



Fecha de presentación: 24/04/2021

Fecha de aceptación: 05/05/2021

Fecha de publicación: 7/10/2021

¿Cómo citar este artículo?

Portal Alonso, M., & Reinoso Pérez, M. (septiembre-diciembre, 2021). Huella del carbono de la producción de azúcar en Cuba. Caso: Central "Melanio Hernández". *Revista Márgenes*, 9(3), 71-87. Recuperado de <http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes/issue/view/1271>

TÍTULO: HUELLA DEL CARBONO DE LA PRODUCCIÓN DE AZÚCAR EN CUBA. CASO: CENTRAL "MELANIO HERNÁNDEZ"

TITLE: THE CARBON FOOTPRINT OF SUGAR PRODUCTION IN CUBA. CASE REPORT: "MELANIO HERNÁNDEZ" SUGAR MILL

Autores: Ing. Melissa Portal-Alonso ¹, Dr. C Mario Reinoso-Pérez ²

¹ Ingeniera Industrial. UEB Central Azucarero Melanio Hernández, Empresa Azucarera Sancti Spíritus, Asentamiento rural Tuinucú, Taguasco, Sancti Spíritus, Cuba. Correo electrónico: mpalonso92@nauta.cu ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8083-7462>

² Ingeniero Pecuario. Doctor en Ciencias Veterinarias. Profesor e Investigador Titular. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Villa Clara, Cuba. Correo electrónico: mariorp@uclv.cu ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5825-6234>

RESUMEN

La huella del carbono (HC) cuantifica las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de las actividades antropogénicas y constituye una herramienta útil para evaluar el desempeño ambiental de una organización, considerada como única categoría de impacto: el cambio climático.

El objetivo del presente artículo es determinar la contribución del proceso de fabricación de azúcar al calentamiento global mediante la estimación de la HC del central "Melanio Hernández".

Se empleó el Método Compuesto de las Cuentas Contables, para lo cual se cuantificaron los aspectos ambientales identificados como fuentes emisoras de gases

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN ORIGINAL

de efecto invernadero. Los datos primarios correspondientes al trienio 2016-2018 se extrajeron del software "Sistema Económico Integrado" VERSAT-Sarasola y mediciones *in situ*. Se integraron los requisitos de las normas ISO 14064-1:2006, NC-ISO 14001:2015 y NC-ISO 14044:2009.

La generación de residuos biogénicos, las emisiones por soldadura autógena oxiacetilénica, el consumo de servicios y bienes intangibles, el consumo de energía eléctrica, de materiales no orgánicos, de combustibles fósiles y de agua, son los aspectos ambientales que más contribuyen a la HC. La tasa anual de emisión asciende a $1,54 \pm 0,18$ t de CO₂-eq/t de azúcar. El elevado coeficiente de variación correspondiente a las emisiones asociadas al consumo de electricidad (41,53 %) refleja ineficiencias en su control.

Los aspectos ambientales asociados a las emisiones por soldadura autógena oxiacetilénica y la generación de residuos biogénicos constituyen los que mayor inciden en la HC y contribuyen significativamente al incremento de esta en la comunidad donde está enclavado el central objeto de estudio.

Palabras clave: aspectos ambientales; dióxido de carbono; huella del carbono; industria azucarera.

ABSTRACT

The Carbon Footprint (CF) quantifies the emissions of greenhouse gases into the atmosphere from anthropogenic processes or activities; and it constitutes a useful tool to evaluate the environmental performance of an organization considering climate change as the only impact category.

The objective of this article is To determine the contribution of the sugar production process to the global warming by the estimation of the CF of the "Melanio Hernández" sugar mill.

The Compound Method of the Countable Accounts was used, to which the environmental aspects identified as sources of greenhouse gasses were identified and quantified. The primary data corresponding to the triennium 2016-2018 were collected from the Integrated Economic System "VERSAT-Sarasola" software, and by *in situ*

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN ORIGINAL

measuring. The requirements and guidelines of the ISO 14064-1:2006, NC-ISO 14001:2015 and NC-ISO 14044:2009 were integrated

The generation of biogenic residues, emissions from oxyacetylene welding, consumption of services and intangible goods, consumption of electricity, non-organic materials, liquid fossil fuels and water are the environmental aspects that contribute most to the carbon footprint. The annual emission rate amounts to $1,54 \pm 0.18$ t CO₂-eq/t sugar. The high coefficient of variation corresponding to emissions associated with electricity consumption (41,53 %) reflects inefficiencies in its control.

The environmental aspects associated with oxyacetylene welding emissions and the generation of biogenic residues are those that have the greatest impact on the CF, contributing significantly to its increase in the community where the plant under study is located.

Keywords: environmental aspects; carbon dioxide; carbon footprint; sugar industry.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años los procesos de deterioro ambiental se han incrementado notablemente como consecuencia del uso irracional y la contaminación de los recursos naturales. En este contexto, la globalización y la era posmoderna actuarían como los dos grandes ejes interpretativos de los conflictos actuales entre ser humano y medio ambiente (Toro-Sánchez, 2011).

Las actividades humanas tienen necesariamente un impacto sobre el medio ambiente dado que todas implican el consumo de recursos naturales y la generación de desechos sólidos, residuales líquidos y/o emisiones gaseosas. Estos impactos son cada vez mayores debido al acelerado crecimiento poblacional y al incremento de los índices de natalidad y de la esperanza de vida. A ello se agrega el hecho de que para mantener los estilos de vida actuales se demandan mayores recursos por persona lo cual determina un horizonte poco alentador. Ante este panorama, en las últimas décadas el compromiso con el medio ambiente ha estado presente en la planificación de actividades de los países y empresas. Conceptos como el de desarrollo sostenible buscan un equilibrio entre el desarrollo socio-económico y el medio ambiente. No

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN ORIGINAL

obstante, a pesar de los avances logrados aún queda mucho por hacer, máxime si se sabe que el desarrollo económico y social implica un alto costo ambiental y que el ser humano ejerce una presión cada vez más fuerte sobre los limitados recursos naturales de los que depende la sociedad y la economía (Hashimoto, 2019).

En este contexto, la huella del carbono deviene una herramienta válida para cuantificar la contribución de una organización al calentamiento global, cuya magnitud está determinada por la suma de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero (GEI) resultantes de los procesos y actividades que ésta desarrolla (ISO 14064-1:2006) durante el cumplimiento de su encargo social (Reinosa-Valladares et al., 2018). Sin lugar a dudas, todas las fuentes emisoras de GEI son aspectos ambientales, los cuales han sido definidos por la NC-ISO 14001:2015 como aquellos elementos de las actividades, productos o servicios que interactúan con el medio ambiente, por tanto, la huella del carbono de una organización es una variable dependiente de la ocurrencia y nivel de significancia de estos.

Por lo anteriormente expuesto, el objetivo del presente artículo es determinar la contribución del proceso de fabricación de azúcar al calentamiento global mediante la estimación de la huella del carbono del central “Melanio Hernández”, desde la recepción de la materia prima hasta la obtención del azúcar y sus subproductos acompañantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del caso de estudio: El Central Azucarero “Melanio Hernández” es una Unidad Empresarial de Base de la Empresa Azucarera Sancti Spíritus, cuya misión es la producción de azúcar, energía, miel y otros derivados y se encuentra ubicada en el asentamiento rural Tuinucú, municipio Taguasco, provincia Sancti Spíritus.

Identificación y cuantificación de los aspectos ambientales: Se determinó el flujo de entradas y salidas en las diferentes etapas del ciclo de vida de todas las actividades y procesos vinculados al proceso de fabricación de azúcar, desde la recepción de la materia prima y demás insumos hasta la obtención del azúcar y sus derivados. Para ello se procedió según las directrices de las ISO 14064-1:2006, NC-ISO 14001:2015 y NC-ISO 14044: 2009. Se empleó el Método Compuesto de las Cuentas Contables

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN ORIGINAL

(MC3), para lo cual se cuantificaron los aspectos ambientales identificados como fuentes emisoras de gases de efecto invernadero. A partir de los datos cuantitativos disponibles se determinó el consumo o generación anual, durante el trienio 2016-2018, de los siguientes aspectos ambientales:

Alcance 1

- **Consumo de combustibles fósiles líquidos (L):** Corresponde al consumo de diésel y gasolina por los equipos automotores, fijos y estacionarios.
- **Consumo de biomasa como combustible:** Se refiere al consumo de bagazo (t) y leña (m^3) para la generación de vapor, calor y electricidad.

Alcance 2

- **Consumo de energía eléctrica (MW-h):** Corresponde al uso de electricidad proveniente del Sistema Electroenergético Nacional.

Alcance 3

- **Consumo de agua (m^3):** Se determinó mediante los hidrómetros instalados y los registros primarios disponibles. Contempló el uso del recurso en el proceso fabril, en las operaciones de enfriamiento, generación de vapor y limpieza de equipos e instalaciones, así como en la preparación de alimentos, los servicios sanitarios e higiene personal.
- **Consumo de gases industriales (m^3):** Dado por el empleo de oxígeno (O_2) y acetileno (C_2H_2) durante la ejecución de soldaduras autógenas oxiacetilénicas, como actividades de apoyo al proceso productivo.
- **Consumo de materiales no orgánicos (kg):** Contempla el uso de insumos productivos manufacturados a partir de minerales metálicos (acero, hierro, materiales no ferrosos) y no metálicos (áridos, productos textiles sintéticos, productos químicos, aceites, lubricantes, productos farmacéuticos, equipos electrodomésticos).
- **Consumo de servicios o bienes intangibles externos (\$ CUP):** Se refiere a los servicios bancarios, comerciales, administrativos, asesorías, consultorías, hospedajes, hoteles, telefonía fija y móvil, actividades culturales y sociales,

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

transportación de mercancías, acciones de formación y capacitación, mantenimiento técnico y constructivo, entre otros, ejecutados por proveedores externos. Se asumió que durante el ciclo de vida de estos servicios el gasto energético representó entre el 1 y 8 % de los costos totales, en dependencia de la naturaleza del servicio en cuestión.

- **Consumo de recursos agropecuarios y forestales (kg):** Incluye los consumos de alimentos, bebidas, vestuarios y textiles confeccionados, manufacturas de cesterías, sombreros, cueros, pieles, peletería, guantes, así como productos editoriales y de la industria gráfica (modelos, facturas, papel, cartón).
- **Generación de residuos peligrosos (kg):** Contempla las baterías de vehículos desechadas, los filtros de aceites, aceites usados y luminarias fluorescentes.
- **Generación de desechos sólidos orgánicos (t):** Solo contempla la cachaza o torta de filtro, la cual es dispuesta a cielo abierto en áreas aledañas al central.
- **Generación de residuos líquidos azucarados (m³):** Proviene del consumo de agua demandado por el proceso fabril y la ejecución de las operaciones de enfriamiento, generación de vapor y limpieza de equipos e instalaciones.
- **Generación de residuos biogénicos (t):** Están constituidos por los residuos (hojas y vainas secas, fracciones de cogollo, raíces y otros componentes vegetales) resultantes del proceso de limpieza de la caña de azúcar en los Centros de Recepción. Se asume que el 100 % del volumen generado es incinerado en las áreas aledañas a los centros de recepción.

Recopilación y verificación de la información: Los datos primarios correspondientes a cada aspecto ambiental se extrajeron en primera instancia de la información disponible en el software “Sistema Económico Integrado” VERSAT-Sarasola. Los consumos o generaciones no contemplados en este software fueron estimados mediante técnicas y herramientas basadas en los fundamentos metodológicos de la Investigación-Acción-Participación (Geilfus, 2002), tales como: **(I)** listas de chequeo, **(II)** entrevistas semi-estructuradas y abiertas, **(III)** observación directa participante, **(IV)**

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

mediciones y comprobaciones "in situ" y (V) análisis de documentos y registros propios de la organización. Estas técnicas y herramientas también se emplearon durante el proceso de verificación de la información recopilada, para asegurar su veracidad y confiabilidad.

Estimación de la huella del carbono (t CO₂-eq): Las emisiones de dióxido de carbono equivalente se calcularon para aquellos aspectos ambientales de los cuales se posee información cuantitativa sobre los volúmenes (t por año) de consumo o generación. Para ello se utilizaron las intensidades energéticas (Gj t⁻¹) y factores de emisión de CO₂ (tCO₂ Gj⁻¹) reportados por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006) & Domenech et al. (2010) y se estableció el siguiente modelo matemático a partir de los postulados procedimentales del Método Compuesto de las Cuentas Contables (Doménech, 2010):

$$Y = \sum_{AA}^{12} t_{AA} \times i_{en} \times f_{em}$$

Donde:

Y = Huella del carbono (t CO₂ -eq), resulta de la suma de todas las sub-huellas.

AA = Aspecto ambiental asociado a cada sub-huella (n = 12).

t = toneladas consumidas o generadas para el n-ésimo aspecto ambiental.

i_{en} = Poder calorífico o intensidad energética (GJ t⁻¹) utilizado para el n-ésimo aspecto ambiental.

f_{em} = Factor de emisión (tCO₂ Gj⁻¹) utilizado para la estimación de la sub-huella correspondiente a cada aspecto ambiental.

Procesamiento estadístico: Se utilizó el paquete de programas estadísticos STATGRAPHICS® Centurión versión XV.II (2006) para Windows, determinándose los valores medios, desviación estándar y coeficiente de variación (%).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra los valores medios de emisiones de dióxido de carbono equivalente (t CO₂ -eq), desglosados por los aspectos ambientales cuantificados con sus

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN ORIGINAL

respectivos valores medio, desviación estándar y coeficiente de variación, correspondientes al trienio 2016-2018. Nótese que aun cuando no todos los aspectos ambientales presentes en el proceso de producción de azúcar desde la recepción de la caña fueron cuantificados, la tasa anual de emisión de CO₂-eq asciende a 1,54±0,18t CO₂-eq /t azúcar producida.

Tabla 1: Emisiones de dióxido de carbono equivalente (t CO₂ -eq) por cada aspecto ambiental cuantificado en el trienio 2016-2018.

Aspectos ambientales (Fuentes emisoras)	Media trianual (t CO ₂ -eq)	D.E.	C.V. (%)
Consumo de energía eléctrica	1684,93	699,68	41,53
Consumo de combustibles fósiles líquidos	444,67	37,64	8,47
Consumo de biomasa leñosa	1115,36	47,89	4,29
Consumo de agua	406,43	33,54	8,25
Consumo de materiales no orgánicos	1537,20	209,27	13,61
Consumo de recursos agropecuarios y forestales	125,32	2,92	2,33
Consumo de servicios y bienes intangibles	2165,85	454,78	21,00
Generación de desechos peligrosos	0,72	0,19	27,05
Generación de residuos biogénicos (vainas y hojas secas de caña) incinerados a cielo abierto	30541,03	4165,72	13,64
Generación de residuos azucarados tratados en STR y vertidos en efluentes	34,30	4,65	13,57
Desechos orgánicos (cachaza) vertidos a cielo abierto	118,71	3,66	3,08
Emisiones por soldadura autógena oxiacetilénica	6333,02	944,69	14,92
Intensidad de emisión de CO ₂ -eq/t azúcar producida	1,54	0,18	11,78

D.E. = Desviación estándar, C.V. = Coeficiente de variación, STR = Sistema de Tratamiento de Residuales

Generación de residuos biogénicos (vainas y hojas secas de caña) incinerados a cielo abierto (Alcance 3)

La incineración de vainas y hojas secas, proceso realizado a cielo abierto en los centros de recepción, constituye el aspecto ambiental que más CO₂ -eq emite hacia la atmósfera (30541,03±4165,72t), lo cual coincide con lo reportado por Reinoso-Pérez

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

(2019). Este residuo representa aproximadamente de 15 a 20 % del peso de la caña, de ahí que su volumen sea elevado y su incineración es altamente destructiva, genera daños al suelo y emite partículas de carbón vegetal que pasan directamente al medio ambiente y se daña sensiblemente el entorno (León-Martínez et al., 2013). Es reconocido su uso como materia orgánica o cobertura para los suelos; también tiene otros usos alternativos que benefician el desarrollo de otras industrias como la refractaria, la química, la siderúrgica, la construcción y embalaje, que avalan las potencialidades de diversificación de este desecho (León-Martínez et al., 2013). Se reconoce además su potencial nutritivo para la alimentación de rumiantes adultos durante el período poco lluvioso. Al respecto varias instituciones cubanas han reportado resultados positivos en la ceba de bovinos adultos alimentados con paja de caña troceada y mezclada con miel y urea, producto conocido comercialmente como PAJUMEL (Reinoso-Pérez, 2019).

Emisiones por soldadura autógena oxiacetilénica (Alcance 3)

El consumo de gases industriales, determinado por el empleo de oxígeno y acetileno en la soldadura autógena oxiacetilénica, emite en su conjunto una media anual de $6333,02 \pm 944,69$ t CO₂ –eq, por lo que es el segundo aspecto ambiental con mayor influencia sobre la huella del carbono. Ello es debido, en gran medida, a la obsolescencia del equipamiento industrial y consecuentemente a la necesidad de acometer reparaciones, tanto en el período de molienda como durante la etapa de inactividad fabril del central. La necesidad de reducir la actividad consumista de los gases industriales, sobre los diversos procesos vinculados a la producción y mantenimiento en las industrias azucareras, es cada vez más urgente, en vista del creciente incremento de las emisiones de CO₂ producto de la quema de los mismos (Ríos y Rincón, 2014). Las mejoras tecnológicas en el proceso azucarero constituyen uno de los aspectos fundamentales para la disminución del consumo de estos gases industriales.



Consumo de servicios o bienes intangibles (Alcance 3)

Las emisiones de CO₂ –eq provenientes del consumo de servicios o bienes intangibles, tales como los servicios desarrollados por otras organizaciones por concepto de (I) mantenimiento técnico y constructivo, (II) transporte de mercancías, (III) bancarios, comerciales y administrativos, (IV) asesorías y consultorías externas, y (V) hospedajes y alimentación) ascienden en su conjunto a 2165,85±454,78 t CO₂ –eq, y en su conjunto representan el tercer aspecto ambiental con mayor incidencia sobre la huella del carbono.

La utilidad de esta sub-huella es relevante porque proporciona a las partes interesadas información relacionada con el ciclo de vida de los bienes y servicios que brinda la organización proveedora, premisa indispensable para la reducción de los impactos ambientales provenientes de éstos (Zampori & Pant, 2019)

Consumo de energía eléctrica (Alcance 2)

El consumo de energía eléctrica emite una media anual de 1684,93±699,68 t CO₂ –eq, cifra que lo sitúa en el cuarto aspecto ambiental con mayor influencia sobre la huella del carbono asociada a los portadores energéticos. Nótese que el valor medio de emisión exhibe un elevado coeficiente de variación (41,53 %), lo cual evidencia que el control sobre este aspecto ambiental no es eficaz, a la vez que sugiere la existencia de un potencial aún no explotado para contribuir al uso racional del combustible fósil a partir del cual se genera.

La obsolescencia de los equipos eléctricos del central, con más de 40 años de explotación en gran mayoría, si bien no influye directamente en el consumo energético, trae consigo frecuentes roturas y labores de mantenimiento, las que a su vez conducen a interrupciones del proceso productivo. Esta situación se agrava por el insuficiente suministro de partes, piezas y dispositivos eléctricos (bobinas, cables, contactos magnéticos, fusibles e interruptores) imprescindibles para el mantenimiento y reparación de dichos equipos. Téngase en cuenta que el consumo de dichos recursos fósiles no renovables constituye una de las cuatro fuentes principales de emisión de gases con efecto invernadero (Yoro & Daramola, 2020), fundamentalmente dióxido de

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN ORIGINAL

carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) y ozono troposférico (O₃). De ahí que su uso eficiente no solo representa un beneficio ambiental, por la disminución de dichas emisiones, sino que implica una reducción de los costos de producción. La contaminación del aire constituye hoy uno de los principales problemas ambientales del mundo debido a la quema indiscriminada de hidrocarburos para la producción de energía. Una posible solución pudiera ser la diversificación de la matriz energética a partir del fomento del uso de energías renovables (Hernández-Garcés et al., 2017). Al respecto, el Programa de Desarrollo de las Fuentes Nacionales de Energía, aprobado por la Asamblea Nacional del Poder Popular en 1993, considera que entre un 5 y 10 % del ahorro del consumo de portadores del país puede lograrse mediante el incremento de la eficiencia energética, fundamentalmente a través de medidas técnico-organizativas.

Dadas las restricciones económicas y las medidas de austeridad implementadas en Cuba, a diferentes escalas del quehacer socio-económico, las organizaciones empresariales poseen un Plan de Ahorro Energético, sometido a monitoreo y control sistemático por todos los niveles de dirección. Las medidas para disminuir el consumo de los portadores energéticos van encaminadas a elevar la disciplina tecnológica, introducir mejoras tecnológicas y técnico-organizativas, al aprovechamiento del vapor residual, la sustitución por combustibles económicamente más ventajosos, automatización de los controles, entre otras. Es obvio que el uso de fuentes renovables de energía constituye una alternativa viable para contribuir a disminuir el consumo de combustibles fósiles y con ello reducir la huella del carbono del sector (Ofarrill et al., 2016). A ello también contribuyen las siguientes acciones identificadas con el diagnóstico ambiental realizado a la UEB (Reinoso-Pérez, 2019) y que han sido contempladas en el Programa de Desarrollo hasta el 2030:

- ✓ El montaje de bancos de capacitores para disminuir el factor de potencia, a lo cual puede agregarse la sustitución de los motores eléctricos sobredimensionados que se encuentran subutilizados.

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

✓ La automatización progresiva de las plantas industriales, lo que redundará positivamente en el mejoramiento de la eficiencia energética y en la disminución de las averías y las paradas del proceso fabril. Específicamente en los centrales azucareros resulta altamente ventajoso la automatización de: (I) las esteras de los basculadores y sus cabinas de trabajo, (II) la alimentación, lubricación y dosificación de agua de imbibición de los molinos; (III) las válvulas de los túneles de inyección y rechazo, (IV) la centrifugación del azúcar, con la consiguiente reducción de la cantidad de centrífugas, (V) la limpieza de los tandems y (VI) alimentación de bagazo en los hornos de las calderas. La automatización también puede abarcar otras operaciones relacionadas con la generación de vapor, aun cuando en la actualidad se cuenta con una tecnología obsoleta.

Otras acciones como el mejoramiento de la infraestructura de mantenimiento eléctrico, la introducción del movimiento asistido o por reductores planetarios en los molinos, la sustitución de los transportadores de bagazo, conformados por tablillas con esteras, por conductores de bandas; y la eliminación del bombeo de rechazo mediante la elevación de los condensadores de los tachos, contribuirán a mejorar la eficiencia energética del ingenio.

Consumo de materiales no orgánicos (Alcance 3)

Las emisiones de CO₂ –eq provenientes del consumo de materiales no orgánicos asciende a 1537,20±209,27 t por lo que este aspecto ambiental ocupa el quinto lugar en importancia respecto a la contribución a la huella del carbono del central y está asociado a la ejecución de actividades de reparación y mantenimiento de la planta industrial y las edificaciones técnico-administrativas.

El proceso fabril del central se sustenta en el empleo de máquinas y herramientas industriales pesadas las cuales demandan en elevado consumo de productos básicos del hierro, acero y otros materiales no orgánicos, a lo largo de su ciclo de vida, desde la fabricación hasta la ejecución de las actividades de mantenimiento y reparación para garantizar su funcionamiento, situación que se agrava por el alto grado de obsolescencia tecnológica que caracteriza a la industria azucarera cubana (Hernández-

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

Touset et al., 2020) y particularmente a este central con más de 200 años de explotación. En adición, el proceso inversionista que anualmente ejecuta el central ha implicado un elevado consumo de cemento y otros áridos.

Consumo de biomasa como combustible (Alcance 1)

Este aspecto ambiental contempla tanto la biomasa leñosa (madera) como la no leñosa (bagazo). La primera se emplea en la generación de vapor en las calderas al inicio de la zafra y en la elaboración de alimentos, genera una media anual de $1115,36 \pm 47,89$ t CO_2 –eq por lo que es sexto aspecto ambiental que más influye en la huella del carbono. Por su parte, el bagazo constituye la materia prima fundamental para la generación de vapor y electricidad, desecho orgánico que de no ser empleado como fuente energética podría devenir un agente con elevado potencial contaminante para el medio ambiente, si no se le garantiza una disposición final ecoamigable. Dado que los insumos agrícolas empleados en la atención cultural (combustibles, fertilizantes, plaguicidas) y la mecanización de la caña forman parte del ciclo de vida del producto azúcar, el uso del bagazo no debe ser incluido en las emisiones de CO_2 por concepto de cogeneración de energía eléctrica. A ello se añade el hecho de que la biomasa se reproduce a la misma tasa de su utilización, por tanto, el flujo neto de CO_2 es cero (Blanco-Orozco, 2015). No obstante, durante la operación de las plantas de generación de energía eléctrica se originan emisiones hacia la atmósfera como resultado de la combustión incompleta, principalmente material particulado, monóxido de carbono, hollín, óxidos de nitrógeno, ácido clorhídrico, dióxido de azufre, compuestos orgánicos volátiles e hidrocarburos policíclicos aromáticos. Además, también pueden generarse dioxinas, furanos y metales pesados, compuestos que pueden destruirse con temperaturas superiores a 800°C Comisión Nacional de Energía de Chile (CNECh, 2007).

De lo anterior se infiere que el empleo del bagazo como combustible no puede catalogarse como una práctica totalmente limpia, aunque por su origen se considera una fuente energética renovable (Coronel-Regalado, 2020). La reducción de la combustión incompleta, la correcta manipulación y almacenamiento de la biomasa, el

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

control de su estequiometría y humedad, así como el manejo eficaz de las cenizas generadas, son alternativas que contribuyen a minimizar los impactos ambientales negativos (Blanco-Orozco, 2015).

Combustibles líquidos fósiles (Alcance 1)

El consumo de diésel y gasolina implica una emisión media anual de $444,67 \pm 37,64$ t CO₂ –eq. El empleo de este recurso fósil no renovable, cuya disponibilidad nacional depende en gran medida de importaciones, está determinado por el funcionamiento del parque automotor y la realización de operaciones tecnológicas. Las ligeras diferencias interanuales encontradas, con un coeficiente de variación del 8,47 %, obedecen a las disimilitudes existentes a escala temporal en cuanto a la cantidad, tipo, estado técnico y nivel de actividad de los equipos que emplean estos combustibles, lo cual coincide con lo reportado por Reinoso-Pérez (2019).

Consumo de agua (Alcance 3)

Asociado al consumo de agua se emiten como promedio $406,43 \pm 33,54$ t CO₂ –eq con un coeficiente de variación de 33,54 %. Esta alta variabilidad en las emisiones se debe, en gran medida, al descontrol existente en el uso de este recurso natural agotable. Aun cuando se han instalado flujómetros todavía no se garantiza un control estricto del consumo. Por otra parte, no se cuenta con suficientes depósitos elevados para garantizar el almacenamiento del agua y su distribución por gravedad hacia los procesos y actividades que la requieren, lo que trae consigo un sobreconsumo, no sólo de este recurso sino también de energía eléctrica, originado por el bombeo directo sin considerar la demanda real, e imposibilitándose la medición del gasto asociado a cada proceso o actividad (Reinoso-Pérez, 2019). La implementación de prácticas de producción más limpias contribuirá a reducir el consumo de este recurso natural (Ramos-Bell & Lorenzo-Acosta, 2017), para lo cual es imprescindible eliminar los escapes en grifos, válvulas y conductoras; instalar hidrómetros u otros sistemas de control en las diferentes fases del ciclo productivo; centralizar, presurizar y automatizar los sistemas de condensados, entre otras acciones.

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN ORIGINAL

Los restantes aspectos ambientales contemplados en la tabla 1 contribuyen en menor medida al incremento de la huella del carbono del central. Tanto éstos como aquellos no cuantificados no deben ser excluidos del programa de gestión ambiental y de los controles operacionales de la organización. La gestión integrada de todos determinará el mejoramiento continuo del desempeño ambiental, económico y social de la industria azucarera cubana.

CONCLUSIONES

Durante el proceso de fabricación de azúcar los aspectos ambientales relacionados con la generación de residuos biogénicos, las emisiones por soldadura autógena oxiacetilénica, el consumo de servicios y bienes intangibles, el consumo de energía eléctrica, de materiales no orgánicos, el consumo de biomasa leñosa, de combustibles fósiles y líquidos y del agua contribuyen de manera significativa al incremento de la huella ecológica de la comunidad donde se encuentra enclavado el central azucarero.

Para los tres años analizados, los aspectos ambientales cuantificados determinan en su conjunto una tasa media anual de $1,54 \pm 0,18$ t de CO₂-eq por cada tonelada de azúcar producida, de lo que se infiere, que la industria azucarera cubana contribuye de manera significativa al calentamiento global.

Se recomienda conducir estudios similares, a mayor escala: espacio-temporal, para corroborar la pertinencia de la estimación de la huella del carbono como indicador integrador de la sostenibilidad ambiental, económica y social de la industria azucarera en Cuba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blanco-Orozco, N. V. (2015). *Modelo de evaluación integral del recurso energético renovable biomasa como combustible sólido proveniente del bagazo de caña para la generación de energía eléctrica en Nicaragua*, (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de Costa Rica, San José, Costa Rica

Comisión Nacional de Energía de Chile (CNECh). (2007). *Guía para la evaluación ambiental de energías no renovables no convencionales*. Santiago de Chile, Chile. Recuperado de <http://www.giz.de/Themen/de/dokumente/sp-EIA-proyectos-debiomasa.pdf>

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN ORIGINAL

- Coronel-Regalado, E. K. (2020). *Evaluación del potencial energético de los residuos agrícolas de cosecha (RAC) de la caña de azúcar para generar energía eléctrica en la Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A.*, (Tesis de pregrado). Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo", Lambayeque, Perú.
- Doménech, J. L. (2010). *Huella ecológica y desarrollo sostenible*. Madrid, España: The Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR ediciones).
- Doménech, J. L., Carballo, A., Jiménez, L. & De La Cruz, J.L. (2010). Estándares 2010 de Huella de Carbono MC3. En *X Congreso Nacional de Medio Ambiente*. Madrid, España: Modulación anual con Nal Scintillators (ANAIS ediciones) por sus siglas en inglés. Recuperado de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=3554962&pid=S0718-0764201200010001800009&lng=es
- Geilfus, F. (2002). *80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Hashimoto, K. (2019). Global temperature and atmospheric carbon dioxide concentration. In K. Hashimoto (Ed.), *Global Carbon Dioxide Recycling: For Global Sustainable Development by Renewable Energy*. Singapore, City: Singapore: Springer.
- Hernández-Garcés, A., Reinoso-Valladares, M. & Hernández-Bilbao, F. (2017). Contaminantes atmosféricos emitidos por centrales azucareros cienfuegueros. *Universidad y Sociedad*, 9(5), 70-74.
- Hernández-Touset, J.P., Espinosa-Pedraja, R., Pérez-Pérez, C., García-Roque de Escobar, A. M. & García-González, I. A. (2020). Gestión energética de un central de azúcar crudo con uso del software STA 4.1. *Centro Azúcar*, 47(1), 77-89.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. In H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara. y K. Tanabe. Japan: (Eds). *Initial Graphics Exchange Specification (IGES)*.
- León-Martínez, T. S., Dopico-Ramírez, D., Triana-Hernández, O. & Medina-Estévez, M. (2013). Paja de la caña de azúcar. Sus usos en la actualidad. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 47(2), 13-22.
- Ofarrill, L. R., Morales-Jiménez, M. & La Rosa-Rivero, F. (2016) *Impacto medioambiental provocado por los centrales azucareros*. Recuperado de <https://www.googletagmanager.com/ns.html?id=GTM-WWXZ229>
- Pandey, D., Agrawal, M. & Pandey, J. (2010). Carbon footprint: current methods of estimation., *Environmental Monitoring and Assessment*, 178(1-4), 135-160.



ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN ORIGINAL

- Ramos-Bell, S. & Lorenzo-Acosta, Y. (2017). Acciones de Producción más Limpia para implementar en la industria azucarera cubana. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 51(1), 60-66.
- Reinosa-Valladares, M., Canciano-Fernández, J., Hernández-Garcés, A., Ordoñez-Sánchez, Y. C. & Figueroa-Beltrán, I. (2018). Huella de carbono en la industria azucarera. Caso de estudio. *Tecnología Química*, 38(2), 437-445.
- Reinoso-Pérez, M. (2019). *Actualización del Diagnóstico Ambiental de la Empresa Azucarera de Sancti Spiritus*. Proyecto de Subvención de la Fundación “Antonio Núñez Jiménez” de la Naturaleza y el Hombre. Informe Técnico, p. 78.
- Ríos, C. & Rincón, J. (2014). *Cálculo de la huella de carbono del proceso de cosecha de caña de azúcar*. (Tesis de Grado.) Universidad ICESI de Santiago de Cali, Colombia
Recuperado de https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/78831/1/TG01041.pdf
- Toro-Sánchez, F. J. (2011). *Crisis ecológica y geografía: Planteamientos y propuestas en torno al paradigma ecológico-ambiental*, (Tesis Doctoral). Universidad de Granada, España.
- Yoro, K. & Daramola, M. O. (2020). *CO₂ emission sources, greenhouse gases, and the global warming effect*. doi: 10.1016/B978-0-12-819657-1.00001-3
- Zampori, L. & Pant, R. (2019). *Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method, EUR 29682*. In *Publications Office of the European Union*. Luxembourg City, Luxembourg: doi: 10.2760/424613, JRC115959.

