

Estimación de la huella de carbono en la producción de vidrio en Cuba

Estimating the carbon footprint in producing glass in Cuba

Janet Canciano-Fernández^{1*}, Mirtha Reinoso-Valladares¹, Anel Hernández-Garcés²,
Madelin Núñez-Hernández¹, Lianet Ramírez-Díaz¹

¹Centro de Ingeniería e Investigaciones Químicas, La Habana, Cuba.

²Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba.

*Autor para la correspondencia: janet@ciq.cu

Resumen

La producción de vidrio es una de las categorías de las Guías del Panel Intergubernamental de Cambio Climático, dentro del módulo Procesos Industriales, lo que ha suscitado el compromiso de inventariar y controlar las emisiones de este sector. Entre las fuentes de emisión de CO₂ del proceso de fundición del vidrio se encuentran materias primas como la piedra caliza, la dolomita y la ceniza de sosa, así como el empleo de combustibles en el horno de fusión. El indicador huella de carbono se ha utilizado para evaluar el avance de la gestión medioambiental de esta industria. El objetivo de esta investigación fue estimar la huella de carbono en la producción de vidrio en Cuba. Como resultado, se obtuvieron las emisiones de CO₂ equivalentes asociadas a esta producción; las mayores contribuciones se reportaron dentro del alcance 1, relacionado por el consumo de combustible *fuel oil* en el horno de fusión. Se determina la huella de carbono para la producción de vidrio con un valor de 0,12 t CO₂ equivalente por tonelada de vidrio fundido.

Palabras clave: huella de carbono; producción de vidrio; emisiones de CO₂.

Abstract

One of the categories of Guidelines of the Intergovernmental Panel on Climate Change included in the Industrial Process module, is the glass production which has led the commitment to inventory and control emissions from this

sector. Sources of CO₂ emissions from the glass melting process include raw materials such as limestone, dolomite and soda ash, as well as the use of fuels in the melting furnace. The carbon footprint indicator has been used to evaluate the progress of the environmental management of this industry. The purpose of this research is to estimate the carbon footprint in glass production in Cuba; as a result, the equivalent CO₂ emissions associated with this production were obtained. Highest contributions were reported within Scope 1, related to the fuel oil consumption in the melting furnace. Carbon footprint for glass production was determined with a value of 0,12 t CO₂ equivalent per ton of molten glass.

Keywords: carbon footprint; glass production; CO₂ emissions.

1. INTRODUCCIÓN

La mayor parte del vidrio comercial está constituida casi enteramente de vidrio de cal sodada, el cual está compuesto de sílice, sosa y cal y de pequeñas cantidades de alúmina y otros álcalis y tierras alcalinas; además de algunos ingredientes menores. Las principales materias primas del vidrio que emiten CO₂ durante el proceso de fundición son la piedra caliza, la dolomita y la ceniza de sosa. Otra de las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero viene dada por el empleo de combustibles en el horno de fusión (ANFEVI 2012).

Es por ello que la producción de vidrio es una de las categorías de las Guías del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) dentro del módulo Procesos Industriales. Ello ha suscitado el compromiso de inventariar y controlar las emisiones de este sector (IPCC 2006).

El indicador Huella de Carbono (HC) se ha utilizado en este sentido y se presenta como una vía de cuantificación de la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), medidas en CO₂ equivalente, que son liberadas a la atmósfera debido a las actividades agroindustriales (Rojas-Ortíz y Concha-Peláez 2011; Reinoso-Valladares *et al.* 2018).

El origen de la huella de carbono proviene de los ambientalistas británicos, que comenzaron hace algún tiempo a adoptar el consumo preferencial de alimentos locales, por no incluir emisiones por transporte desde regiones lejanas. Consecuentemente, el término ha sido asumido por países como Alemania, Estados Unidos, Francia, Japón, Reino Unido; los cuales han logrado importantes avances en la definición y aplicación de metodologías orientadas al cálculo de la huella de carbono para incorporarla al etiquetado

y así poder contabilizar las emisiones y trabajar con sus proveedores para que estos las reduzcan (Schneider y Samaniego 2009).

En el caso de Cuba, Cuza y Garrido *et al.* (2015) calculan la huella de carbono en la Empresa Constructora de Obras de Ingeniería (ECOING 5) para portadores energéticos; una de las organizaciones mayores consumidoras de la capital por la actividad que realiza, además de ser altamente contaminante al medio ambiente. Los autores obtuvieron la carga contaminante por concepto de consumo de portadores energéticos, así como un plan de medidas para su disminución.

Por otra parte, Gavilán-Martínez y Reinoso-Pérez (2017) estiman la huella de carbono en el cultivo de la caña de azúcar en Villa Clara, utilizando como casos de estudios dos Cooperativas de Producción Agropecuaria. Para ello se cuantificaron los aspectos ambientales asociados a dicho cultivo. Concluyen que los sistemas de producción de las unidades productivas seleccionadas presentan un comportamiento similar en cuanto a la contribución de las mismas al calentamiento global.

Posteriormente, Reinoso-Valladares y demás colaboradores (2018) cuantifican este indicador para el central azucarero Argeo Martínez, de la provincia de Guantánamo, y alcanzan resultados similares de HC comparados con los calculados por otros países y regiones para este sector.

La Empresa Vidrios Lisa es la única productora de vidrio en Cuba. Entre sus principales surtidos se encuentran vasos, copas, ceniceros, ornamentos, jarras y dulceras (Barroso-Gaínza 2014). Esta industria se caracteriza, de manera general, por la prevalencia de tecnología obsoleta, lo que conlleva elevados consumos de combustibles fósiles y portadores energéticos, con una marcada incidencia negativa en la eficiencia de los procesos, y por ende, al incremento de los GEI. En este sentido, la determinación de la huella de carbono puede resultar en la práctica un instrumento clave en la reducción de estas emisiones. El objetivo de esta investigación fue estimar la huella de carbono en la producción de vidrio en Cuba, sobre la base de las actuales condiciones de este sector.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

De manera general, la Figura 1 muestra los pasos y las secuencias empleados en la determinación de la huella de carbono para la producción de vidrio en Cuba.

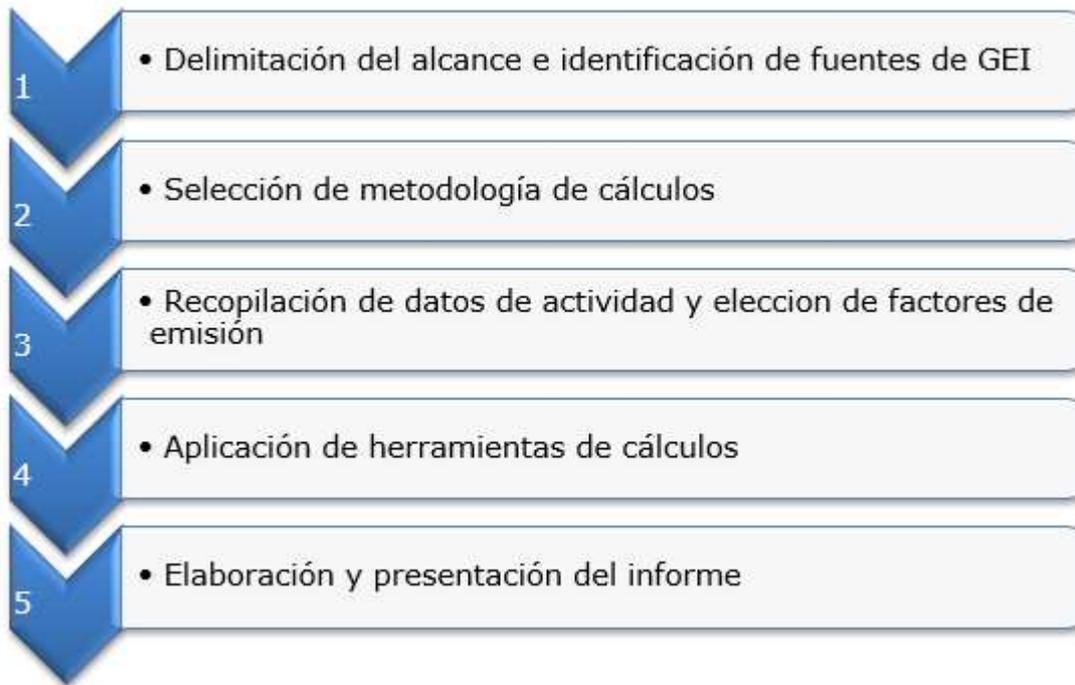


Figura 1. Diagrama del cálculo de la huella de carbono para la producción de vidrio.

2.1. Delimitación del alcance

- **Emisiones de alcance 1:** Las emisiones asociadas a la descomposición de los carbonatos y las emitidas en el horno de fusión.
- **Emisiones de alcance 2:** Los GEI asociados al consumo eléctrico.

Se consultaron los datos de actividad relacionados con los consumos de materias primas, electricidad y combustible de los últimos cinco años, fijándose el 2017 como año base al disponerse de la mayor cantidad de informaciones con respecto a los otros periodos. Debe existir un año base contra el cual se puedan comparar las emisiones actuales, cuya elección constituye el primer paso del seguimiento del desempeño y que será aquel para el que exista información confiable. Se selecciona como indicador de HC la relación entre la cantidad total de GEI y el total en toneladas de vidrio fundido.

2.2. Metodologías empleadas

Se consultaron las siguientes metodologías para realizar el inventario de GEI de la producción de vidrio:

- Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de GEI.

- *International Sustainability and Carbon Certification ISCC 205 (2011)*. Metodología para el cálculo de emisiones de GEI y auditoría de GEI.

2.2.1. Factores de emisiones vinculadas con la descomposición de los carbonatos

Durante la producción de vidrio se emite CO₂, por tanto, constituye una categoría de fuente de gases de efecto invernadero (GEI). En la práctica, los fabricantes de vidrio no producen vidrio solo a partir de materias primas, sino que algunos emplean una cierta cantidad de chatarra de vidrio reciclada (o *cullet*, del inglés). La mayoría de las operaciones utilizan la mayor cantidad de cullet que se pueda obtener, lo que induce a veces restricciones en los requisitos de calidad del vidrio. La proporción de cullet (la fracción de la carga del horno representada por el cullet) se sitúa en el intervalo de 0,4 a 0,6 para las aplicaciones en la fabricación de recipientes, que constituye el grueso de la producción de vidrio.

Para todas las categorías de fuentes de GEI se pueden estimar las emisiones por métodos de nivel 1, 2 o 3 en orden ascendente de complejidad, precisión y disminución de incertidumbres.

En este trabajo se empleó el método de nivel 3, relacionado con las materias primas carbonatadas en el horno de fundición. En la Tabla 1 se presentan los factores de emisión para la estimación de estas emisiones.

Tabla 1. Fórmulas, pesos moleculares de fórmula, y contenido de CO₂ de las especies comunes de carbonatos

Carbonatos	Nombre del (o los) minerales	Peso molecular de fórmula	Factor de emisión (toneladas de CO ₂ /toneladas de carbonato)*
CaCO ₃	Calcita o aragonita	100,0869	0,43971
Na ₂ CO ₃	Carbonato de sodio o ceniza de sosa	106,0685	0,41492

Fuente: Lide (2004)

* Fracción de CO₂ emitida, suponiendo una calcinación al 100 %.

No obstante, tal como se establece en la Guía, en el epígrafe Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), si se estiman las emisiones mediante este procedimiento, los resultados pueden compararse con los del nivel 2 para ver si poseen un orden de magnitud similar. En este sentido, se calcularon las emisiones con la utilización del método de nivel 2 (IPCC 2006).

Se debe aclarar que, para el cálculo de la huella de carbono en la producción de vidrio, se incluirán dentro del alcance 1 las determinadas por el nivel 3. Cuando estas estimaciones se basan en las entradas de carbonatos, la incertidumbre del factor de emisión (1 % a 3 %) es relativamente baja, pues el factor de emisión depende del cociente estequiométrico.

Por otra parte, puede existir cierta incertidumbre (1 %) asociada a la hipótesis de que la calcinación de los carbonatos en las entradas es del 100 %. Sin embargo, aunque no se logre la total calcinación, estas en la práctica, en términos de emisiones, no resultan significativas (IPCC 2006).

2.2.2. Factores de emisiones empleados para el cálculo del resto de las emisiones

Las emisiones de CO₂ asociadas a los procesos de combustión se calculan mediante la aplicación de la siguiente fórmula a cada uno de los combustibles empleados y sumando las emisiones debidas a todos los combustibles (Generalitat Valenciana 2019).

$$Eac_{CO_2} = CC \cdot PCI \cdot FE \cdot FO \quad (1)$$

Donde:

Eac(CO₂): Emisiones de CO₂ asociadas a combustión

CC: Consumo de combustible

PCI: Poder calorífico inferior

FE: Factor de emisión

FO: Factor de oxidación

Los factores de oxidación por defecto recogidos en las metodologías del IPCC asumen un valor de 1 para todos los combustibles (IPCC 2006). La Tabla 2 registra los factores de emisión y las propiedades físicas necesarias para el cálculo de las emisiones de CO₂ equivalentes asociados al empleo de combustibles. En la ecuación antes mencionada se sustituyen los valores correspondientes para cada uno de los combustibles empleados reportados en la tabla. Para el consumo eléctrico se empleó el factor de emisión de 0,176 kgCO₂e/kWh, reportado por la Agencia Internacional de Energía (Leal 2015).

Tabla 2. Factores de emisión y propiedades físicas de combustibles

Combustible	Densidad (kg/m³)	Factor de emisión kgCO₂/GJ_{PCI}	Poder calórico inferior (PCI) GJ/t
Fuel oil	980	77,4	40,4
Aceites usados	910	73,4	40,2
Gas natural	743	56,0	48,0

Fuente: IPCC 2006.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados del cálculo de las emisiones dentro del alcance 1

3.1.1. Emisiones asociadas a la descomposición de los carbonatos

La Tabla 3 reporta las toneladas de CO₂ equivalente asociados al consumo de materias primas carbonatadas de 2017. Se debe aclarar que, aunque en la producción de vidrio se emplean otras materias primas, las principales que emiten CO₂ durante el proceso de fundición son: la piedra caliza de la cual proviene la calcita (CaCO₃), la dolomita [CaMg(CO₃)₂] y la ceniza de sosa (Na₂CO₃). Estos materiales, allí donde se extraen como carbonatos minerales para ser utilizados en la industria del vidrio, representan una producción primaria de CO₂ y deben incluirse en las estimaciones de emisiones (IPCC 2006).

En el caso de los materiales carbonatados derivados de la carbonización de un hidróxido no producen emisiones netas de CO₂ y no deben incluirse en las estimaciones de emisiones, como el hidróxido de aluminio (IPCC 2006).

Tabla 3. Toneladas de CO₂ equivalente vinculadas con la descarbonatación de las materias primas

Materias Primas	UM	Cantidad	Fuente	Toneladas de CO₂ equivalentes
CaCO ₃	t	65,33	Producción nacional Tapaste	28,73
Na ₂ CO ₃	t	47,03	China	19,51
		Total		48,24

A partir de los datos de consumo de materias primas de 2017 y las toneladas de vidrio roto blanco se calculó el porcentaje de cullet, obteniéndose un valor de 54,66 %.

Las emisiones de CO₂ resultantes del empleo del método 2 arrojaron un valor de 47,97 de CO₂ equivalentes, cercano al obtenido por el nivel 3.

3.1.2. Emisiones asociadas al horno de fusión de vidrio

En la Empresa Vidrios Lisa se utilizan hornos artesanales construidos con ladrillos refractarios (Figura 2), para fundir y realizar el soplado del vidrio (Barroso-Gáinza 2014). Los datos de los consumos de combustible y las cantidades de CO₂ resultantes se reportan en la Tabla 4.



Figura 2. Horno de fusión C. Fuente: Barroso-Gáinza (2014).

Tabla 4. Emisiones de CO₂ asociadas al horno de fusión de vidrio

Combustible	Consumo (miles de litros)	Toneladas de CO ₂
Fuel oil	857,16	2 627
Aceites usados	202,52	544
Total		3 171

La mayor cantidad de emisiones viene dada por el empleo del fuel oil como combustible en el horno de fusión de vidrio. Los aceites son empleados en menor medida como combustible, sobre la base que constituyen una mezcla de hidrocarburos logrados por destilación de crudos de petróleo, o por

síntesis, a partir de productos petroquímicos que se encuentran degradados y contaminados por lodos, metales y agua.

Por otra parte, aunque con el aceite usado se logra una disminución de la cantidad de emisiones si se compara con las obtenidas con el empleo del fuel oil, se debe tener en cuenta que este contamina el aire cuando es quemado; además del CO₂, se emiten metales pesados y otras sustancias tóxicas producto de la combustión incompleta.

3.2. Resultados del cálculo de las emisiones dentro del alcance 2

Las emisiones dentro de este alcance están vinculadas con el consumo de gas y la electricidad. El consumo eléctrico de 2017 emitió una cantidad de 260,32 t de CO₂. En esta industria el consumo de gas está dado durante la etapa de recocido y en la cocina comedor. Definir lo que se consume en cada uno de estos procesos no fue posible determinarlo en el presente trabajo, es por ello que se incluyen estas emisiones dentro del alcance 2. Las emisiones asociadas al consumo del gas natural fueron de 804,46 t de CO₂, para un consumo de 402,79 ml.

3.3. Resultados de la estimación de la huella de carbono en la producción de vidrio

A continuación, se resumen las cantidades de CO₂ equivalentes (Tabla 5). Las mayores emisiones se encuentran dentro del alcance 1, representando el 75 % del total de emisiones. El menor aporte viene dado por el consumo de materias primas carbonatadas, las cuales constituyen solamente el 1,52 %.

Tabla 5. Emisiones de CO₂ equivalentes

Alcance	Toneladas de CO₂ equivalentes
Alcance 1	3 219,24
Alcance 2	1 064,78
Total	4 284,02

A partir de los resultados anteriores se estimó la huella de carbono para la producción de vidrio, la cual arrojó un valor de 0,12 t CO₂equivalente/t de vidrio fundido. Al compararse los resultados de un análisis realizado por la Sección de Vidrios de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrios (SECV) y VIDRIOESPAÑA (Tabla 6) con los obtenidos en el presente trabajo, se puede observar que el aporte de las emisiones producto de la descarbonatación de las materias primas es mucho mayor que en la industria del vidrio cubana,

no siendo así con respecto al consumo de combustible. Sin embargo, la huella de carbono de la producción de vidrio en Cuba es menor que la reportada en España.

Tabla 6. Análisis del Sector Vidrio en España

	Unidades	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Vidrio fundido	t	2493960	2471383	2445055	2223449	2298681	2423294
Emisiones de CO ₂							
Descarbonatación	t CO ₂	275643	277317	260927	235818	223554	277317
Combustibles	t CO ₂	772293	772477	748512	688549	705248	772477
Total	t CO ₂	1047936	1049795	1009439	924367	928803	977801
Emisiones específicas	tCO ₂ /tV ^{of}	0,4202	0,4248	0,4128	0,4157	0,4041	0,4035

Fuente: ANFEVI (2012).

Los resultados alcanzados en esta investigación resultan en la práctica de gran importancia al disponer de una línea de base del sector que permita monitorear los avances en la aplicación de acciones orientada a la eficiencia energética, tecnologías limpias, lo que facilitará la toma de decisiones en aras de contribuir a la sostenibilidad de esta industria.

Esta cuantificación permitirá, además, ser conscientes del impacto que genera la producción de vidrio en Cuba en el calentamiento global, convirtiéndose de esta manera la huella de carbono en una herramienta de sensibilización de gran valor que puede ser extendido al resto de las industrias químicas del país.

Por otro lado, es preciso comprender la huella de carbono no solo como un simple elemento de cálculo, sino como un primer paso en el camino de la mejora y el compromiso de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero como parte de la lucha contra el cambio climático.

En este marco, los sectores empresariales y productivos se enfrentan a nuevos desafíos y paradigmas en los que se incorpora en la gestión de las economías, nuevas oportunidades derivadas de enfrentar este fenómeno climático, como la denominada economía baja en carbono; entendida como aquella que busca mitigar las emisiones de gases contaminantes en cuanto se genera actividad productiva amigable con el clima.

Las últimas décadas han demostrado que no es posible continuar con la intensidad del consumo energético y de minerales fósiles con la que avanza el planeta al día de hoy, sino la necesidad de transitar a nivel global hacia una economía más baja en carbono y, por tanto, un modelo más eficiente y

sostenible (Uliarte *et al.* 2012). Estudios llevados a cabo en España por las autoras Cámara y Martínez (2017) estiman el impacto económico, social y ambiental que tendría la transición hacia un modelo energético con bajas emisiones de carbono en el horizonte temporal del año 2030.

Si bien es cierto que la contribución de Cuba a las emisiones globales de gases de efecto invernadero es mínima, y no superan el 0,08 %, conforme a los inventarios más recientes. En el país se ha realizado un esfuerzo importante en la conducción de programas que conllevan a la reducción de las mismas, en correspondencia con las circunstancias nacionales y con los recursos financieros y tecnológicos disponibles, dirigidos a la modernización y el desarrollo tecnológico sobre bases de sostenibilidad (CEPAL 2020).

Teniendo en cuenta lo anterior, las medidas que, como consecuencia, se deriven del análisis de la determinación del indicador de huella de carbono en la producción de vidrio en Cuba, deben estar orientadas a la disminución de las emisiones generadas en el horno de fusión; evaluándose alternativas de empleo de combustibles bajo en carbono y en un programa de mantenimiento tecnológico que incremente la eficiencia de los procesos productivos.

4. CONCLUSIONES

- Se evalúan las emisiones de CO₂ equivalentes asociados a la producción de vidrio. Las mayores emisiones se encuentran dentro del alcance 1, representando el 75 % del total. El mayor aporte dentro de este alcance viene dado por el consumo de combustible, principalmente por el empleo del fue oil en el horno de fusión.
- Se estima la huella de carbono para la producción de vidrio la cual arroja un valor de 0,12t CO₂equivalente/t de vidrio fundido; valor inferior al reportado en España.
- Se obtiene una línea base de emisiones que permitirá trazar metas y estrategias dirigida a la mitigación de los gases de efecto invernadero como una oportunidad de desarrollo para esta industria cubana.

5. REFERENCIAS

Asociación Nacional de Fabricantes de Envases de Vidrio (ANFEVI). 2012: Medio ambiente e industria del vidrio. Análisis del BREF. Consulta: 18/7/19. Disponible en: www.anfevi.com/wp-content/.../medio-ambiente-e-industria-del-vidrio-analisis.pdf.

Barroso-Gáinza, D. 2014: *Impacto ambiental de los contaminantes líquidos y atmosféricos en la Empresa vidrios Lisa*. M. Sc. Mirtha Reinosa Valladares,

- Liliette Barcelona Cazanave (Tutoras). Trabajo de diploma. Universidad Tecnológica de La Habana. 53 p.
- Cámara, Á. y Martínez, M. I. 2017: Hacia una economía baja en carbono: objetivos para 2030 en energías renovables. *Regional and Sectoral Economic Studies*, 17(2): 103-120.
- CEPAL. 2020: Informe de la Segunda Reunión de Trabajo de la red para la Implementación de la Agenda 2030 y el seguimiento a los Objetivos de Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe. Consulta: 25/05/2019. Disponible en: http://foroalc2030.cepal.org/2019/sites/foro2019/files/informe_nacional_voluntario_de_cuba_sobre_implementacion_de_la_agenda_2030.pdf.
- Cuza, R. M. C. y Garrido, E. V. 2015: Cálculo de la huella ecológica en la Ecoing 5 para portadores energéticos. *Ecosolar*, 52: 49-62.
- Gavilán-Martínez, E. y Reinoso-Pérez, M. 2017: Estimación cuantitativa de la huella del carbono en el cultivo de la caña de azúcar en Villa Clara. *Centro Agrícola*, 44(1): 71-79.
- Generalitat Valenciana. 2019: Aclaración sobre los factores de emisión y factores de oxidación. Consulta: 18/07/2019. Disponible en: www.agroambient.gva.es/.../Aclaración+sobre...factores...emisión...oxidación/7a5ed3.
- International Sustainability et Carbon Certification (ISCC 205). 2011: Metodología para el cálculo de emisiones de GEI y auditoría de GEI. Consulta: 18/07/2019. Disponible en: <https://silo.tips/download/metodologia-para-el-calculo-de-emisiones-de-gei-y-auditoria-de-gei>
- Leal, J. C. 2015: Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa. Consulta: 18/07/19. Disponible en: https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/informe_gei/6_anexo_3Factores_Emision_Herramienta_Inventario_GEI_EAB_2014.pdf
- Lide, D. R. 2004: *CRC handbook of chemistry and physics*. 85th ed. Washington D.C.: CRC Press.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). 2006: Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de GEI.
- Reinosa-Valladares, M.; Canciano-Fernández, J.; Hernández-Garcés, A.; Ordoñez-Sánchez, Y. C. y Figueroa-Beltrán, I. 2018: Huella de carbono en la industria azucarera. Caso de estudio. *Tecnología Química*, 38(2): 437-445.
- Rojas-Ortiz, J. L. y Concha-Peláez, A. M. 2011: *Diseño de experimento para el cálculo teórico de emisiones de CO₂ generadas por cuatro tipos de*

preparación del suelo para un cultivo de caña de azúcar. MSc. Andrés López Astudillo (Tutor). Tesis de maestría. Universidad ICESI. Colombia. 91 p.

Schneider, H. y Samaniego, J. 2009: La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Documento de proyecto. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Uliarte, I. M.; López, D.; Pelegry, E. A. y Landín, J. L. 2012: Hacia una economía con menos emisiones de GEI: Análisis de la experiencia internacional. En: *Hacia una economía baja en carbono: experiencias internacionales*. Marcial Pons Ediciones Jurídicas y Sociales, S. A. ISBN 978-84-9768-963-2. 69 p.

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

JCF: Análisis de los resultados. Redacción del manuscrito. MRV: Redacción y análisis de los resultados. Revisión y aprobación de la versión final. AHG: Experimentación. Revisión y aprobación de la versión final. MNH: Experimentación y cálculos. Revisión y aprobación de la versión final. LRD: Experimentación y cálculos. Revisión y aprobación de la versión final.

ORCID

JCF, <https://orcid.org/0000-0002-8600-6643>

MRV, <https://orcid.org/0000-0001-6614-6895>

AHG, <https://orcid.org/0000-0002-3666-1746>

MNH, <https://orcid.org/0000-0003-0032-207X>

LRD, <https://orcid.org/0000-0002-6698-4386>

Recibido: 12/11/2019

Aceptado: 07/09/2020