

# Comparación ambiental de la generación de energía eléctrica a partir del bagazo y fuel oil

Berlan Rodríguez-Pérez<sup>1</sup>, Ana Margarita Contreras-Moya<sup>2</sup>, Elena Rosa-Domínguez<sup>2</sup>

1. Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Cienfuegos, Carretera a Rodas, Cuatro Caminos, Cienfuegos, Cuba.

2 Centro de Estudios de Química Aplicada, Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.  
brguez@ucf.edu.cu

## RESUMEN

*La presente investigación, tiene como objetivo realizar una comparación sobre la base del impacto ambiental en la generación de electricidad, entre la generación a partir de la industria azucarera, y correspondiente a partir de fuel oil en centrales termoeléctricas. En el desarrollo del trabajo se utilizan técnicas de recopilación de información como: entrevistas personales, revisión bibliográfica, tormenta de ideas y el trabajo en equipo, que sirven de apoyo para la utilización de mapas de proceso y diagrama de flujo, para complementar la aplicación del Análisis del Ciclo de Vida. Se toma como referencia la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) que aparece en la serie de normas NC ISO 14040. A partir del desarrollo de las fases del procedimiento aplicado: definición de alcances y objetivos, análisis de inventario, evaluación de impacto ambiental y análisis de mejora; se logran identificar y cuantificar los principales impactos que se generan en la producción de electricidad a partir de bagazo y fuel, demostrando la factibilidad ambiental de la generación a partir de biomasa.*

**Palabras clave:** Análisis de Ciclo de Vida, generación de electricidad, comparación ambiental.

## ABSTRACT

*This research aims to make a comparison on the basis of the environmental impact of electricity generation in sugar industry, and the corresponding from fuel oil in thermoelectric plants. For the developing of this the work several information techniques were used namely: personal interviews, literature review, brainstorming and teamwork that support the use of process maps and flow chart, to complement the implementation of Life Cycle analysis. As a reference, the methodology of analysis of Life Cycle Assessment (LCA) published on the set of standards NC ISO 14040 was taken. From development of the procedure applied. several results were drawn: definition of scope and objectives, inventory analysis, impact assessment and improved environmental analysis which lead to the identification and quantitation of the major impacts generated in the production of electricity from bagasse and fuel, demonstrating the environmental feasibility of its generation from biomass.*

**Keywords:** Life Cycle Assessment, electricity generation, environmental comparison.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el reconocimiento de la importancia de los problemas ambientales y socio económicos ha aumentado enormemente. La humanidad está tomando cada vez más conciencia de que el consumo de productos manufacturados y de servicios ofrecidos contribuye de cierta forma, a los efectos adversos sobre los recursos y la calidad del medio ambiente (1). Estos efectos pueden tener lugar en todas las etapas del ciclo de vida de un producto o servicio, desde la extracción de la materia prima hasta la fabricación, distribución y consumo del producto e incluyen una serie de opciones para la gestión de los residuos (2).

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) proporciona una herramienta valiosa para evaluar un sistema productivo, en cuanto a la eficiencia del uso de los recursos y manejo de desperdicios; aunque no es apropiado, sin embargo, si se quiere analizar los impactos ambientales específicos de un proyecto puntual. En este caso, deben aplicarse los métodos de evaluación de impacto ambiental establecidos (3).

El ACV ayuda a la organización a ganar ventajas competitivas y comparativas a través del ahorro de costos y mejora de posiciones en el mercado, incremento de ganancias y reforma de la imagen de la empresa o de un producto determinado (4).

La ventaja del ACV es que las personas encargadas de tomar decisiones, pueden evitar generar nuevos problemas ambientales al intentar corregir los existentes, o crear problemas ambientales en otras etapas del Ciclo de Vida (5). En los últimos años el ACV se ha impuesto como herramienta a la hora de evaluar los impactos potenciales de los productos (6).

El progresivo avance de la electricidad en el modelo energético de los países desarrollados durante los últimos años, así como también sus mayores ventajas en materia de transporte al por mayor y posterior distribución al por menor, hacen que el consumo de energía eléctrica esté sustituyendo a otras formas alternativas de energía final (3). Además de aportar importantes ventajas para los consumidores, el mayor peso de la electricidad está en el modelo energético que facilita la ampliación de medidas de eficiencia energética y del uso de energías limpias en la generación, permitiendo reducir la emisión de gases de efecto invernadero, y contribuyendo a mitigar la vulnerabilidad derivada de la dependencia de los combustibles de origen fósil (7).

El Consejo Mundial de Energía, (WEC, por sus siglas en inglés) llevó a cabo una compilación de estudios de análisis de ciclo de vida de diferentes tecnologías de generación de energía eléctrica

desarrollados en los últimos 15 años a nivel internacional (8). Estos análisis consideraron la cadena completa de producción de energía, desde la exploración y la extracción hasta su uso final, pasando por almacenamiento, transporte, transformación en combustibles secundarios; es decir, la energía primaria desde su origen hasta su uso final. De esta forma, se determinó la accesibilidad, disponibilidad y aceptabilidad de la producción de energía eléctrica (7).

Con el triunfo de la revolución, en Cuba se adquiere conciencia del grado de deterioro del medio ambiente y se empiezan a dar los primeros pasos necesarios para revertir esta situación (9) es así que comienzan a aparecer normativas con el fin de proteger el entorno, estas tienen carácter obligatorio para las empresas e industrias que constituyen fuentes contaminantes, así como para las nuevas fábricas que se crean las cuales deben cumplir también el requisito de no dañar el medio ambiente (1).

Partiendo de lo anterior surge la siguiente interrogante ¿Cómo cuantificar los impactos ambientales potenciales de la generación de electricidad a partir de bagazo de caña, con vistas a compararlos con otras fuentes de generación de electricidad?

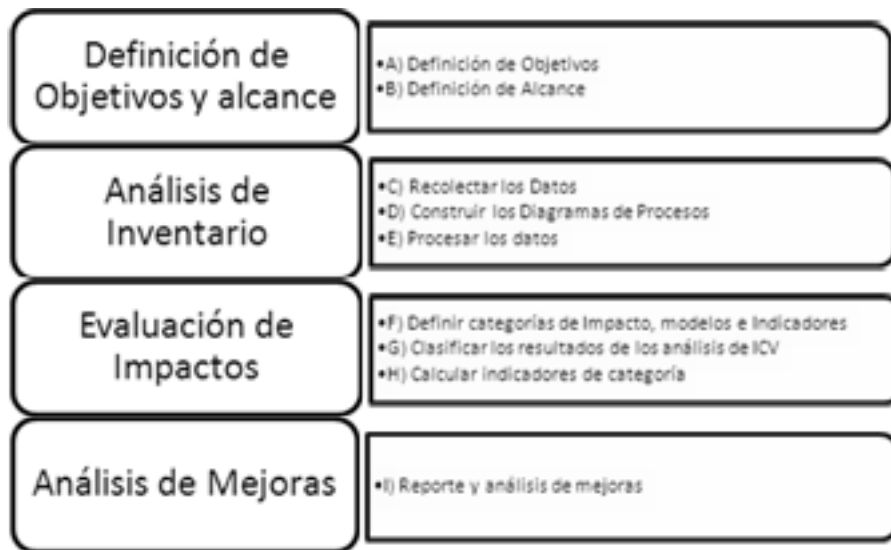
La aplicación del análisis de ciclo de vida permite evaluar y comparar el perfil ambiental de la generación de electricidad. Para ello, primeramente se realiza el inventario de ciclo de vida de la generación a partir de bagazo de caña; el cual se comparará con el de la generación por Diesel y por Fuel Oil, ya sea en grupos electrógenos o en la termoeléctrica "Carlos Manuel de Céspedes". Luego de evaluado el perfil ambiental de los distintos tipos de fuentes generadores, a través de un estudio de incertidumbre, se comparan estadísticamente los valores de los impactos, para lograr una mejor fiabilidad en los resultados.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de esta investigación, se utiliza el procedimiento de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), según las normas NC-ISO 14 040 a la 43. El ACV es un proceso en el que se reconocen 4 etapas:

- Definición del objetivo y alcance.
- Análisis del inventario del ciclo de vida.
- Evaluación del impacto del ciclo de vida.
- Análisis de mejoras.

En la figura 1 se ilustran las conexiones entre estos cuatro pasos y se puede reconocer que se trata de un proceso iterativo, el cual permite incrementar el nivel de detalle en sucesivas iteraciones.



**Figura 1.** Etapas de la metodología ACV según NC-ISO 14041.

### Unidad funcional

La unidad funcional del sistema analizado se define como la generación de 1 kWh de energía eléctrica, entregada al Sistema Electroenergético Nacional.

### Definición de los límites del sistema

Para el caso de la generación a partir de bagazo, se circunscriben a la elaboración de azúcar en las empresas "Antonio Sánchez", "14 de Julio" y "5 de Septiembre", ubicadas en los municipios Aguada de Pasajeros, Abreu y Rodas pertenecientes a la provincia de Cienfuegos. Los límites temporales considerados son desde el año 2011 al 2013, para los inventarios. Para este estudio quedan excluidas: las cargas ambientales relativas a la fabricación y mantenimiento de las maquinarias e infraestructuras necesarias para el cultivo de la caña de azúcar, los vehículos de transporte, la producción de fertilizantes y herbicidas, y las implicaciones de circulación, distribución y consumo del producto final. El suelo se toma como parte del sistema productivo, se ha incluido hasta la profundidad del nivel freático.

Para la generación a partir de fuel se toma como referencia la Central Termoeléctrica "Carlos Manuel de Céspedes" de Cienfuegos. Utilizando en correspondencia los límites temporales de 2011 al 2013 para los inventarios.

### Calidad de los datos

Los datos han sido acopiados, seleccionando los procesos cuya contribución a los flujos de masa y energía se espera que sean importantes y cuyas emisiones sean relevantes para el medio ambiente. Estos procesos son los incluidos en el cultivo de la

caña y en la elaboración de azúcar. Para ello se han solicitado datos a las siguientes entidades:

- EA "Antonio Sánchez", Aguada de Pasajeros.
- EA "14 de Julio", Abreu.
- EA "5 de Septiembre", Rodas.
- Grupo Extensión y Servicio Agrícola (GESA) Cienfuegos
- Dirección Provincial de Cienfuegos del Ministerio de la Industria del Azúcar (MINAZ)
- Central Termoeléctrica "Carlos Manuel de Céspedes" de Cienfuegos

El presente estudio de ACV se ha realizado utilizando una herramienta informática OpenLCA, que analiza y compara los aspectos medioambientales de un producto de una manera sistemática

siguiendo las recomendaciones de las normas ISO serie 14 040. Se utilizan bases de datos publicadas y disponibles, para los procesos más comunes como combustibles y productos químicos. Las bases de datos usadas son:

- Ecoinvent
- ETH-ESU
- IDEMAT

## ETAPA 2: ANÁLISIS DEL INVENTARIO

### Recolección de datos

En el proceso de recolección de los datos necesarios para la investigación se procede primeramente a describir cada uno de los procesos involucrados.

#### • Descripción del proceso de cultivo de la caña

El cultivo de la caña de azúcar es la etapa inicial de suma importancia, en esta intervienen parámetros que se deben cumplir según se recomienda por el Instituto de Investigaciones de la de la Caña de Azúcar (INICA). A continuación se describe cualitativa y cuantitativamente el proceso.

#### 1. Preparación de suelos

Tiene por objetivo fundamental formar el lecho adecuado para la siembra, eliminar las malezas y crear condiciones para el posterior desarrollo de la plantación. Sus características se determinan en función del relieve, el clima, los suelos y propiedades físicas, químicas y principales factores limitantes.

#### 2. Plantación

Las características de la plantación de la caña, así como los factores que intervienen en este proceso son ampliamente discutidos en (2;3;10);

según estos estudios en las condiciones climatológicas de Cuba nace el 40 % de las yemas que se plantan, por tanto el método más utilizado es triple trozo punta con punta, es decir a surco corrido y a 1.60 m entre ellos alcanzando entre 10 - 11 t/ha de semilla.

### 3. Control de malezas

Esta operación se realiza con el fin de eliminar todas las malezas o malas hierbas que dañan la planta y le impiden su desarrollo y crecimiento. Para dicha labor se aplican distintos herbicidas de acuerdo al tipo de maleza y al estado de la planta. Antes de ser utilizados estos herbicidas son probados por el Instituto de Sanidad Vegetal y el (INICA) para determinar la cantidad necesaria que debe ser utilizada para eliminar las malezas sin dañar el medio ambiente.

### 4. Aplicación de fertilizantes

La caña de azúcar, como toda especie vegetal, requiere un conjunto de nutrientes para su desarrollo y crecimiento, cuyas necesidades varían cuantitativamente, ya que algunos elementos que se consumen en cantidades muy pequeñas son también indispensables para el desarrollo de las plantaciones. En la fertilización se pueden utilizar fertilizantes de origen mineral y de origen orgánico.

### 5. Corte y cosecha

El sistema de cosecha empleado presenta dos vías principales de suministro de caña a la fábrica: el corte por máquina combinada y su envío directo a la fábrica; y el corte manual o de combinada, su envío a los centros de limpieza en seco y de estos a la fábrica. En ningún caso no se realiza una separación total de estos residuos, denominándose como materias extrañas aquellos que llegan al central. En el desarrollo de ambos métodos se utilizan como equipos: KTP-2M o Case y John Deere.

## • Descripción del proceso de producción de azúcar

### 1. Recepción de la Caña

La caña que llega del campo se muestrea para determinar las características de calidad y el contenido de sacarosa, fibra y nivel de impurezas. Luego se pesa en básculas y se conduce a los patios donde se almacena temporalmente o se dispone directamente en las mesas de lavado de caña para dirigirla a una banda conductora que alimenta las picadoras.

### 2. Picado de caña

Las picadoras son unos ejes colocados sobre los conductores accionados por turbinas, provistos de cuchillas giratorias que cortan los tallos y los convierten en astillas, dándoles un tamaño más uniforme para facilitar así la extracción del jugo en los molinos.

### 3. Molienda

La caña preparada por las picadoras llega a los molinos, constituido cada uno de ellos por dos o tres mazas metálicas y mediante presión extrae el jugo de la caña. Cada molino está equipado con una turbina de alta presión. En el recorrido de la caña por el molino se agrega agua de imbibición, generalmente caliente, para extraer al máximo la cantidad de sacarosa que contiene el material fibroso. Éste proceso de extracción es llamado maceración.

### 4. Clarificación/purificación

La clarificación del jugo se da por sedimentación; y el jugo claro queda en la parte superior del tanque. Éste jugo sobrante se envía a los evaporadores y la cachaza sedimentada que todavía contiene sacarosa pasa a un proceso de filtración antes de ser desechada al campo para el mejoramiento de los suelos pobres en materia orgánica. Para el desarrollo de este proceso se adiciona lechada de cal ( $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$ ) 0,7kg/t caña que eleva el pH con el objetivo de minimizar las posibles pérdidas de sacarosa y ayuda a precipitar impurezas orgánicas e inorgánicas que vienen en el jugo. Como resultado de este proceso se obtiene la cachaza un 2,75 % del total de caña molida y el jugo purificado.

### 5. Evaporación

Se comienza a evaporar el agua del jugo. Se recibe en los evaporadores con un contenido de sólidos solubles entre 10 y 12% y se obtiene una meladura o jarabe con una concentración aproximada de sólidos solubles del 55 al 60%. Se da en evaporadores de múltiples efectos al vacío, que consisten en una solución de celdas de ebullición dispuestas en serie. La meladura es purificada en un clarificador. La operación es similar a la anterior para clarificar el jugo filtrado.

### 6. Cristalización

La cristalización se realiza en los tachos, recipientes al vacío de un solo efecto con la adición de Cristal 600. El material resultante que contiene líquido (miel final) y cristales (azúcar) se denomina masa cocida. El trabajo de cristalización se lleva a cabo empleando el sistema de tres cocimientos o templeas para lograr la mayor concentración de sacarosa.

### 7. Centrifugación

La masa pasa por las centrifugas, máquinas giratorias en las cuales los cristales se separan del licor madre por medio de una masa centrífuga aplicada a tambores rotatorios que contienen mallas interiores. La miel que sale de las centrifugas se bombea a tanques de almacenamiento para luego someterla a superiores evaporaciones y cristalizaciones en los tachos. Al cabo de dos cristalizaciones sucesivas se obtiene una miel final (melaza) que se retira del proceso y se

comercializa como materia prima para la elaboración de alcoholes. Para la determinación de todas las entradas y salidas a cada operación del proceso es necesario realizar un balance de masa.

- **Descripción del proceso de generación de electricidad en la CTE de Cienfuegos**

El proceso de generación de electricidad en una central termoeléctrica se realiza a partir de sobrecalentar el vapor de agua para mover un generador, en este caso se necesita que el agua esté libre de impurezas, pues estas causan desperfectos y desgastes en las partes móviles de los equipos. Es por eso que el proceso comienza con el tratamiento del agua cruda. El agua pasa por un proceso de sedimentación, donde se eliminan gran parte de los sólidos suspendidos. Luego pasa por un proceso de desmineralización que comienza con un filtrado mecánico y después por un tratamiento iónico, dando como resultado un agua pura y desmineralizada.

Luego esa agua tratada pasa a la caldera para la generación de vapor. En la caldera existen varios pisos de quemadores que se operan automáti-

camente, controlando de esta forma la temperatura del vapor. Estos quemadores se caracterizan por el uso de tres tipos de aire en la combustión, aire primario que va directamente a la zona de combustión, aire secundario que produce un vórtice en la llama buscando acortar esta y estabilizar la combustión y un aire terciario que puede ser suministrado a la zona de combustión en caso de que esta no tenga la cantidad de oxígeno requerida, los quemadores llegan a operar con valores de NOx por debajo de 175 ppm. Con el vapor generado se mueve el rotor del generador, el cual produce la electricidad. El vapor pasa varias veces por el rotor, pues pierde entalpía a su paso, ya que la convierte en trabajo realizado.

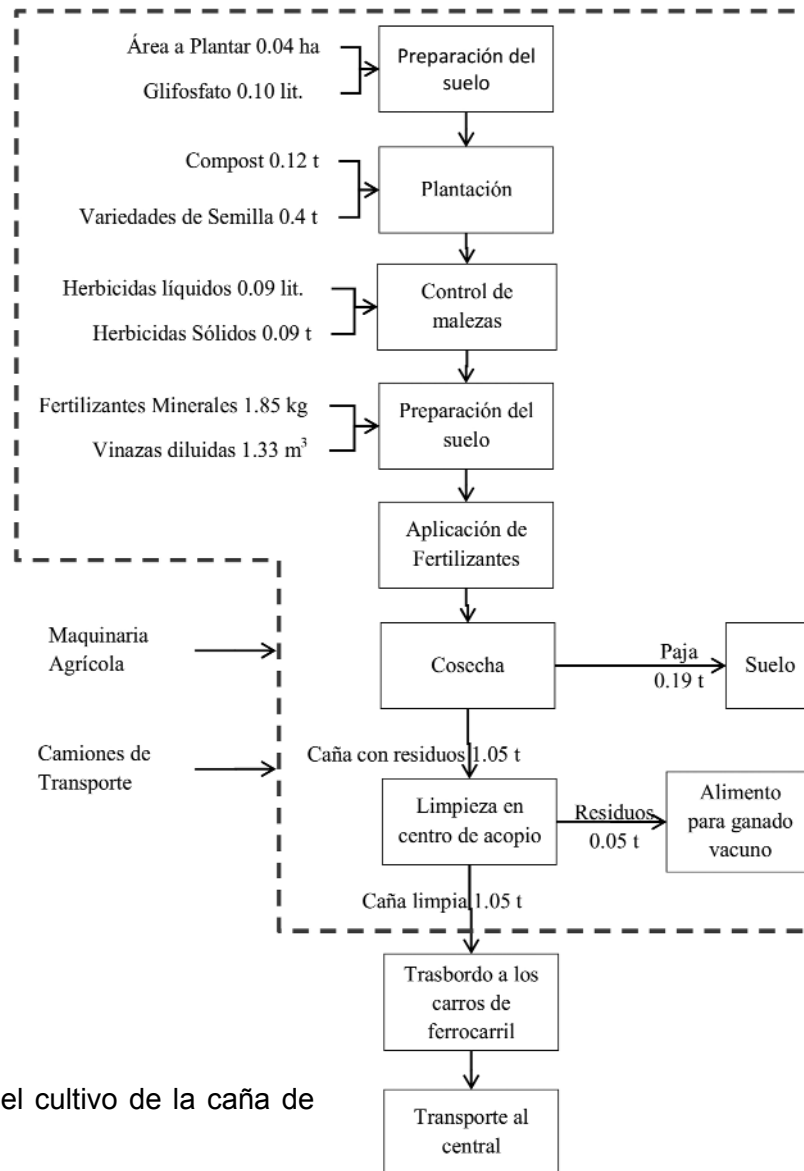
**Construcción de los diagramas de procesos**

- **Generación a partir de bagazo.**

Con la información expuesta anteriormente se está en condiciones de elaborar el inventario del proceso de elaboración de azúcar, en el mismo se recogen todas las materias primas, el uso de energía, combustible y las salidas o emisiones de cada uno de los procesos que intervienen en el ciclo de vida estudiado (ver tabla 1).

**Tabla 1.** Inventario de ciclo de vida de la producción de azúcar en la provincia de Cienfuegos

Producto	UM	Media	Producto	UM	Media
Ametrina	kg	13 362,47	Agua de imbibición	m <sup>3</sup>	58 549,40
Amigan	kg	53 449,93	Azúcar de caña	t	25 226,33
Amoniaco(NH <sub>3</sub> )	kg	179 500,00	Azúcar de caña (refino)	kg	480,60
Asulam	l	44 541,45	Bagacillo	t	76 866,32
Cloruro de Potasio (KCL)	kg	476 130,0	Bagazo	t	88 555,67
Compost	t	2 928,57	Cachaza	t	8 367,33
Diesel	l	1 151 739,51	Caña de azúcar	t	240.315,0
Diurón	kg	53 449,93	Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	kg	905,43
Envoke	kg	356,33	Demanda Química de Oxígeno DQO	kg	1 998,39
Esterol	L	17 816,63	Dióxido de carbono	t	11 512,24
Finale	L	13 362,47	Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	g	351,26
Glifosato	L	26 724,93	Energía aportada	kW	1 682 205
Hexazinona	L	13 362,47	Energía consumida	kW	7 449 765
Merlin	kg	3 563,33	Etanol de caña	kg	6 336,61
MSMA	L	26 724,93	Ión amonio (NH <sub>4</sub> )	g	159,54
Nitrato de Amonio	kg	753 366,67	Melaza (Miel final)	t	8 566,33
Sal de Amina	L	17 816,63	Óxido de calcio (CaO)	kg	156 204,75
Semilla de caña	T	93 537,33	Residuales líquidos	m <sup>3</sup>	1 204,50
Suelo	ha	8 908,32	Residuos sólidos	t	57 288,72
Superfosfato Triple (SPT)	kg	273 766,67	Vapor de biomasa	t	177,11
Urea	kg	556 833,33	Vinazas diluidas	m <sup>3</sup>	272 697,0



**Figura 2.** Proceso del cultivo de la caña de azúcar.

La descripción de las operaciones que se llevan a cabo en los procesos cultivo de la caña y fabricación de azúcar, sirven de base para diagramar los mismos, mediante los cuales se muestran de forma gráfica toda la información abordada hasta ahora. La figura 2, representa el proceso del cultivo de la caña de azúcar y en la figura 3 es posible observar de forma esquemática y detallada la elaboración de azúcar según se realiza en las empresas azucareras. Cada uno de estos procesos están enfocados a la obtención de 1t de producto final: caña de azúcar, azúcar; además están definidos los límites del sistema según quedaron planteados en la etapa de definición del alcance del estudio.

#### • Generación a partir de fuel

Para el caso de la generación eléctrica a partir de fuel, se presentan en la tabla 2, los datos anuales de los balances de masa que se suceden

en la Termoeléctrica para su producción. Las etapas del proceso están representadas en la figura 4, relacionando los insumos y salidas correspondientes.

#### • Procesar los datos

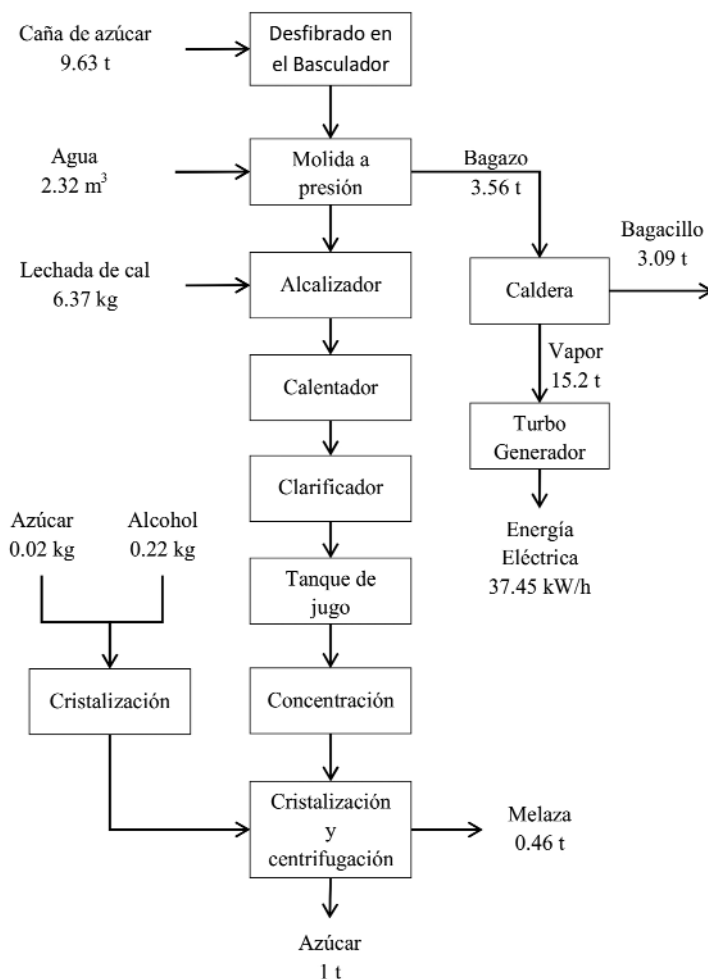
Con toda la información necesaria para el estudio y el cumplimiento de los objetivos planteados se procede a introducir los datos en el software OpenLCA, con el cual se procesan para evaluar el impacto ambiental de la generación de electricidad a partir de bagazo y de Fuel Oil con vistas a compararlos.

#### ETAPA 3: EVALUACIÓN DEL IMPACTO

Para el caso de la generación de electricidad a partir del bagazo residual de la industria azucarera, según se muestra en la figura 5, los principales impactos están relacionados con las categorías de

**Tabla 2.** Inventarios de la generación eléctrica a partir de fuel

	2008	2009	2010
Generación bruta MWh	7 16 844	372 261	838 670
Agua cruda (m <sup>3</sup> )	377 802,667	96 042,398	141 145,17
Agua de mar (m <sup>3</sup> )	224 640 000	224 640 000	224 640 000
Agua tratada (m <sup>3</sup> )	111 889	73 335	74 108
Alúmina (Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ) g	9 636 000	3 732 000	5 580 000
Sosa caustica 50% (NaOH) g	139 470 661	58 567 520	89 821 725
Ácido sulfúrico 98% (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) g	196 693 244	7 006 3013	84 846 690
Hidrógeno (g)	89 971,2	8 9971,2	112 464
Aceite (L)	4 800	1 447	1 837
Fosfato trisódico (Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ) (g)	365 365	204 949	196 230
Hidracina al 4 % (H <sub>4</sub> N <sub>2</sub> ) (g)	389 455	117 558	302 715
Sulfato ferroso (FeSO <sub>4</sub> ) (g)	2 500 000	2 500 000	2 500 000
Diesel (g)	261 240 000	244 550 000	190 130 000
<b>GASES</b>			
Dióxido de carbono CO <sub>2</sub> (%)	14,7583	14,8167	14,8375
CO (ppm)	89,7500	76,2500	13,7500
NO (ppm)	185,4167	217,2500	250,6250
NOX (ppm)	140,0000	212,3750	260,0000



**Figura 3.** Etapas del proceso de fabricación de azúcar.

Ocupación del Suelo, Cambio Climático, Uso del Agua, Eco-Toxicidad del suelo y acidificación del suelo, los que responden a las actividades de cultivo, transporte y procesamiento de la caña. En este caso la categoría de cambio climático se ve afectada principalmente, por el gasto de combustibles que ocurre en el transporte desde el campo al central.

Para la generación de electricidad a partir de fuel oil, como se muestra en la figura 6, se obtienen los mayores impactos para las categorías de Agotamiento de Combustibles Fósiles, Cambio Climático, Eco-toxicidad del Agua, Formación de Oxidantes Fotoquímicos y la Acidificación de los Suelos. Estos impactos a los recursos y a la atmósfera responden principalmente a la quema de combustibles fósiles. En el caso de la contaminación de las aguas, responde a las actividades de limpieza de los equipos de la planta, mayormente los Calentadores de Aire Regenerativos (CAR); para lo cual se usan productos químicos tóxicos y se arrastran con ellos otros tóxicos como los metales pesados, generalmente provenientes de impurezas de los combustibles.

La comparación entre estas dos fuentes de generación de electricidad se puede ver en la figura 7, a partir de

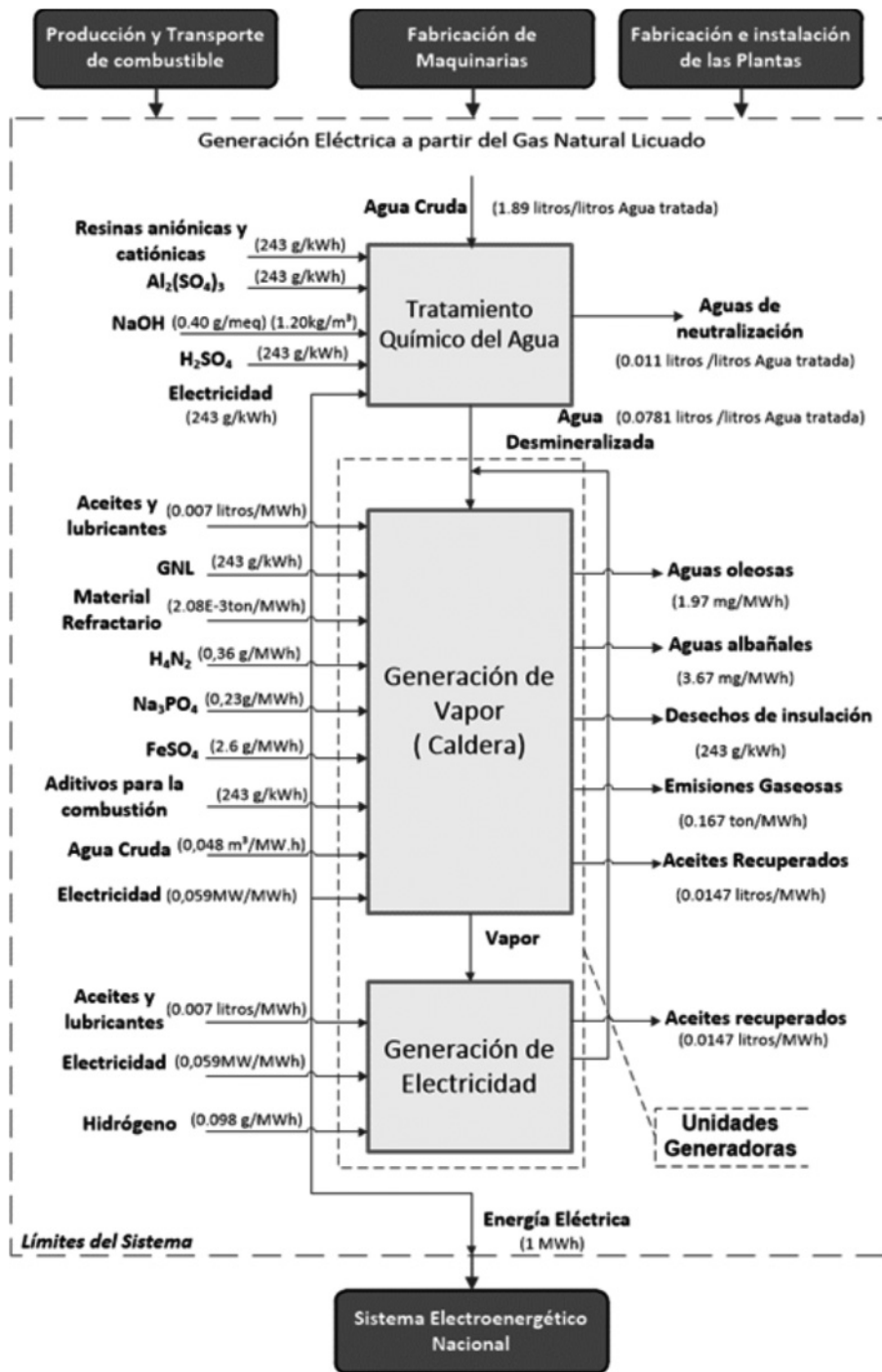
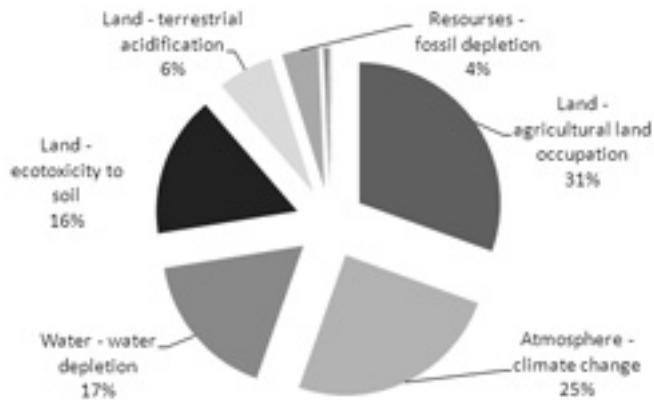


Figura 4. Etapas de la generación de eléctrica a partir de fuel oil.

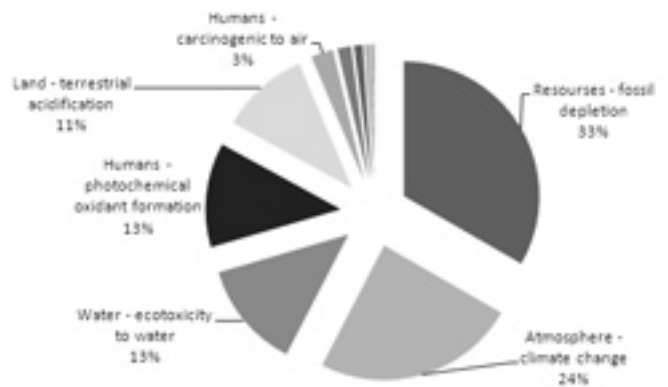
la cual se evidencia que la producción de electricidad a partir de bagazo es un 20 % menos contaminante que la producción a partir de fuel. Las categorías más relevantes en cuanto a su disminución en el impacto son las relacionadas con el Uso de Combustibles Fósiles y el Cambio Climático. En el caso de la generación a partir de bagazo se muestra que existen categorías más

impactantes que no se ven afectadas con la utilización de fuel, como son el Uso del Suelo y del Agua; sin embargo las contribuciones que tienen estas categorías resultan menores en comparación a las relacionadas con la Creación de Oxidantes Fotoquímicos la Eco-toxicidad del Agua y la Acidificación que se generan con la utilización de Fuel.

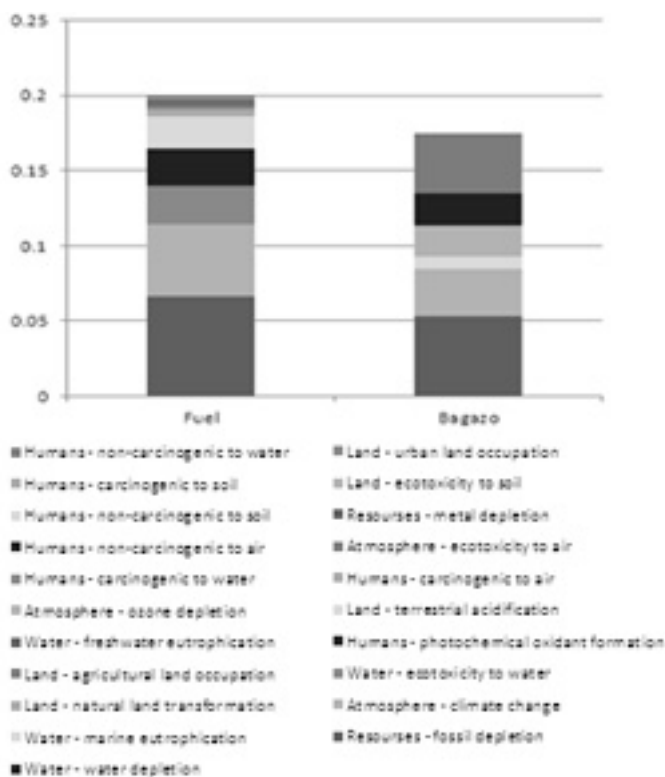




**Figura 5.** Evaluación de impacto de ciclo de vida para la electricidad a partir de bagazo.



**Figura 6.** Evaluación de impacto de ciclo de vida de la generación a partir de fuel oil.



**Figura 7.** Comparación del impacto ambiental generado con las fuentes de energía.

## CONCLUSIONES

Como se puede ver a partir del estudio realizado, la generación de electricidad a partir de bagazo es menos contaminante que a partir de fuel, pues tienen un menor impacto sobre la utilización de los recursos y las emisiones de compuestos que elevan el calentamiento global. El mayor aporte al calentamiento global y el uso de combustibles fósiles en el caso de la generación a partir de bagazo,

ocurre por la utilización del transporte, factor que contiene la mayor oportunidad de mejora para mitigar los impactos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. IPCC Chapter 6.12 global warming potentials. IPCC third assessment report-climate change 2001. International panel on climate change. 2003
2. Contreras, A.M. Comparative life cycle assessment of four alternatives for using by-products of cane sugar production. *J. Cleaner Prod* 17(8):772-779. 2009
3. Vargas, O.R. Estimación del impacto ambiental del cultivo de caña de azúcar utilizando la metodología del análisis del ciclo de vida (ACV). 2003. Disponible en: <http://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/Rv12-11.pdf?ri=04762ea47793540e110b58c864a5> 1968. [Consultado Enero, 2009].
4. Miller, S.A., Landis, A.E., Theis, T.L. Environmental trade-offs of bio based production. *Environ Sci Technol* 41(15):5176-5182. 2007
5. Beeharry, R.P. Carbon balance of sugar cane bioenergy systems. *Biomass Bioenergy* 20:361-370. 2001
6. Kadam, K.L. Environmental benefits on a life cycle basis of using bagasse-derived ethanol as a gasoline oxygenate in India. *Energy Policy* 30:371-384. 2002
7. Botha, T.; von Blottnitz, H. A. comparison of the environmental benefits of bagasse-derived electricity and fuel ethanol on a life-cycle basis. *Energy Policy* 34:2654-266. 2006
8. Macedo, I.C.; Seabra, J.E.A., Silva, J.E.A.R. Greenhouse gases emissions in the produc-

- tion and use of ethanol from sugar cane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass Bioenergy* 32(7):582-595. 2008
9. Smeets, E.M.W.; Bouwman, L.F.; Stehfest, E. Contribution of N<sub>2</sub>O to the greenhouse gas balance of first-generation biofuels. *Glob Change Biol* 15(1):1-23. 2009
  10. Wang, M.; Wu, M.; Huo, H. Life-cycle energy use and greenhouse gas emission implications of Brazilian sugarcane ethanol simulated with the GREET model. *Int Sugar J* 110 (1317):527-545. 2008
  11. Luo, L.; van der Voet, E.; Huppes, G. Life cycle assessment and life cycle costing of bioethanol from sugar cane in Brazil. *Renew Sustain Energy Rev* 13(6-7):1613-1619. 2009
  12. Ometto, A.R.; Hauschild, M.Z.; Roma, W.N.L. Life cycle assessment of fuel ethanol from sugar cane in Brazil. *Int J Life Cycle Assess* 14(3):236-247. 2009
  13. Hoefnagels, R.; Smeets, E.; Faaij, A. Greenhouse gas footprints of different biofuel production systems. *Renew Sustain Energy Rev* 14(7):1661-1694. 2010
  14. Nguyen, T.L.T.; Gheewala, S.H. Life cycle assessment of fuel ethanol from cane molasses in Thailand. *Int J Life Cycle Assess* 13(4):301-311. 2008
  15. Silalertruksa, T.; Gheewala, S.H. Environmental sustainability assessment of bio-ethanol production in Thailand. *Energy* 34 (11):1933-1946. 2009
  16. Rodriguez, B.; Rosa, E.; Contreras, A.M. Eco-Speed: Life Cycle Assessment Methodology for Latin-American Countries. International Conference on Life Cycle Assessment, Coatzacoalcos, México. 2011
  17. Bianchini, A.; Magalhães, P.S.G.; Braunbeck, O. Cultivo do solo em área de cana-de-açúcar. *Revista STAB (Piracicaba)* 19:6-8. 2001.
  18. García, H. R.; Peña, A. C.; López, R. A. Desarrollo de un sistema de evaporación y concentración de jugos de múltiple efecto para mejorar la eficiencia térmica y la productividad y disminuir el impacto ambiental en la producción de panela: tercer Informe de Avance del proyecto, CORPOICA, Bogotá-Colombia, 2009
  19. White, W.H.; Tew, T.L.; Richard, Jr., E.P. Association of sugarcane pith, rind hardness, and fiber with resistance to the sugarcane borer. *J. Am. Soc. Sugar Cane Technol.* 26, 87-100, 2006.

## EDITORIAL ICIDCA le ofrece

- *Venta de más de 30 títulos sobre industria azucarera y sus derivados*
- *Venta y suscripción de la revista *Ícidca sobre los derivados de la caña de azúcar**



- *Servicios de edición*

Para más información:

ICIDCA

Vía Blanca 804 y Carretera Central,

S.M.P. La Habana, Cuba

E. mail: [revista@icidca.edu.cu](mailto:revista@icidca.edu.cu)

Teléfonos: 698-3000

698-3008 ext. 210 o 211