

Determinación de la huella de carbono en una cantera del municipio de Gibara

Carbon footprint measuring in a quarry from Gibara municipality

Gianna Banesa Moya-Rivera^{1*}, Luis Alberto Ramírez-Meléndez¹

¹Universidad de Moa, Holguín, Cuba.

*Autor para la correspondencia: gmrivera@ismm.edu.cu

Resumen

La huella de carbono es un indicador ambiental que pretende describir el impacto que por emisión de gases de efecto invernadero, fundamentalmente CO₂, tiene una empresa u organización sobre la atmósfera y, por consiguiente, sobre el calentamiento global y el cambio climático. El propósito de este trabajo fue determinar la huella de carbono en la cantera *Molino Doscientosmil* del municipio holguinero de Gibara, a fin de elaborar, a partir de este indicador, un conjunto de medidas que consigan reducir las emisiones nocivas a la atmósfera. Utilizando la metodología del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero se calculó que la huella de carbono de la cantera fue, para el alcance 1, de 84 932,445 tCO₂eq. Igualmente se identificó que los principales focos de emisión de gases en la cantera son el combustible Diésel utilizado por los equipos de arranque, carga y transporte y la energía consumida del Sistema Electroenergético Nacional. El mantenimiento periódico de los equipos para un funcionamiento eficiente, la reforestación de áreas minadas y la implementación de fuentes de energía renovable contribuirían a disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera y, por ende, la huella de carbono.

Palabra clave: huella de carbono, canteras, cambio climático, gases de efecto invernadero

Abstract

The carbon footprint is an environmental indicator that aims to describe the impact that a company or organization has on the atmosphere, and therefore on global warming and climate change, by emitting greenhouse gases, mainly CO₂. The purpose of this work was to determine the carbon footprint at the *Molino Doscientosmil* quarry in the municipality of Gibara, Holguín, in order to develop a set of measures based on this indicator that will reduce harmful

emissions into the atmosphere. Using the Greenhouse Gas Protocol methodology, the quarry's carbon footprint for scope 1 was calculated to be 84 932,445 tCO₂eq. It was also identified that the main sources of gas emission in the quarry are the diesel fuel used by the start-up, loading and transport equipment and the energy consumed by the National Electro energetic System. Regular maintenance of equipment for efficient operation, reforestation of mined areas and the deployment of renewable energy sources would help to reduce CO₂ emissions into the atmosphere and thus the carbon footprint.

Keywords: carbon footprint, quarries, climate change, greenhouse gases

1. INTRODUCCIÓN

La huella de carbono (en lo adelante HC) se define como el conjunto de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), liberadas a la atmósfera como resultado de las actividades humanas (Colán, 2019; Belaunde, 2021). Este indicador ambiental mide el conjunto de emisiones de GEI producidas de modo directo o indirecto por un individuo, organización, empresa, evento o producto.

El valor de la medición de la HC se reporta en términos de CO₂ equivalente por ser este el GEI más abundante y de efecto más penetrante y duradero en la atmósfera. La HC es ampliamente utilizada como el principal indicador de impacto ambiental de empresas e instituciones, aunque también se contempla como una de varias categorías dentro de otros instrumentos de estudio de impacto ambiental más amplios como el Análisis de Ciclo de Vida.

Existe una relación directa entre el aumento de las emisiones de GEI y el calentamiento global, y la contribución de cada actividad a este último se conoce a través de la HC porque solo se puede actuar sobre lo que se ha medido previamente (Ponce & Rodríguez, 2016). Todos los productos que se consumen y los servicios que se prestan tienen un impacto sobre el clima y producen GEI durante su producción, transporte, almacenamiento, uso y disposición final (Valderrama *et al.*, 2011; Huarsaya, 2024). Para cuantificar la HC debe aplicarse un determinado protocolo de estimación y contabilidad de emisiones de GEI (De Catalunya, 2011).

En general, la HC de una empresa u organización es un término que pretende describir el impacto total que esa organización tiene sobre el clima y, por consiguiente, sobre el cambio climático, a raíz de la emisión de GEI a la atmósfera. De acuerdo con la Convención Marco sobre Cambio Climático, este se entiende como una variación del clima atribuida directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y

que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos comparables.

Por otro lado, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (*IPCC*, por sus siglas en inglés) define el cambio climático como cualquier cambio en el clima con el tiempo, debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas. Las estrategias fundamentales en el enfrentamiento al cambio climático son la mitigación y la adaptación (CITMA, 2017).

La agenda 2030 en el Objetivo 13 (acción por el clima) hace un llamado de urgencia para tomar acciones que logren mitigar el cambio climático y sus impactos. Para cumplir con este objetivo, los países adoptaron el Acuerdo de París (2015), que busca limitar el aumento de la temperatura global por debajo de los 2 °C.

En Cuba se establece la Tarea Vida como el Plan del Estado para el enfrentamiento al cambio climático, una estrategia integral aprobada en 2017 para lograr un desarrollo resiliente y bajo en emisiones. Se enfoca en la adaptación a los impactos del cambio climático y la mitigación de gases de efecto invernadero, priorizando 73 municipios vulnerables, especialmente en zonas costeras, para proteger la vida humana y asegurar la calidad de vida en un clima cambiante.

La medición de la HC constituye un paso básico en el tratamiento del tema del cambio climático, de ahí la importancia de su incorporación a las bases de información. A este respecto se han realizado, por parte de investigadores cubanos (Elier, 2017; Fernández, 2020; Fernández, 2021), algunos trabajos de cálculo de HC en el sector agrícola, la industria azucarera, la papelera, la del vidrio, entre otras. En este sentido, la industria de materiales para la construcción ha considerado la necesidad de calcular la HC en la industria minera, en relación con la explotación de canteras en el territorio nacional.

Relacionado a la HC en la industria minera en Cuba se conocen pocas publicaciones. Se tienen como referencia los trabajos realizados en la Universidad de Moa (Fernández, 2021; Castillo, 2023 y Laugart, 2023). El objetivo de la investigación que aquí se reporta fue calcular la huella de carbono en la cantera *Molino Doscientosmil* del municipio holguinero de Gibara, mediante la metodología del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, a fin de proponer una serie de medidas que consigan reducir estas emisiones nocivas a la atmósfera.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La HC fue calculada para la cantera *Molino Doscientosmil*, ubicada en el municipio de Gibara, provincia de Holguín, a unos 10 km al suroeste de la ciudad que da nombre al municipio y a 3,5 km de la carretera Holguín-Gibara. La cantera se localiza en el Consejo Popular de Bocas, ocupando su parte noreste.

El relieve donde está situada la cantera es generalmente llano, bordeado por el río Cacoyuguin y rodeada por las alturas de Cupeycillo-Candelaria (Velasco). Se ubica en los 21,0746631°N y 76,217541°W (Figura 1) y está constituida por rocas del Cretácico. Estas unidades geológicas son ricas en rocas calizas sedimentarias como las margas, y contienen además serpentinitas, lo que hace que en ella se localicen importantes canteras para la extracción de estos materiales para la construcción.



Figura 1. Ubicación de la Cantera *Molino Doscientosmil*. Fuente: Jandira (2016).

Se conocen cuatro metodologías principales para el cálculo de la HC (Valderrama *et al.*, 2011), a saber: Protocolo de GEI, Balance de Carbono, PAS 2060:2010 y el Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3).

La metodología Protocolo de GEI (*GHG Protocol*) es la más empleada en la actualidad para el cómputo de la HC, especialmente de empresas (Figura 2) y se adapta a los objetivos de la presente investigación; se basa en dos estándares:

- ✓ Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte del Protocolo de GEI: Guía para las empresas interesadas en reportar y calcular sus emisiones de GEI.

- ✓ Estándar de Cuantificación de Proyectos del Protocolo de GEI: Guía centrada en la reducción de emisiones de GEI para proyectos específicos.

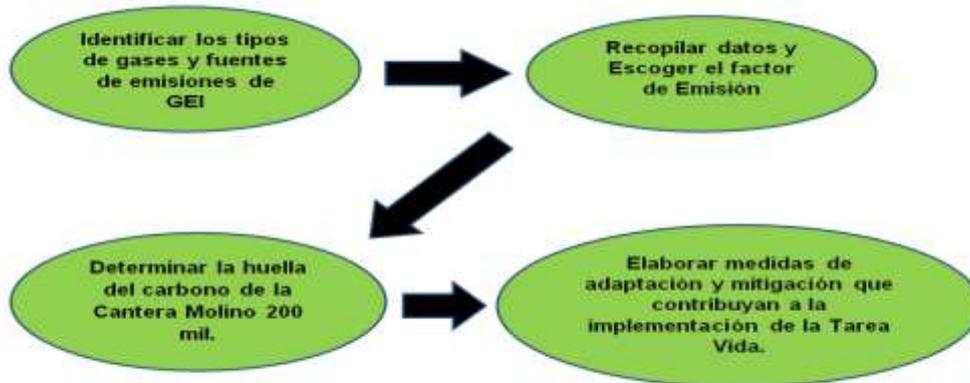


Figura 2. Descripción de la metodología Protocolo de GEI.

La metodología aplicada consta de cuatro etapas que se describen a continuación:

Etapas 1. Identificación de los tipos de gases y fuentes de emisión

➤ **Tipos de gases**

Los GEI son componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales y antrópicos, que absorben y emiten radiación en ciertas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre, la atmósfera y las nubes. Los principales GEI de la atmósfera de la tierra son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃).

➤ **Fuentes de emisión**

1. Determinación de los límites organizacionales

Permite a la empresa escoger el enfoque que desea seguir, estos pueden ser: **enfoque de participación accionarial**: según la proporción que la empresa posee en la estructura; y **enfoque de control**: se realiza sobre los procesos en los cuales la empresa tiene control.

2. Determinación de los límites operacionales. En este paso se diferencian y clasifican las emisiones de las operaciones directas e indirectas basadas en los tres alcances, siendo la organización o empresa la que defina si es necesario o no incluir el tercer alcance dentro de su informe de GEI.

- **Establecimiento del año base:** se debe fijar un año base frente al cual realizar comparaciones con las actuales emisiones calculadas con el fin de visualizar su evolución.
- **Fuentes directas:** emisiones de GEI que provienen de fuentes que son propiedad de la empresa o son controladas, tal como, el consumo de combustibles fósiles en fuentes fijas o móviles. Estas fuentes se categorizan como alcance 1.
 - o **Combustión fija:** combustión de combustibles en equipos estacionarios o fijos.
 - o **Combustión móvil:** combustión de combustibles en medios de transporte.
- **Fuentes indirectas:** las emisiones indirectas de GEI asociadas con la generación de electricidad, calor o vapor que la organización compra o consume. Esto abarca las emisiones generadas en plantas de generación de energía externas que suministran electricidad a la organización. Estas fuentes se categorizan como alcance 2.

Etapa 2. Consideraciones metodológicas para la recolección de datos de entrada

Los datos de entrada son la información que proporciona manualmente el usuario y que es utilizada para llevar a cabo procesos analíticos, con el fin de entregar resultados de dichos análisis (datos de salida).

En el desarrollo de la herramienta se identifican como datos de entrada el consumo de combustible y energía eléctrica, el tipo de combustible empleado, el periodo de cálculo, el número de equipos y la propiedad de los equipos, y como resultado de su procesamiento se obtendrán la huella de carbono corporativa, acciones de adaptación y mitigación (Figura 3). El objetivo de esta fase es establecer las consideraciones y requerimientos necesarios para la recolección de datos de entrada que en su totalidad serán suministrados por las entidades para cálculo de emisiones de GEI.

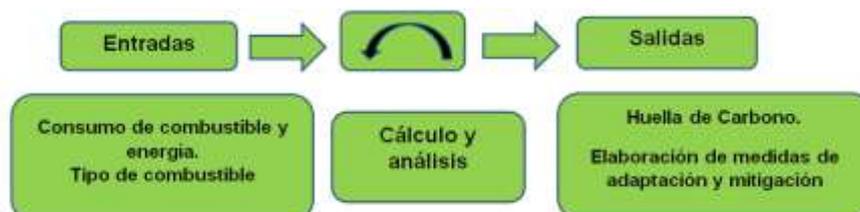


Figura 3. Recolección de los datos de entrada para el cálculo de emisiones de GEI.

Etapa 3. Selección de la metodología de cuantificación de los GEI

La fórmula (1) permite calcular las emisiones de GEI para el alcance 1, mientras que para el alcance 2 se utiliza la fórmula (2):

$$Emisiones = CC \times \rho_{Combustible} \times FE_{CO_2} \quad (1)$$

Dónde:

Emisiones: emisiones generadas de GEI, tCO₂eq

CC: cantidad de combustible consumido anual

$\rho_{combustible}$: densidad de combustible kg/l

FE_{CO_2} : Factor de emisión de CO₂

$$Emisiones(tCO_2eq) = Consumo de energía Mw \times 0,5475tCO_2/Mw \quad (2)$$

Dónde:

Emisiones (tCO₂eq): emisiones resultantes del consumo de energía de la cantera *Molino Doscientosmil*

Consumo de energía Mw: consumo de energía reportado en la cantera *Molino Doscientosmil*

0,5475tCO₂/Mw: factor de emisión de CO₂

El factor de emisión posibilita la estimación de emisiones de GEI mediante los datos de la actividad (tal como toneladas de combustible consumido, MW consumidos) y el total de emisiones de GEI.

Etapa 4. Elaboración de medidas de adaptación y mitigación que contribuyan a la implementación de la Tarea Vida

Para elaborar las medidas que permitan reducir las emisiones de CO₂ en la cantera *Molino Doscientosmil*, se siguió lo establecido en el protocolo para calcular la HC, que considera, de forma general, los siguientes pasos:

- Identificar las fuentes principales de emisiones
- Establecer objetivos de reducción de emisiones
- Implementar mejoras en eficiencia energética
- Promover el uso de energías renovables
- Optimizar el transporte y la logística

- Fomentar la reforestación y la restauración ecológica
- Educación y compromiso del personal.

3. RESULTADOS

3.1. Identificación de gases y fuentes de emisión

Las siguientes tablas recogen la información derivada de la Etapa 1, como son los GEI identificados (Tabla 1) y las principales fuentes de emisión directa (Tabla 2). Las emisiones de GEI provienen de fuentes directas móviles que son propiedad y controladas por la cantera. En las fuentes indirectas se encuentra el consumo de energía eléctrica del Sistema Electroenergético Nacional, que en el año 2023 fue de 534,34 MW.

Tabla 1. GEI examinado en este inventario

Gas de Efecto Invernadero – GEI	Definiciones	Fuente de emisión	Emisiones
Dióxido de carbono CO ₂	Se produce durante la combustión de combustibles fósiles (Diésel)	Desarrollo de labores mineras	Directas Alcance 1
	Se produce durante la generación de electricidad	Sistema Electroenergético Nacional	Indirectas Alcance 2

Tabla 2. Equipamiento utilizado en la cantera

Equipos	Cant.	Combustible	Marca	Capacidad (m ³)	Capacidad (t)	Índice de Consumo (L/h)
Cargadores sobre neumáticos	2	Diésel	LIUGONG	4,2		25,00
			SHANTUI	3,0		15,00
Camión fuera de camino	4	Diésel	SINOTRUK		40	12,00
			B-OTROS		23	15,00
			B-OTROS		23	17,00
			HOVA 60		20	13,00
Retro-excavadora sobre esteras	1	Diésel	KRANEKS	1,9		22,0
Bulldozer de esteras	1	Diésel	KOMATSU			22,22

3.2. Huella del carbono de la cantera Molino *Doscientosmil*

3.2.1. Alcance 1 (emisiones directas)

En primera instancia, se realizó la identificación del tipo de fuente (móvil), para establecer la correspondencia de los parámetros de conversión, luego se realizó la recolección de los datos de enero a diciembre del 2023 del consumo de Diésel proveniente de los reportes diarios de consumo generados. Todos estos datos fueron convertidos a litros usando el factor de conversión universal de galones a litros luego convertidos a kilogramos con los valores de densidad respectivos; se hizo la conversión multiplicando por diez elevada a la menos nueve ($\times 10^{-9}$), para obtener el resultado final en tCO₂eq.

3.2.2. Alcance 2 (emisiones indirectas)

El cálculo de las emisiones generadas por el consumo de energía eléctrica consideró los datos del consumo total de energía eléctrica en el periodo de enero a diciembre del 2023, recolectados de los recibos de luz que usualmente documenta y archiva el Departamento de Economía.

El combustible utilizado por las operaciones de la cantera fue del tipo Diésel, con densidad de 0,87 kg/L, consumido por fuente móvil, con consumo anual total de 150 190 L y un factor de emisión de CO₂ de 0,65 kg/TJ. Las operaciones mineras de la empresa, para un nivel de actividad de 23 198 m³ consumen un total de 4 620 L de combustible, lo cual genera una cantidad de 2 612,61 tCO₂eq. La cuantía de emisión de CO₂ a la atmósfera de cada equipo se ofrece en la Tabla 3.

Tabla 3. Emisiones generadas por los equipos mineros

Equipos	Marcas	tCO ₂ eq/h
Cargadores sobre neumáticos	LIUGONG	14,1375
	SHANTUI	8,4825
Camión fuera de camino	SINOTRUK	6,786
	B-OTROS	8,4825
	B-OTROS	9,6135
	HOVA 60	7,3515
Excavadora sobre esteras Retroexcavadora	KRANEKS	12,441
Bulldozers de Esteras	KOMATSU	12,565

Los resultados de este estudio resultan en la práctica de gran importancia para establecer una serie de medidas a fin de reducir las emisiones. Se proponen las siguientes para la cantera *Molino Doscientosmil*:

- ✓ Aumentar el control en el consumo de combustibles en la cantera, atendiendo a que el Alcance 1 es el más significativo.
- ✓ Garantizar el mantenimiento periódico de todos los equipos de minado y de transporte con el objetivo de aumentar su eficiencia.
- ✓ Implementar fuentes de energía renovable, como la energía solar o eólica.

- ✓ Reforestar las áreas minadas para disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

4. CONCLUSIONES

- Las mayores emisiones de GEI en la cantera Molino *Doscientosmil* están asociadas al Alcance 1, con 84 932,445 tCO₂eq, mientras el Alcance 2 emite 292,552 tCO₂eq a la atmósfera.
- La HC generada en el año 2023 para la cantera *Molino Doscientosmil* por el método *GHG Protocol* fue de 85 224,997 tCO₂eq. Las operaciones mineras generaron 2 612,61 tCO₂eq.
- De los equipos mineros, el cargador sobre neumáticos LIUGONG es el que más emisiones genera a la atmósfera, con un 14,1375 tCO₂eq/h.
- Las medidas propuestas pretenden reducir en buena medida las emisiones de CO₂ a la atmósfera en la cantera.

Con vistas a futuro trabajos se propone promover el desarrollo de un proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) para la Unidad Minera, con el fin de participar en el mercado de carbono y obtener ganancias económicas basadas en la protección ambiental.

5. REFERENCIAS

- Belaunde, B. E. (2021). *Cálculo de la huella de carbono en una refinería*. (Tesis de maestría, UNIR La Universidad en Internet). Consultado: 12/11/2024. Disponible en: <https://reunir.unir.net/handle/123456789/12170>
- Castillo, K. G. (2023). *Identificación de los focos de Emisiones de GEI en la UB Minera Comandante Ernesto Che Guevara*. (Trabajo de Diploma, Universidad de Moa).
- CITMA. (2017). *Enfrentamiento al Cambio Climático en la República de Cuba. Tarea Vida*. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Consultado: 12/11/2024. Disponible en: <http://www.contraloria.gob.cu/documentos/noticias/FOLLETO%20TAREA%20VIDA.PDF>.
- Jandira, M. U. (2016). *Diagnóstico tecnológico de la cantera de áridos Los Caliches en la provincia de Holguín*. (Trabajo de Diploma, Universidad de Moa). Consultado: 12/11/2024. Disponible en: <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/2151>

- Colán, J. C. (2019). *Determinación de la huella de carbono de una unidad minera de oro a tajo abierto*. (Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú). Consultado: 12/11/2024. Disponible en: <http://45.231.83.156/bitstream/handle/20.500.12996/4041/benites-colan-jose-carlos-antonio.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- De Catalunya, G. (2011). *Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)*. Barcelona: Oficina Catalana del Canvi climàtic. Consultado: 12/11/2024. Disponible en: https://www.academia.edu/download/53781002/110301_Guia_practica_calcul_emissions_rev_ES.pdf
- Elier, M. R. (2017). Estimación cuantitativa de la Huella del carbono en el cultivo de la cañade azúcar. Villa Clara. *Centro Agrícola*, 44(1), 71-79. Consultado: 12/11/2024. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v44n1/cag10117.pdf>
- Fernández, J. C. (2020). Estimación de la Huella de Carbono en la producción de vidrio en Cuba. *Minería y Geología*, 36(4), 428-440. Consultado: 04/05/2024. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1993-80122020000400428&lng=es&tlng=es.
- Fernández, J. C. (2021). Estimación de la Huella de Carbono en la Industria Papelera. *Avances*, 23(4), 430-439. Consultado: 04/05/2024. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=637869393006>
- Huarsaya, K. J. (2024). *Análisis de la comparación de las emisiones (directa e indirecta) de la huella de carbono del data master del servicio de reubicación de TopSoil realizado en el proyecto minero Antamina, Ancash, 2023*. (Tesis de grado, Universidad Continental, Arequipa, Perú). Consultado: 04/05/2024. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/14494>
- Laugart, Y. G. (2023). *La Huella de Carbono en la UB Minera de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara*. (Trabajo de Diploma, Universidad de Moa).
- Ponce, R. R. & Rodríguez, D. A. M. (2016). *Determinación de la huella de carbono del Country Club el Bosque-sede Chosica*. (Trabajo de de grado). Consultado: 04/05/2024. Disponible en: <http://45.231.83.156/bitstream/handle/20.500.12996/2584/T01-P655-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Valderrama, J. O., Espíndola, C., & Quezada, R. (2011). Huella de Carbono, un Concepto que no puede estar Ausente en Cursos de Ingeniería y Ciencias. *Formación universitaria*, 4(3), 3-12. DOI: 10.4067/S0718-50062011000300002.

Información adicional

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Ambos autores contribuyeron por igual.

ORCID

GBMR, <https://orcid.org/0000-0003-1910-5550>

LARM, <https://orcid.org/0000-0002-6459-8975>

Recibido:29/05/2025

Aceptado:15/07/2015