron con la creación del Grupo de Trabajo de Arqueología, en 1977, adscrito a la Academia de Ciencias de Cuba, devenido más tarde Departamento Centro Oriental de Arqueología, hoy Departamento de Arqueología, perteneciente al Centro de Investigaciones y Servicios ambientales y Tecnológicos (CISAT), del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).

En los primeros momentos, las investigaciones arqueozoológicas estuvieron a cargo de José Manuel Guarch Delmonte, tiempos en que se trabajaron sitios como La Güira de Barajagua, Loma de Ochile, Mejías [Guarch, 1984].

En esa misma década se incorpora a este grupo de trabajo un nuevo especialista, César Rodríguez Arce, para el desempeño de esta disciplina. Este investigador en la década de los 80, se ocupa del estudio de un grupo de sitios arqueológicos entre ellos: Loma de Baní, Cerro del Júcaro, Esterito, Punta de Pulpo, El Boniato, El Porvenir, Chorro de Maíta [Rodríguez Arce, 1982, 1983, 1986, 1988 a, b, c, d y e].



Otra investigadora, Nilecta Castellanos, y nuevamente Milton Pino, desde el Departamento de Arqueología del Centro de Antropología de La Habana, por esta misma época continuaron dejando sus huellas en los estudios arqueozoológicos de la región nororiental de la isla, específicamente los relacionados con trabajos publicados de los sitios: La Juba, Pedrera, Cueva La Masanga, Aguas Gordas, El Catuco y Loma de los Mates [Castellanos y Pino, 1985 y 1988].

A finales de la década de los ochentas, la autora del presente artículo se incorpora al Departamento de Arqueología para realizar este tipo de estudio y desde ese momento y hasta el presente acomete trabajos arqueozoológicos en Duaba-Toa, Pueblo Viejo, Alcalá, Cayo Bariay, Cacoyugüín, La Herradura, Vuelta Larga, Los Carbones, Corintia, Loma de Jagüeyes, Potrero del Mango, San Antonio y otros sitios fuera de los límites de la región analizada, así como nuevas investigaciones en el Chorro de Maíta. [Pérez, 1990, 1996, 1999, 2000, 2001, 2005 y 2009; Pérez y Guarch, 2000 y 2002; Valcárcel y Pérez, 2001].

Dentro de ellos se destacan los trabajos de Cayo Bariay y Chorro de Maíta por ser sitios de trascendencia histórica. Cayo Bariay posee una especial significación, por estar ubicado en el escenario del primer arribo de los europeos a Cuba. En este caso, se realizaron amplios estudios arqueozoológicos, los cuales formaron parte de publicaciones, así como del diorama expositivo que se muestra en el museo que existe en este sitio.

Un trabajo integrador que sobresale dentro de este campo, es el realizado en los sitios protoagrícolas o apropiadores ceramistas, por L. Pérez y J. M. Reyes, según Ulloa y Valcárcel [2002], en el centro de la región oriental de Cuba. En ellos, el aspecto ambiental cobra un gran significado y ha permitido la caracterización de este tipo de comunidad, que se identifica por una cerámica temprana, y en su mayoría por el uso de espacios con ecosistemas boscosos y la explotación de sus recursos.

Por otra parte, el Chorro de Maíta constituye otro contexto arqueológico de gran relevancia en el territorio analizado, donde se ubica uno de los cementerios más grandes del área de las Antillas. En este residuario arqueológico, trabajado por primera vez con técnicas adecuadas en 1988, se vienen realizando nuevos trabajos de investigación desde 2001, para ampliar la visión que se tenía sobre este peculiar sitio. Recientemente, a través del Proyecto «Contacto indohispánico en el Chorro de Maíta», se estudian las características de la relación indohispánica, determinándose la existencia de una población aborigen que sobrevivió a los momentos iniciales de la colonización, la existencia de un grupo élite indígena que jugó un papel importante en su relación con los europeos, y la interacción de diversos componentes sociales e identitarios [Valcárcel, *et al.*, 2009].



*Fig. 2. Extracción de evidencias faunísticas en el Chorro de Maita. Campaña 2008.*

En el Sur del oriente cubano se destacan otros trabajos relacionados con la Arqueozoología. Uno de sus primeros exponentes fue Felipe Martínez Arango, investigador que en sus trabajos siempre se encuentra presente el estudio sobre la flora y la fauna, como recurso utilizado por los aborígenes [Martínez, 1997]. Milton Pino y Nilecta Castellanos también incursionaron en la Arqueozoología del sur de oriente, lo cual podemos encontrar en sus trabajos del sitio La Escondida de Bucuey, San Luis [Castellanos, *et al.*, 2001].

Otros autores en el sur de oriente son Ramón Navarrete y Juan Manuel Reyes. El primero, autor de numerosos trabajos arqueozoológicos, dentro de los que se destaca el del sitio Caimanes III [Navarrete, 1989].

Juan Manuel Reyes ha aportado nueva información arqueozoológica a numerosos sitios del suroriente cubano. Se destacan, sus estudios integradores sobre las tradiciones alimentarias en el oriente cubano, en el que se refiere a las tendencias en la explotación de los recursos faunísticos, entre los grupos de la etapa apropiativa y los apropiadores ceramistas, siendo los primeros más selectivos hacia la recolección marina, y con cierta captación a los recursos terrestres. Por otro lado, los apropiadores ceramistas con grupos especializados con la caza, la recolección terrestre y escasa explotación marina, y otro con mayor dominio de tierra adentro con cierta recolección marina [Reyes, 2001].

El Departamento de Arqueología de Holguín, en uno de sus trabajos más recientes, presenta el Sistema de Información Geográfica Arqueofauna del nororiente de Cuba. El mismo expone una base de datos que reúne información arqueozoológica, así como datos de ubicación, caracterización ambiental, autoría y fechamientos de los trabajos, entre otros. Esto



Los crustáceos presentes, en los sitios de esta zona del país, son los cangrejos *Gecarcinus ruricola* y *Cardiosoma guanhumi*, especies terrestres que van a depositar sus huevos en el agua marina una vez al año, etapa en la se mueven cientos de miles de ejemplares hacia la costa, siendo esta una ocasión muy favorable para su captura. Otros crustáceos presentes en los residuarios son *Callinectes* spp. y *Tetrachlita* spp., que provienen del medio marino.

La fauna vertebrada se hace muy evidente en la mayoría de los sitios. Los peces son especialmente comunes, de ellos, son frecuentes las especies *Scarus* spp., *Calamus bajonao*, *Lachnolaimus* spp., *Sparisoma*, *Mycteroperca*, *Chylomicterus* spp., *Spahyraena barracuda*, *Himantura schmardae*, y la especie de la clase Chondrichthyes, especie del Orden Rajiforme, especie de la familia Balistidae y de la familia Labridae. Es significativo señalar que partes óseas del esqueleto de peces han sido utilizados como objeto de adorno y como puntas de lanzas.

*Cyclura nubila* y *Epicrates angulifer* son las especies de reptiles terrestres presentes en los sitios arqueológicos de esta región, conocidos como iguana y majá de Santa María, respectivamente. La primera especie constituye el mayor de los lagartos cubanos que alcanza una talla de entre 1 y 1,5 m, habita en la cercanía de las costas y se calcula que de él son aprovechables cerca de 3 kg. El *Epicrates angulifer* es también encontrado, aunque con menor frecuencia. Este reptil, de la familia Boidae, alcanza hasta 4 m de largo, puede encontrarse en los bosques y cuevas cubanas, y debió resultar de fácil acceso para los aborígenes cubanos. Ambas especies son endémicas de Cuba.

Quelonios fluviales y marinos también son habituales en los residuarios, especialmente la especie *Trachemys decussata* (jicotea), una tortuga de río que se puede identificar frecuentemente a través de la presencia del plastrón. Mientras que la presencia de quelonios marinos es más escasa y se presenta corrientemente en sitios costeros.

Las aves pertenecen al grupo de vertebrados más escaso en los sitios arqueológicos, y su identificación se hace difícil por el deterioro que generalmente presentan sus huesos. A pesar de esto, no existen dudas de que el consumo de aves, en mayor o menor medida, formó parte de la alimentación de nuestros aborígenes. La biodiversidad y abundancia actual, presupone una similitud con el pasado que, además, fue descrita por los cronistas [Arredondo, 2008].

Dentro de los vertebrados, los mamíferos sobresalen en la arqueofauna del nororiente de Cuba, presentándose exponentes de los órdenes Rodentia, Soricomorpha, Sirenia, Pilosa, Carnivora Perissodactyla y Artiodactyla.

Dentro del orden Rodentia se ha observado la presencia de varias especies de jutías como: *Capromys pilorides*, *Mysateles melanurus*, *Geocapromys columbianus*, *Boromys torrei* y *Boromys offella*, estas tres últimas ya extinguidas. La especie *Capromys pilorides* fue el mayor de los roedores de que disponían, su aparición como remanente zoológico es muy frecuente y le proporcionaba aproximadamente 2,5 kg de biomasa aprovechable.

Como hallazgo aislado se encuentra la presencia de *Geocapromys brownii*, especie endémica de Jamaica y restringida actualmente a ese territorio, que fue identificada a partir de una revisión profunda de los materiales arqueozoológicos almacenados en la colección personal de Oscar Arredondo, por Díaz-Franco y Jiménez. Este hallazgo, proveniente del sitio Arroyo del Palo, da pie a la hipótesis del traslado de esta especie, desde la isla de Jamaica hasta el oriente cubano, por grupos apropiadores ceramistas o agricultores tempranos. Su presencia en Cuba constituye otra evidencia del intercambio faunal entre islas por causas antrópicas en el Caribe precolombino [Díaz-Franco y Jiménez, 2008].

*Solenodon cubanus* (almiquí) perteneciente a la familia Solenodontidae, del orden Soricomorpha, es otro mamífero que está presente en los residuarios arqueológicos, aunque de forma muy exigua, se presenta solo en 6 de los 35 residuarios con reportes de arqueofauna. Consideramos que este pequeño mamífero no debió ser un componente importante para su dieta, coincidiendo con Arredondo [2008]. Un dato interesante es que la presencia de este pequeño mamífero en las localidades de Alcalá (Baguanos), El Porvenir, Loma de Baní, Chorro de Maíta (Banes), Loma La Forestal y Loma de Ochile (Holguín), es un indicador de que en la época precolombina su distribución, aunque ya restringida, era más amplia que en el presente, confinada hoy a los bosques del Este de la zona oriental, y está considerada en la categoría de «en peligro de extinción» [Wikipedia, 2010; Silva, *et al.*, 2007].

El Orden Sirenia se presenta con la especie *Trichechus manatus* (manatí) en residuarios cercanos al mar como Cayo Bariay, Corinthia, Esterito y San Antonio. Este sirénido habita en ríos, esteros y en aguas costeras de poco fondo, y la base de su alimentación son las plantas acuáticas. Es portador de una abundante biomasa comestible y actualmente no se encuentra presente en las localidades donde fueron encontrados sus restos, lo que es un indicio de que su hábitat actual se ha desplazado hacia otros lugares más protegidos. Es frecuente encontrar objetos ceremoniales hechos a partir de costillas de esta especie.

El Orden Carnivora está representado por dos familias en la arqueofauna de la región nororiental: *Monachus tropicalis*, de la familia Phocidae (foca

tropical) y *Canis lupus familiaris*, de la familia Canidae (perro). Los restos de *Monachus tropicalis* fueron reportados por Milton Pino en 1980 en el sitio Seboruco, relacionado con estratos correspondientes a la cultura más antigua presentes en el territorio cubano, los Cazadores, a la que se le atribuye una antigüedad de siete mil años. La información acerca de esta especie extinguida en tiempos postcolombinos, sobre su uso como alimento es poca, aunque no se descarta que, al igual que el *Trichechus manatus*, pudiera haber sido más usada de lo que se conoce, aunque generalmente los reportes hechos para otras partes del país, relacionan su uso, fundamentalmente, para la confección de objetos ornamentales, a partir de sus dientes [Arredondo, 2008].

*Canis lupus familiares* tiene una historia controvertida que comienza con los hallazgos realizados por Milton Pino en 1961, en Cueva Bélica, de la localidad de Güirabo, Holguín, donde exhuma numerosos restos de perros, asociados a un contexto aborígen agricultor ceramista [Pino y Arredondo, 1987; Pino, 1961]. Estos restos de perros, junto con otros procedentes de otras localidades, sirvieron más tarde a Oscar Arredondo para la nominación de una nueva especie de cánido en el área antillana: *Indocyon caribensis* [Arredondo, 1981 a y b]. Estudios recientes han reubicado la especie descrita por Arredondo, nuevamente como *Canis lupus familiaris* [Jiménez y Fernández, 2003].

Los representantes del orden Pilosa presentes en esta zona del país, fueron descritos por Pino y Castellanos en 1985. Se trata del sitio Cueva de la Masanga de la localidad de Gibara, donde se identificaron las especies *Megalocnus rodens*, *Mesocnus browni*, *Mesocnus torrei* y *Neocnus gliriformis* en un contexto aborígen no alterado, donde estos autores proponen una asociación cronológica de restos de mamíferos extintos, pertenecientes a la familia Megalonychidae, con grupos aborígenes cubanos tempranos.

Existen opiniones divididas en cuanto a este tipo de asociación tan antigua; sin embargo, algunos autores plantean que puede corresponderse, ya que fechados colagénicos arrojaron una antigüedad de  $3\ 740 \pm 200$  antes del presente [Rodríguez y Vento, 1989], y haberse encontrado esta misma situación de asociación, en otras regiones del país [Arredondo, 2008].

Finalmente, en los sitios de contacto indohispánico es común la incorporación de fauna del viejo mundo. Es el caso de *Sus scrofa*, del orden Artiodactyla, y de *Equus caballus*, del orden Perissodactyla. Restos de cerdo se hacen evidentes en los sitios Chorro de Maíta, Alcalá, Potrero del Mango y El Porvenir, mientras que los restos de caballo están en Alcalá y en la Güira de Barajagua, todos en la provincia de Holguín.

## Valoraciones finales

1. La Arqueología Ambiental en la región oriental de Cuba ha tenido sus exponentes en subdisciplinas tales como la Química, la Arqueobotánica y la Arqueozoología.
2. Los aportes de estos estudios han permitido corroborar, desde una perspectiva arqueológica y un basamento científico, los recursos naturales que usaron los grupos primitivos para su alimentación, mostrando una amplia gama de ellos, tanto a partir de recursos vegetales como faunísticos.
3. La Arqueozoología ha sido la subdisciplina más desarrollada tanto en el Norte como en el Sur de oriente, y ha aportado valiosa información que complementa el conocimiento sobre el comportamiento de los indocubanos en cuanto a la explotación de los recursos faunísticos y a las tradiciones alimentarias. A través del análisis se observa el amplio uso de recursos faunísticos, tanto terrestres como marinos.
4. La Arqueozoología y la Arqueobotánica son subdisciplinas que no solo aportan al conocimiento del comportamiento de la alimentación de los grupos precolombinos, sino que también aportan datos a las ciencias naturales, en cuanto a la presencia de determinadas especies en épocas pasadas. En este sentido, a través de los estudios realizados se ha obtenido información sobre la distribución y extinción de especies, como en los casos del almiquí (*Solenodon cubanus*), el manatí (*Trichechus manatus*) y la jutía (*Boromys Ofelia*), respectivamente, en el que en los dos primeros se observa una reducción de los hábitats y en el tercero, extinto actualmente, estimándose su presencia en la localidad, al menos, hasta mediados del siglo XVI.

## Bibliografía

- ARREDONDO, C. (2008). «Zooarqueología prehispánica en Cuba: situación actual y desarrollo, en Latin-American Archaeozoology: Origins and Development» (G. Mengoni GOÑALONS, J. ARROYO-CABRALES AND O. J. POLACO, eds.). México: Instituto Nacional de Antropología e Historia y Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología, 2008.
- ARREDONDO, C. Y R. VILLAVICENCIO (1997): «Importancia paleoarqueológica de la localidad El Charcón, Corralillo, Villa Clara», en XII Fórum de Ciencia y Técnica. ISPEJV. La Habana. Cuba, 1997.
- ARREDONDO, C. Y R. VILLAVICENCIO (2004): «Tafonomía del depósito arqueológico solapa del Megalocnus en el noroeste de Villa Clara», en *Revista de Biología*, vol. 18, no. 2.

- ARREDONDO, C; R. RODRÍGUEZ SUÁREZ Y A. RANGEL (2007). «Moluscos presentes en el sitio arqueológico prehispánico Canímar abajo, Matanzas, Cuba. Un análisis», en II Seminario Internacional de Zooarqueología, Basílica San Francisco de Asís, La Habana, 2007.
- ARREDONDO, O. (1981a). «Nuevos géneros y especie de mamífero (Carnivora Canidae) del Holoceno de Cuba», en *Poeyana* no. 218, Instituto de Zoología Academia de Ciencias de Cuba, 20 de octubre de 1981.
- ARREDONDO, O. (1981b). «Reemplazo de Paracyon por Indocyon (Carnivora Canidae)», en *Miscelánea Zoológica*, no.12., Instituto de Zoología, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, 30 de diciembre de 1981.
- CASTELLANOS, DILECTA; M. PINO, G. IZQUIERDO Y G. BAENA (2001). «Estudio del sitio La Escondida de Bucuey, San Luis, provincia de Santiago de Cuba», en *El Caribe Arqueológico*, no. 5, Casa de Caribe, Santiago de Cuba, 2001. 96-105 pp.
- CASTELLANOS, N. Y M. PINO (1985). *Acerca de la asociación de perezosos cubanos extinguidos con evidencias culturales de aborígenes cubanos*. Reporte de Investigación del Instituto de Ciencias Sociales, no. 4, Academia de Ciencias de Cuba, 1985. 29 p.
- CASTELLANOS, NILECTA Y M. PINO (1988). «Aspectos generales de las comunidades aborígenes agroalfareras del norte de Holguín y Las Tunas», en *Anuario de Arqueología*. La Habana: Ed. Academia, 1988. 194- 222 pp.
- DÍAZ-FRANCO, S Y O. JIMÉNEZ (2008). «*Geocapromys brownii* (Rodentia: Capromyidae: Capromyinae) en Cuba», en *SOLENODON 7*, 2008. pp 41-47.
- GUARCH, ELENA (2006). «Contribución a la socialización de las investigaciones arqueológicas». Tesis presentada en opción al título de Máster en Ciencias.
- GUARCH, J. M. (1984a). «Evidencias de existencia postcolombina de *Geocapromys* y *Heteropsomys* Mammalia, Familia Rodentia», en *Miscelánea Zoológica* 18:1, 1984.
- GUARCH, J. M. (1984b). «Evidencias de existencia postcolombina de *Geocapromys* y *Heteropsomys* Mammalia, Familia Rodentia», en *Miscelánea Zoológica* 18:1, 1984.
- GUARCH, J. M. *Carta Informativa* 30, Época II. Método sobre la dieta, 4 / 3 / 82.
- GUARCH, J. M. *Carta Informativa* 34, Época II, Sobre jutía fósil en La Güira de Barajagua.
- GUARCH, J. M. *Carta Informativa* 43, Época II. Loma de Ochile. Holguín. 8/8/83.
- GUARCH, J. M. Y A. VÁSQUEZ (1989). «Ecuaciones para establecer el proceso productivo de la gestión subsistencial dependiente de la fauna», en *Revista de Historia*, Holguín, 1989.



- GUARCH, J. M. Y J. Febles (1984). *Carta Informativa 50*, Época II, Santa Rita y Arroyo del Palo Excavaciones Levisa 8, 31 / 3 / 84.
- GUARCH, J. M.; L. PÉREZ Y E. GUARCH (1993). *Viaje al Plus Ultra*. Holguín: Ediciones Holguín, Premio Nacional V Centenario, 1993. 65 p.
- JIMÉNEZ, O. Y J. F. MILERA (2003). Cánidos precolombinos de Las Antillas: Mitos y verdades, en *Boletín Gabinete de Arqueología*, no. 2: 78-87, 2003.
- JOURNALEVA, IRINA Y NOEMÍ GONZÁLEZ (2000). Las variaciones climáticas y la reutilización del espacio habitacional a través de la alfarería aborigen. *El Caribe arqueológico* No. 4. Casa del caribe Santiago de Cuba. 35-39 pp.
- MARTÍNEZ ARANGO, F. (1997). *Los aborígenes de la Cuenca de Santiago de Cuba*. Miami, Florida: Ediciones Universal, 1997. 293 p.
- MÉNDEZ, G. (2001). «Apropiadores ceramistas del Centro-Oriente de Cuba: Una aproximación climática y ambiental», en *El Caribe Arqueológico*, no. 5., Casa del Caribe, Santiago de Cuba, 2001. 115-23 pp.
- NAVARRETE, R. (1989). *Arqueología Caimanes III*. La Habana: Ed. Ciencias Sociales, 1989.
- PÉREZ L., Y C. RODRÍGUEZ (1990). «Recopilación preliminar de especies faunísticas en sitios arqueológicos cubanos», en III Encuentro provincial de Arqueología, Santiago de Cuba, 1990.
- PÉREZ, L. (1996). «Restos dietarios de Cacoyugüín I, un sitio protoagrícola de la provincia Holguín», en VII Simposio Provincial de Espeleología, Gibara, Holguín, 1996.
- PÉREZ, L. (1999). «Restos faunísticos de Cacoyugüín I, un sitio protoagrícola de la provincia de Holguín», en *El Caribe Arqueológico*, No. 3, Casa del Caribe, Santiago de Cuba, 1999.
- PÉREZ, L. (2000). «Las comunidades protoagrícolas en la Provincia de Holguín, Cuba», en Congreso 60 Aniversario Sociedad Espeleológica de Cuba, Camagüey, 2000.
- PÉREZ, L. (2001). «Programa Excel a los Estudios Zooarqueológicos», XIV Forum de Ciencia y Técnica Evento de Base.
- PÉREZ, L. (2005). «Gestión económica y medio ambiente de tiempos precolombinos en Loma de Jagüeyes, Holguín», en Congreso 65 Aniversario de la Sociedad Espeleológica, Pinar del Río, 2005.
- PÉREZ, L. (2009). «Gestión económica y medio ambiente de tiempos precolombinos en Loma de Jagüeyes, Holguín», en *Ciencias Holguín*, XV, no. 1, marzo, 2009.
- PÉREZ, L. Y E. GUARCH (2000). «Cayo Bariay precolombino. Una aproximación arqueológica a su biodiversidad», en Memorias del Segundo Evento Internacional Biodiversidad y Turismo Parque Natural Cristóbal Colón, Santiago de Compostela, 2000. p. 223-234.
- PÉREZ, L. Y E. GUARCH (2002). «El medio ambiente precolombino en Cayo Bariay. Una perspectiva arqueológica», en *Ciencias Holguín*, 2002.

- PÉREZ, L.; J. J. GUARCH, E. GUARCH, R. VALCÁRCEL, *et al.* (2010). «SIG Arqueofauna del Nororiente de Cuba. Proyecto Registro Arqueozoológico del Nororiente de Cuba», en Archivos Departamento Centro Oriental de Arqueología, 2010.
- PINO, M. (1961). «Descubren cueva sepulcral de los taínos», en *Surco*, Holguín, 15 de noviembre de 1961.
- PINO, M. (1970). Excavaciones en Cueva Funche, Guanacahabibes, Pinar del Río. Serie Espeleológica y Carsológica No. 12. Academia de Ciencias. La Habana.
- PINO, M. Y O. ARREDONDO. *Carta Informativa 88*, Época II. Cueva Bélica y restos de perros 6 / 7 / 8.
- REBER, ELEONORA (2010). «Absorbed and Visible Lipid Residue Analysis of 6 Sherds from the Chorro de Maíta Site, Holguín, Cuba», en Paper of the UNCW Archaeological Residue Laboratory. Universidad of North Carolina al Wilmington, 2010.
- REYES, J. M. (1997). «Estudios dietarios de cinco sitios “apropiadores ceramistas” del suroeste cubano», en *El Caribe Arqueológico*, no. 2, Casa del Caribe, Santiago de Cuba, 1997. pp 41-49.
- REYES, J. M. (2001). «Apropiación y tradición alimentaria en el oriente cubano», en *El Caribe Arqueológico*, Casa del Caribe, Santiago de Cuba, 2001. 42-51 pp.
- RODRÍGUEZ SUÁREZ, R. (2004). «Huellas de restos alimenticios en la cerámica precolombina: el caso de Laguna de Limones, Maisí, Cuba», en *El Caribe arqueológico*, no. 8., Casa del Caribe, Santiago de Cuba, 2004. 86-90 pp.
- RODRÍGUEZ SUÁREZ, R. Y E. VENTO CANOSA (1989). *Algunos desdentados extinguidos de Cuba*. La Habana: Ed. Academia, 1989.19 p.
- RODRÍGUEZ SUÁREZ, R. Y J. PAGÁN (2006). «Primeras evidencias directas del uso de plantas en la dieta de los grupos agroalfareros del oriente de Cuba», en *Catauro Fundación Fernando Ortiz*, La Habana, 2006. p. 100-118.
- RODRÍGUEZ SUÁREZ, R.; L. PÉREZ Y J. L. CRUZ (2000). «¿Áreas de cultivo precolombino? El caso de Pueblo Viejo», en *Debates Americanos*, no. 10, La Habana, jul.-dic., 2000. p 59-66.
- RODRÍGUEZ, C. Y M. PINO (1990). *Procedimientos y métodos para realizar la investigación de los restos de alimentos de origen faunístico, rescatados de los depósitos arqueológicos cubanos*, en Archivos del Departamento Centro Oriental de Arqueología, 1990. 27 h. Inédito.
- ROUSE, I. (1942). *Archeology of Maniabon Hills, Cuba*. New Haven: Yale University Press, 1942. 184 p.
- SILVA TABEADA, G.; W. SUÁREZ Y S. DÍAZ (2007). *Compendio de los mamíferos terrestres autóctonos de Cuba: vivientes y extintos*. La Habana: Museo Nacional de Historia Natural, Ediciones Boloña, Publicaciones de la Oficina del Historiador de La Habana, 2007. 465 p.

ULLOA, J. Y R. VALCÁRCEL (2002). *Cerámica temprana en el centro del oriente de Cuba*. Santo Domingo: Ediciones Viewgraph, 2002. 241 p.

VALCÁRCEL, R. (2009). «Prácticas mortuorias e interacción hispano aborigen en El Chorro de Maíta». Resultado Proyecto Contacto Indohispánico. Noviembre, 2009.

VALCÁRCEL, R.; C. RODRÍGUEZ Y L. PÉREZ (2001). «Comunidades apropiadoras ceramistas en la provincia de Holguín, Cuba. Una revisión comparativa», en *Ciencias Holguín*, VII, no. 1, abr., 2001.

VALCÁRCEL, R.; L. PÉREZ Y C. RODRÍGUEZ (2001). «Un contexto apropiador ceramista temprano. Corinthia 3, Holguín, Cuba», en *El Caribe Arqueológico*, no. 5, Casa del Caribe, Santiago de Cuba, 2001. p. 76-88.

WAYNE, KING AND C. PORTER. Zooarchaeology: Papers to Honors Elizabeth Wing Bulletin Vol. 44. No.1. Universidad of Florida Gainesville. pp 1-208.

Wikipedia (2010). Cuban Solenodon. [documento en línea]  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Cuban\\_Solenodon](http://en.wikipedia.org/wiki/Cuban_Solenodon).

**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.

Dra. Tania Carbonell Morales.

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. 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>