

# ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN LA EMPRESA PANCHITO GÓMEZ TORO

**Autor: Dulce María Pérez Martínez<sup>1</sup>, Ana M. Contreras Moya<sup>2</sup>, Félix Pérez<sup>3</sup>.**

**1. Grupo Empresarial Agroindustrial GEA, Villa Clara**

**2. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Villa Clara.**

**3. ICINAZ, Ministerio de Azúcar.**

**E-mail: [producción.jdespacho@gea.vc.minaz.cu](mailto:producción.jdespacho@gea.vc.minaz.cu)**

## **Resumen**

La industria azucarera genera un gran impacto en el medio ambiente. En la actualidad, uno de los métodos novedosos para evaluar cuantitativamente los impactos ambientales generados por productos y procesos, es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), metodología que es muy usada en los países desarrollados, pero aún es incipiente en América Latina. En el presente trabajo se aplica dicha metodología para cuantificar el impacto ambiental de la empresa azucarera Panchito Gómez Toro mediante el Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Los resultados muestran que la metodología utilizada constituye una herramienta valiosa para evaluar el desempeño ambiental de la producción de azúcar y se comprueba científicamente que la mayor contribución al impacto del proceso está dada por la etapa agrícola y en ésta, por el uso de la tierra, la producción y uso de fertilizantes químicos y combustibles. El mayor impacto en la etapa industrial está dado por la cogeneración de electricidad con bagazo, producto de la emisión de material particulado. En este caso, el uso del bagazo como combustible, si bien evita la emisión de sustancias orgánicas, incrementa considerablemente la emisión del material particulado, convirtiéndose en un punto caliente sobre el cual es necesario actuar con rapidez. La contribución del proceso a la categoría de Combustibles Fósiles muestra la alta eficiencia en la generación de energía que se logra en el CAI Panchito Gómez Toro. La combinación del uso del sistema de depuración de gases con otras medidas de P+L permite una reducción en el valor de la mayoría de las categorías de impacto consideradas, destacándose la de efectos respiratorios de compuestos inorgánicos y la de combustibles fósiles. Este trabajo constituye el punto de partida para la elaboración de los inventarios de ciclo de vida para esta industria azucarera en la región.

**Palabras clave:** análisis de ciclo de vida, inventario ciclo de vida, industria azucarera

**Abstract**

The sugar industry generates a great impact in the environment. At present, one of the novel methods to quantitatively evaluate the environmental impacts generated by products and processes is the Life Cycle Analysis (LCA), methodology that is very used in developed countries, but still is incipient in Latin America. The results obtained in Cuba contribute an integral methodology that allows a scientific environmental analysis and that quantitatively evaluates the total environmental impact generated by the sugar industry, including the two stages of the process: Agricultural Stage and Industrial Stage. In the present work this methodology is applied to quantify the environmental impact of the sugar mill "Panchito Gomez Toro" by means of the Life Cycle Assessment (LCA) with the Eco-indicator 99 and Software SimaPro 7,1. The results show that used methodology constitutes a valuable tool to evaluate the environmental performance of the sugar production and is verified scientifically that the greater contribution to the impact of this process is given by the agricultural stage and in this one, by the Land use, the production and use of chemical fertilizers and fuels. The greater impact in the industrial stage is given by the co-generation of electricity with bagasse, due to the emission of particulate material. The contribution of the process to the Fossil Fuel category shows the high efficiency in the energy generation that is obtained in the mill "Panchito Gomez Toro". The combination of the use of the gas treatment with other measures of Cleaner Productions allows a reduction in the value of the majority of the considered impact categories, mainly, in the categories of respiratory inorganic compound effects, Acidification / Eutrofication and fossil fuels.

**Key words:**

## INTRODUCCIÓN

La intervención del hombre en la naturaleza comenzó hace miles de años y el proceso de daños a causa de la actividad humana fue escaso y lento al inicio, sin embargo, hoy día, el uso de sustancias químicas en la agricultura y en la industria, el uso irracional de recursos y la contaminación, entre otros, destruyen en minutos lo que la naturaleza construyó en siglos o milenios.

A consecuencia del desequilibrio ecológico, el estudio del ambiente ha venido a ocupar un lugar necesario e importante en los foros nacionales e internacionales en los que se analizan y plantean orientaciones políticas, económicas y comerciales para lograr un desarrollo sustentable, que haga posible el crecimiento económico, sin poner en riesgo los recursos naturales que se han heredado de nuestros antepasados y preservarlos para las generaciones futuras.

En este contexto, la producción más limpia adquiere una gran relevancia, ya que es preciso prevenir las tendencias actuales que ponen en peligro de extinción recursos invaluable y alteran las condiciones naturales del planeta. La conservación del ambiente configura un nuevo valor social, que exige un renovado compromiso, para identificar soluciones que respondan a las aspiraciones de la sociedad.

Para la nación cubana, la caña y el azúcar forman una parte integral de historia, cultura y tradición. El azúcar de caña ha sido el producto principal en la economía cubana durante años. La caña se ha sembrado históricamente con el objetivo básico de producir y comercializar azúcar, es un cultivo con alta capacidad de producción, que en buenas condiciones, produce volúmenes por encima de 100 t/ha de tallos. Si las hojas y topes (cogollo), que no se utilizan para la producción de azúcar, son incluidas, el volumen de biomasa asciende un 20 %. Se ha demostrado que el uso de la caña de azúcar de obtener energía renovable es muy atractivo, ya que el proceso de combustión de la biomasa, subproducto de la caña de azúcar, es climáticamente neutral debido al ciclo de carbón cerrado de la planta.<sup>3,6,8</sup>

La industria azucarera utiliza grandes cantidades de agua e insumos en las etapas agrícola e industrial, ya sea para la elaboración de sus productos o para el saneamiento de los equipos de producción. Aunque ha sido demostrado el efecto positivo que

tiene el uso de la biomasa cañera para la producción de energía, en el ahorro de combustibles fósiles, se pueden producir efectos nocivos por la respiración del material particulado generado en los procesos de combustión.

El Ministerio de la Industria azucarera se ha manifestado en la protección del Medio Ambiente y apoya las innovaciones en materia de metodologías de Evaluación de Impactos Ambientales, por esta razón ya se habla hoy en la Industria azucarera cubana de Análisis de Ciclo de Vida.

El objetivo del trabajo fue determinar los procesos que más contribuyen al impacto ambiental considerando dos etapas: etapa agrícola y etapa industrial, ambas muy importantes en la producción de azúcar crudo (producto final) y proponer un plan de medidas que contribuya a mitigar los mismos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

ELACV hace posible calcular los impactos ambientales acumulativos resultantes de todas las etapas en el ciclo de vida del producto. En el presente trabajo se consideran las dos etapas del proceso de producción de azúcar: la etapa agrícola y la etapa industrial. El estudio se realiza sobre la base de los requisitos establecidos en la Norma NC- ISO 14040 2005.

### Alcance del estudio

Partiendo de una muestra representativa diaria de los parámetros fundamentales de la Industria y la Agricultura, se promediaron las entradas y salidas del proceso durante las tres últimas zafas (2006,2007 y 2008). El sistema de estudio considerado es una fábrica de azúcar crudo de caña: CAI Panchito Gómez Toro, con capacidad de 2731 t de caña diaria (promedio de las tres últimas zafas: 2006,2007y 2008), para las condiciones de producción convencional.

### Unidad funcional

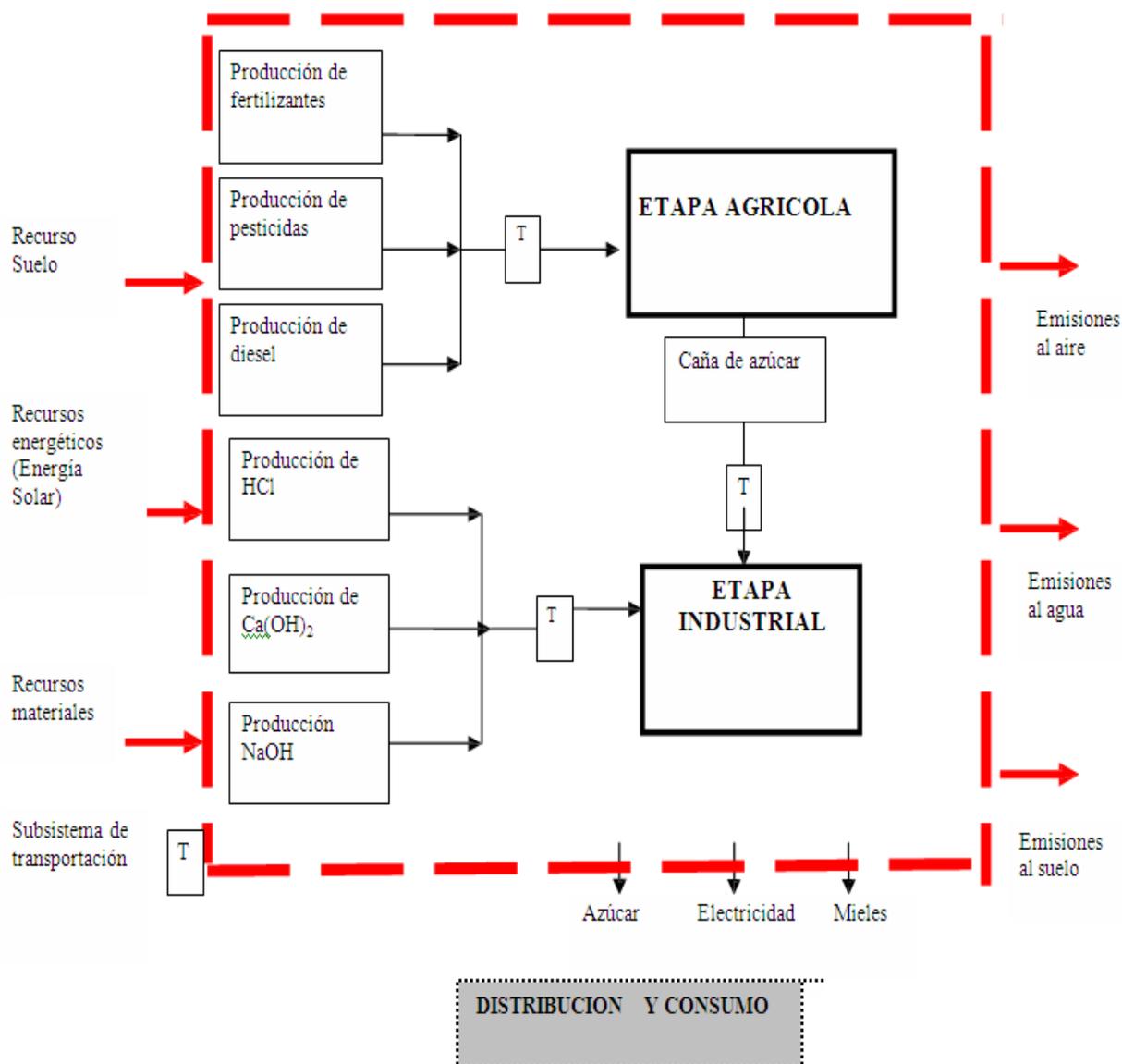
Es la unidad a la que se refieren todas las entradas (materias primas, energía,...) y salidas (productos, emisiones, residuos,...) del sistema en estudio. Debe estar claramente definida, ser medible y representativa de todos los flujos del proceso. La unidad más representativa de todas las entradas y

salidas del proceso en estudio es la producción diaria de azúcar de la fábrica (282 t/d).

### Consideraciones y Limitaciones

A continuación se especifican las consideraciones hechas en cada etapa con respecto a las soluciones de los residuos:

- Se consideró el uso de RAC y mieles como alimento animal considerando el consumo de cantidades equivalentes de otros alimentos, además en la literatura se plantea que dichos productos tienen un comportamiento comparable desde el punto de vista nutritivo<sup>7</sup>
- Uso de cachaza y cenizas en organopónicos (compost), se consideró el ahorro de los fertilizantes químicos que comúnmente se emplean en la agricultura en Cuba (urea, cloruro de potasio y superfosfato triple) ya que los mismos proceden de procesos similares a los contenidos en la base de datos Ecoinvent.
- Uso de aguas residuales para ferti-irrigación, se considera el ahorro de agua y fertilizantes equivalente a los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio del agua.
- La generación de electricidad satisface las necesidades en la industria, de acuerdo al esquema tecnológico de cada alternativa y el resto se envía a la Red Nacional.



**Figura 1. Límites del Sistema**

Para el análisis del ACV se utilizó el programa Simapro 7.1,<sup>2</sup> utilizándose la base de datos Ecoinvent (2003) y los procesos creados para las condiciones de Cuba. Además, se usaron datos de la documentación para fábricas de azúcar de la EPA. Se empleó el método del Eco-indicador 99 (PRé Consultans 2004) que tiene en cuenta 11 categorías de impacto y tres categorías de daños. Para de esta forma demostrar cuáles son los productos y operaciones de mayor influencia en el impacto total del proceso.

Una vez propuestas las medidas de mitigación, se realizará la comparación de los impactos ambientales asociados al proceso antes y después de las mejoras de forma tal que se pueda cuantificar su reducción. Se realizó además un Análisis Estadístico de los Parámetros Primarios de la industria y de la etapa agrícola, para ello se calculó: la Media, la Desviación Estándar, la Varianza, el Coeficiente de Variación así como el Tipo de Distribución debido a que el análisis de incertidumbre resulta importante para definir el nivel de precisión de una evaluación de impacto ambiental. En el caso de estudio, los resultados estadísticos muestran la variabilidad de los datos para todas las variables estudiadas y por tanto, la incertidumbre en las condiciones de operación de esta industria.

Se utiliza el módulo de comparación de procesos para comparar los resultados de la evaluación ambiental con el uso o no de sistemas de depuración en el proceso de cogeneración de electricidad, considerando el uso de un sistema depurador mecánico (ciclón) con un 70 % de eficiencia. Los demás parámetros se mantienen constantes.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Del proceso de evaluación de impactos se obtiene como resultado la Red del proceso donde se evidencia que la magnitud del impacto generado por la etapa agrícola es mayor que el de la etapa industrial (producción de azúcar) y en esta última, la cogeneración de electricidad con bagazo representa la mayor contribución. Por otra parte, se destaca que el uso de los RAC genera un impacto ambiental beneficioso significativo. Este resultado se puede apreciar en la Tabla I que resume la contribución total del inventario para las etapas agrícola e industrial, según los procesos considerados en la base de datos Ecoinvent en combinación con los procesos típicos de la industria azucarera creados.

<b>Categoría de impacto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>	<b>Etapa Agrícola</b>	<b>Etapa Industrial</b>
Total	Pt	82571.603	45210,372	37361,232
Carcinogénesis	Pt	-1251,2142	-696,10857	-555,10568
Resp. orgánicos	Pt	2,0647863	1,8099239	0,25486249
Resp. inorgánicos	Pt	42956,52	703,75199	<b>42252,768</b>
Cambio Climático	Pt	424,94153	400,43374	24,507787
Radiación	Pt	7,7148743	11,584495	-3,8696209
Capa de Ozono	Pt	0,074764193	0,14387739	-0,069113199
Ecotoxicidad	Pt	-396,14201	-179,58196	-216,56005
Acidificación/ Eutrofización	Pt	1,1617132	-68,492926	<b>69,654639</b>
Uso del Terreno	Pt	39537,257	42745,067	-3207,8104
Minerales	Pt	76,338575	87,239276	-10,900701
Combustibles Fósiles	Pt	1212,8864	2204,5249	-991,63848

**Tabla 1. Contribución Total del Proceso**

Se observa que en la etapa agrícola los valores numéricos de la tabla son, en la mayoría de las (efecto perjudicial sobre el medio ambiente), no ocurre lo mismo en la etapa industrial, donde sólo se destaca por presentar impactos perjudiciales (valores positivos) en la categoría de efectos respiratorios por compuestos inorgánicos y acidificación/eutrofización, dado fundamentalmente por la emisión indiscriminada de residuos en el proceso.

Resulta significativo el hecho de que en ambas etapas, tanto en la agrícola como en la industrial, en la categoría de Carcinogénesis se obtienen resultados favorables al impacto ambiental, lo cual está asociado con la reducción de emisiones al aire, agua y suelo de compuestos orgánicos. Las mayores contribuciones se deben al uso de las mieles finales y RAC como alimento animal. La cogeneración de electricidad con bagazo contribuye de forma significativa a evitar la emisión de compuestos orgánicos que tiene lugar cuando la electricidad es generada a partir de combustibles fósiles. Se obtienen resultados favorables debido al uso de residuos líquidos y sólidos (cachaza, cenizas y agua residual que son usados como fertilizantes e irrigación, respectivamente) lo que evita el consumo de urea, superfosfato triple y cloruro de potasio.

De igual forma la Ecotoxicidad presenta resultados similares a la categoría de la Carcinogénesis y esto está asociado con la emisión al aire, agua y suelo de gran cantidad de compuestos orgánicos y de metales pesados, que contribuyen de manera significativa al impacto sobre el ecosistema. Ofrece valores favorables, ya que el uso de la electricidad a partir de bagazo, así como el uso de RAC y mieles como alimento animal, reducen el impacto de la industria azucarera en esta categoría.

Los resultados demuestran la necesidad de proponer medidas encaminadas a disminuir el efecto del material particulado por lo que se realiza la propuesta de un sistema de depuración de gases.

Los resultados de la comparación de los procesos de cogeneración en esta industria con y sin depuración de gases se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Comparación de los sistemas de Cogeneración con y sin Depuración de gases

Categoría de Daño	Unidad	Cogeneración de electricidad sin Depuración de gases	Cogeneración de electricidad con Depuración de gases
Total	Pt	41131,646	12043,09
<b>Daño a la Salud</b>	Pt	41931,344	<b>12842,78</b>
Daño a la Calidad			
Ecosistema	Pt	87,036808	87,03681
Daño a los recursos	Pt	-886,7344	-886,734

Se observa que existe una disminución del impacto ambiental total generado, siendo el impacto usando sistemas de depuración (12043 Puntos) 3,4 veces menor que antes de usar estos sistemas (41131 Puntos), debido a la reducción de la emisión de material particulado.

Analizando las categorías de daño se aprecia que el impacto sobre la salud se ve notablemente beneficiado

cuando se utilizan los sistemas de depuración de gases, el daño al ecosistema y a los recursos se mantiene en un mismo nivel.

**Otras medidas que pueden contribuir a la disminución del impacto ambiental del proceso.**

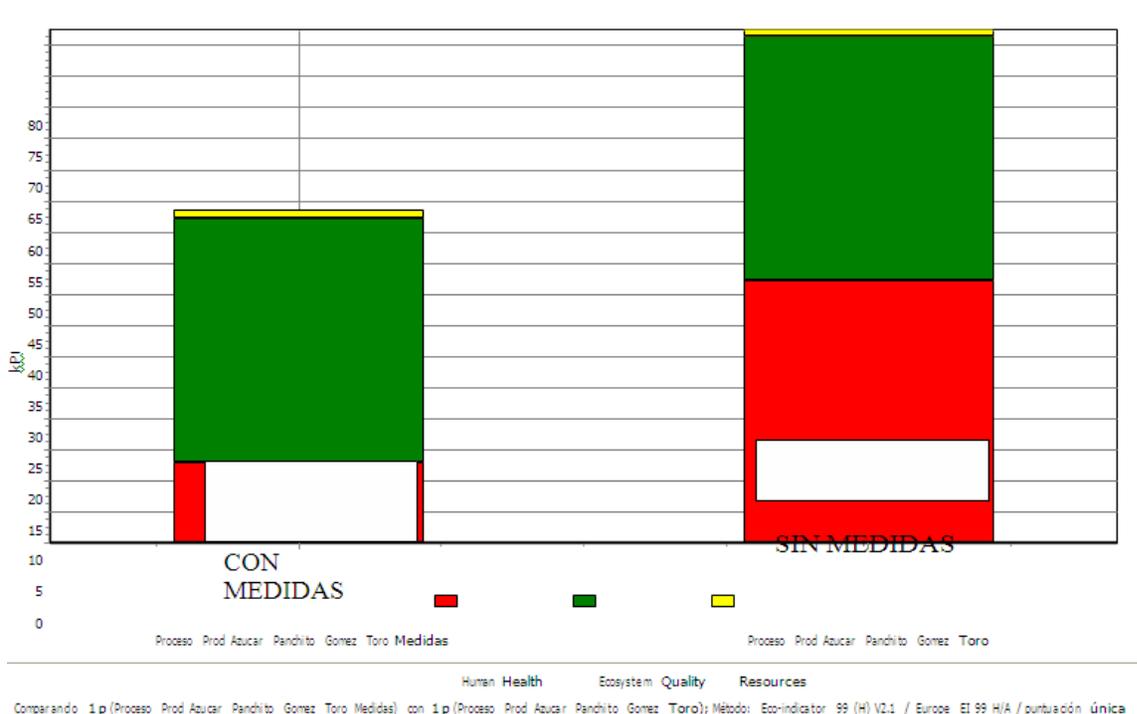
Se analiza que el impacto ambiental del proceso puede ser disminuido aún más si se implementan las medidas que se relacionan a continuación:

1. Chequear y controlar la efectividad del fertirriego y calidad de las aguas.
2. Planificar y asegurar la aplicación de compost y de otros residuales sólidos que se le incorporan al suelo.
3. Introducir en el Plan de Labores, las actividades agroecológicas no incluidas en el Programa de Suelos.
4. Independizar los residuos albañales de los del proceso fabril.
5. Construcción de trampas de grasa para la separación de aceites y lubricantes de las aguas residuales.
6. Establecer sistema para la extracción de cachaza en forma sólida y/o eliminación de derrames en el área de cargue.
7. Introducir sistema de laguna que permita desagregar el ácido clorhídrico de residuo de las limpiezas.
8. Recuperación de la sosa (NaOH) agotada empleada en la limpieza de los evaporadores y calentadores y envío al enfriadero general.
9. Construcción de circuitos cerrados de enfriamiento y/o calentamiento en tándem, máquinas de moler, turbogeneradores, bombas, cristalizadores y compresores.
10. Eliminar las causas que originan los retornos contaminados.
11. Tomar las medidas para la correcta operación de los sistemas de condensado y control analítico de las aguas condensadas.

Para corroborar el efecto de estas medidas se realizó la comparación en la etapa industrial del proceso actual con una nueva alternativa donde además de la instalación del equipo depurador de gases se cuantificaron los ahorros de sosa cáustica y de agua suavizada. (Ver Tabla 3) El resto de las medidas, aunque se conoce deben producir una reducción del impacto, en estos momentos no se dispone de datos para su evaluación.

Los resultados gráficos de la comparación del proceso actual con la alternativa considerando la introducción de medidas de producción más limpia se muestran en la figura 2

**Figura 2.** Comparación del proceso Con y Sin introducción de Medidas de P+L



**Tabla 3.** Comparación del proceso con y sin Medidas de P+L. Caracterización

	Unidad	Prod Azúcar Panchito Gómez T.	Prod Azúcar con Medidas de P+L
Carcinogénesis	DALY	-0,048049702	-0,048057323
Resp. orgánicos	DALY	7,93E-05	7,93E-05
Resp. inorgánicos	DALY	1,649636	0,52918189
Cambio Climático	DALY	0,016318799	0,016304517
Radiación	DALY	0,00029627	0,000295
Capa de Ozono	DALY	2,87E-06	2,87E-06
Ecotoxicidad	PAF*m2yr	-50787,437	-50811,351
Acidificación/ Eutrofización	PDF*m2yr	14,893759	13,821605
Uso del Terreno	PDF*m2yr	506887,9	506887,24
Minerales	MJ surplus	3207,5032	3203,8633
Combustibles Fósiles	MJ surplus	50961,613	50908,819

Por categorías de impacto, se observa la mayor disminución en la categoría de efectos respiratorios por compuestos inorgánicos, debido a la instalación del depurador de gases, seguido por las categorías de Acidificación/Eutrofización y combustibles fósiles, debido a la reducción de los consumos de sosa cáustica y agua suavizada. Se observan disminuciones menos significativas en las categorías cambio climático, radiación, ecotoxicidad y minerales.

### CONCLUSIONES

1. El ACV realizado aporta el Inventario de Ciclo de Vida que constituye el punto de partida para la elaboración de los inventarios para esta industria y para la región de América Latina.
2. La mayor contribución al impacto del proceso (efecto perjudicial al medio) está dada por la etapa agrícola y en ésta, por el uso de la tierra, la producción y uso de fertilizantes químicos y combustibles.
3. El mayor impacto en la etapa industrial está dado por la cogeneración de electricidad con bagazo, producto de la emisión de material particulado, lo que destaca la necesidad de instalación de separadores de partículas en estas instalaciones.
4. La contribución del proceso a la categoría de Combustibles Fósiles muestra la alta eficiencia en la generación de energía que se logra en el CAI Panchito Gómez Toro.
5. El uso de sistemas de tratamiento para la remoción de material particulado disminuye en un

70 % el impacto ambiental generado por el proceso de cogeneración.

6. La combinación del uso del sistema de depuración de gases con otras medidas de P+L produce una reducción en el valor de la mayoría de las categorías de impacto consideradas,

destacándose la de efectos respiratorios de compuestos inorgánicos, Acidificación/Eutrofización y combustibles fósiles.

7. La metodología utilizada constituye una herramienta útil para la cuantificación de los impactos ambientales de la producción de azúcar de caña en Cuba.

8. Los resultados alcanzados en materia de ACV nos han dado la posibilidad de que especialistas de nuestro sector formemos parte de la RED Cubana de CV y tengamos participación en actividades de la RED Latinoamericana de ACV .

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Ecoinvent Centre: The Life Cycle Inventory Data Version 1.01. (Ecoinvent data V1.01),

December 2003, © Swiss Centre for Life Cycle Inventories/2003.

2. Goedkoop, M. and M. D. Oele: Introduction to LCA (Life Cycle Assessment) with SimaPro, PRé Consultants, Sept. 2004, sitio web: [www.pre.nl](http://www.pre.nl). Consultado: 15 de septiembre 2006.

3. Mesa, J. y L. González: "La agroindustria de la caña de azúcar en un marco de Desarrollo sostenible," Revista *Ciencias.com*, 12 de agosto de 2003.

4. National Office Normalization. NC ISO14041. 2000. Environmental management. LCA, Cuba, 2000.

5. National Office Normalization. NC ISO14040. 2005: Environmental management. LCA, Cuba, 2005.

6. Suárez, R. y R. Morin: Caña de Azúcar y sostenibilidad: enfoque y sostenibilidad, Cuba, 2005.

7. Valdés, A.: Combustibles y energías renovables a partir de la biomasa, Reunión Regional sobre Biomasa para la producción de energía, CITMA, Revisado Dic. 2005.

8. Villegas, P.J. y O. Cruz: Evaluación del impacto ambiental del uso de la biomasa en fábricas de azúcar en Cuba, 2005.