

Identificación de los focos de emisión de gases de efectos invernadero de la Cantera Molino 200 mil

Identification of the sources of greenhouse gas emissions at the Molino 200 mil Quarry

José Carlos Gurri Hernández yanier@medano.co.cu ⁽¹⁾

Gianna Banesa Moya Rivera gmrivera@ismm.edu.cu ⁽²⁾

Luis Alberto Ramírez Meléndez lrnelendez@ismm.edu.cu ⁽²⁾

⁽¹⁾Unidad Empresarial de Base Molino 200 mil, Holguín, Cuba

⁽²⁾Universidad de Moa, Cuba,

Resumen: Se identificaron los principales focos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la Cantera Molino 200 mil. Para ello se empleó la metodología propuesta por el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (2001) adaptada a las condiciones de la entidad. Como resultado se identificaron los principales focos de emisión en la Cantera Molino 200 mil que son el uso de combustible y de energía consumida en las operaciones que se desarrollan. Además, se logró establecer la metodología más adecuada para el cálculo de la huella de carbono.

Palabra claves: cambio climático, gases contaminantes, impacto ambiental, materiales de construcción

Abstract: The main sources of greenhouse gas (GHG) emissions were identified in the Molino 200 thousand quarry. For this, the methodology proposed by the Greenhouse Gas Protocol (2001) was used, adapted to the conditions of the entity. As a result, the main emission sources in the Molino 200 mil quarry were identified, which are the use of fuel and the energy consumed in the operations that are carried out. In addition, it is possible to establish the most appropriate methodology for calculating the carbon footprint.

Key Words: climate change, polluting gases, environmental impact, construction materials

Introducción

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) son componentes gaseosos de la atmósfera, resultantes de la actividad humana, que absorben y emiten radiación infrarroja. Desde la época preindustrial las concentraciones de gases de efecto invernadero se han incrementado de forma progresiva (Alcázar & Márquez, 2022). La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático reconoce seis: bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6) (Pedroso-Noris, Reinos-Valladares & Pereda-Reyes, 2022).

Los gases de efecto invernadero absorben la radiación que emite la Tierra y atrapan el calor, impidiendo que la energía se traslade al espacio. Los GEI permanecen en la atmósfera durante mucho tiempo, por lo que se prevé que el cambio climático seguirá afectando a los sistemas naturales del planeta durante varios siglos.

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 (Canciano-Fernández *et al.*, 2020).

La huella de carbono representa la cantidad de gases efecto invernadero emitidos a la atmósfera derivados de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios. Es considerada una de las más importantes herramientas para cuantificar las emisiones de dichos gases (Espíndola & Valderrama, 2012; Reinos-Valladares *et al.*, 2018) generados por una actividad y proporciona un alcance de los impactos que provoca en el cambio climático (Solórzano & Valverde, 2021).

Autores como Barros *et al.*, (2022) y Pardo, Penagos & Acevedo (2022) han utilizado el cálculo de la huella de carbono para mitigar los impactos negativos de proyectos constructivos, ambientales o mineros. El cálculo de la huella de carbono en proyectos mineros es un proceso complejo que implica la medición de las emisiones de GEI en todas las fases del proyecto, desde la construcción hasta la operación y el cierre, considerando datos estimados con la menor incertidumbre posible. Comprender y cuantificar las emisiones en cada fase del proyecto minero resulta esencial para adoptar

estrategias efectivas que reduzcan la huella de carbono a lo largo de todo su ciclo, lo que contribuye a una gestión más responsable y sostenible de la minería.

Hernández *et al.* (2018) reconocen que la Cantera Molino 200 mil de Gibara realiza el seguimiento y vigilancia para controlar las actividades y operaciones con incidencia en el comportamiento medioambiental y desarrolla diagnósticos ambientales para la elaboración de un plan de medidas para contribuir a reducir los impactos ambientales negativos. Estos autores realizaron la identificación de 18 impactos ambientales generados por el procesamiento de áridos en esta cantera.

Este trabajo propone identificar los principales focos de emisiones de gases de efecto invernadero en la Cantera Molino 200 mil y establecer la metodología adecuada para el cálculo de la huella de carbono.

Materiales y métodos

Según el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (2001) el cálculo de la huella de carbono se realiza con una metodología dividida en 5 etapas.

Debido a la complejidad del desarrollo de esta investigación se adopta la metodología utilizada por Guevara (2023). En esta investigación se desarrollarán las dos primeras etapas del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (2001): identificación de las fuentes de emisión y selección de método de cálculo (Figura 1).

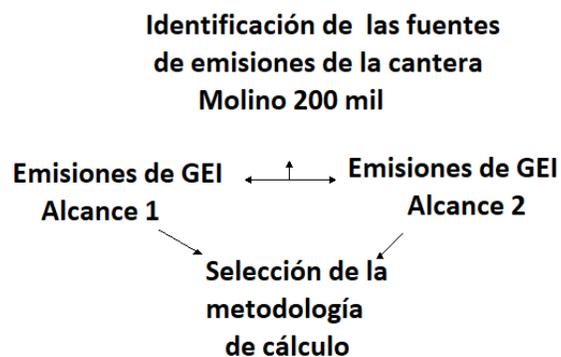


Figura 1. Etapas metodológicas para el cálculo de la huella de carbono en la Cantera Molino 200 mil.

En la Cantera Molino 200 mil para la contabilización de los consumos de combustibles y energía eléctrica no se contabilizan en correspondencia con el proceso tecnológico, sino que se agrupan por actividades.

Identificación de las fuentes de emisiones

Según el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (2001), se utilizan dos enfoques principales para identificar las fuentes de emisiones de GEI: el enfoque de alcance y el enfoque de categoría.

Enfoque de alcance: este enfoque implica la identificación y cuantificación de todas las fuentes de emisiones de GEI directas e indirectas de una organización. Se basa en la idea de que una organización es responsable de todas las emisiones generadas por sus actividades, independientemente de si se producen dentro de sus límites operativos directos o si están asociadas con sus actividades indirectas, como la generación de electricidad comprada.

El enfoque de alcance se divide en tres categorías o alcances:

- Alcance 1: Incluye todas las emisiones directas de GEI que provienen de fuentes que están controladas o de propiedad de la organización. Esto puede incluir emisiones de combustibles fósiles utilizados en instalaciones de la organización, emisiones de procesos industriales y fugas de gases refrigerantes.
- Alcance 2: Incluye 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.
- Alcance 3: Incluye todas las demás emisiones indirectas de GEI que no están cubiertas por el alcance 2. Estas emisiones pueden estar asociadas con actividades como la producción y transporte de los bienes y servicios utilizados por la organización, los viajes de negocios, la disposición de residuos y la cadena de suministro.

Enfoque de categoría: este enfoque implica la identificación y cuantificación de las emisiones de GEI en función de categorías específicas de actividades o fuentes. En lugar de rastrear todas las emisiones de GEI de una organización individualmente, se agrupan en categorías comunes, como la combustión de combustibles fósiles, la generación de electricidad, el transporte, la agricultura, entre otras.

El enfoque de categoría proporciona una visión más general de las emisiones de GEI y puede ser útil para fines de comparación entre organizaciones o sectores.

Se puede aplicar un enfoque similar a los mencionados, adaptándolo a las características y operaciones propias de la industria minera porque el Protocolo GEI no tiene un enfoque específico para identificar las fuentes de emisiones de GEI en la minería.

El enfoque que se empleó en esta investigación es una combinación de los enfoques de alcance y de categoría, ya que la identificación de las fuentes de emisiones se clasifica en alcances directos e indirectos, pero la identificación y cuantificación de estas emisiones se basan en actividades y fuentes específicas.

Enfoque utilizado para identificar las fuentes de emisiones de GEI en la Cantera Molino 200 mil

1. Realización del inventario de emisiones

El inventario de emisiones, implicó recopilar datos sobre las actividades mineras, el consumo de energía, el uso de combustibles, los equipos utilizados y otros factores relevantes para la generación de emisiones de GEI.

2. Identificación de las emisiones directas de GEI (Alcance 1)

Como es una mina a cielo abierto, las emisiones de alcance 1 provienen de la combustión de combustibles fósiles (Diésel), que se utiliza en el equipamiento para el desarrollo de las diferentes actividades mineras. La combustión de este combustible emite dióxido de carbono (CO₂), un gas de efecto invernadero.

3. Identificación de las emisiones indirectas de GEI (Alcance 2)

Las emisiones indirectas de alcance 2 están asociadas con la generación de la electricidad comprada al Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

Selección de la metodología de cálculo

Para calcular las emisiones de GEI la metodología que se seleccionó es la más común, se basa en la aplicación de factores de emisión documentados. Estos factores son cocientes calculados que relacionan emisiones de GEI a una medida de actividad en una fuente de emisión.

Para garantizar que la huella de carbono se corresponde con la realidad de la organización, se basaron en los principios de pertinencia, cobertura total, coherencia, exactitud y transparencia (Martínez, 2012).

Los principios según Martínez (2012) son:

- Pertinencia: Selección de las fuentes, sumideros, reservorios de GEI, datos y metrologías apropiados para las necesidades del usuario.
- Cobertura total: Inclusión de todas las emisiones pertinentes de GEI.
- Coherencia: Permitieron comparaciones significativas en la información relacionada con los GEI.
- Exactitud: Reducción dentro de las posibilidades la incertidumbre de las medidas. Para ello deben utilizarse valores oficiales de factores de emisión.
- Transparencia: Exposición de información suficiente para que todos los partícipes puedan tomar las decisiones oportunas con una confianza razonable.

La aplicación de estos principios va a permitir que la organización obtenga una situación de fiabilidad y credibilidad en la documentación de sus emisiones de cara a los organismos externos, lo cual es fundamental (Martínez, 2012).

Para determinar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en una empresa minera a cielo abierto siguiendo el protocolo para calcular la huella de carbono, se siguen los siguientes pasos:

- Alcance de la evaluación:** define el alcance de la evaluación, es decir, qué fuentes y actividades incluirás en el cálculo de la huella de carbono. En una mina a cielo abierto, algunas fuentes típicas de emisiones pueden ser la combustión de combustibles fósiles en maquinaria pesada, la generación de electricidad, la utilización de explosivos, el transporte de materiales, entre otros.
- Recopilación de datos:** recolecta datos relevantes sobre el consumo de energía, combustible, electricidad y otros factores relacionados con las actividades mineras. Esto puede incluir registros de consumo de combustible, facturas de electricidad, datos de producción, entre otros.
- Definición de factores de emisión:** identifica los factores de emisión correspondientes a cada fuente de emisiones. Los factores de emisión son valores estándar que expresan la cantidad de emisiones generadas por unidad de actividad o

consumo. Es posible encontrar estos factores en fuentes como bases de datos de emisiones o guías de referencia.

- **Cálculo de emisiones:** aplica los factores de emisión a los datos recopilados para calcular las emisiones de GEI de cada fuente. Multiplica la actividad o el consumo por el factor de emisión correspondiente para obtener las emisiones en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO₂e).
- **Suma de emisiones:** suma todas las emisiones calculadas para obtener el total de emisiones de GEI de la empresa minera a cielo abierto.

Caracterización de la Cantera Molino 200 mil

La Cantera Molino 200 mil de esta ubicado en la Sierra Candelaria, municipio de Gibara provincia Holguín, a 10 Km al suroeste de la ciudad de Gibara y a 3,5 km de la carretera Holguín-Gibara. Se localiza en el Consejo Popular de Bocas, ocupando su parte noreste. El relieve donde está situado es generalmente llano, rodeado del río Cacoyuguin y de las alturas de Cupeycillo-Candelaria, Velasco. Estas unidades geológicas son ricas en rocas calizas sedimentarias como las margas y serpentinitas lo que hace que en ella se localicen importantes canteras para la extracción de este mineral.

El objeto social de la Cantera Molino 200 mil es producir, transportar y comercializar de forma mayorista áridos incluyendo la arena sílice y otros materiales proveniente de la cantera, pinturas, yeso, cal y su derivados, sistemas de productos de arcillas y barros, elementos de hormigón armado, terrazo, aditivos, repellos texturizados, monocapas, cemento cola, mezcla deshidratada, losetas hidráulicas, elementos de hierros fundidos y bronces, productos para la industria del vidrio y la cerámica, productos refractarios, hormigones hidráulicos recubrimientos e impermeabilizantes, incluyendo su montaje.

Identificación de los focos de emisión

Etapas 1. Identificación de las fuentes de emisiones

Al no existir un enfoque específico para la identificación de las fuentes de emisiones de GEI en la minería; se empleó un enfoque que combina los enfoques de categoría y alcance, adaptándolo a las condiciones de la Cantera Molino 200 mil.

Realización del inventario de emisiones

Para realizar el inventario de emisiones se tuvo en cuenta los datos sobre las actividades mineras, el consumo de energía, el uso de combustibles, los equipos utilizados y otros factores relevantes para la generación de emisiones de GEI durante el año 2023.

Durante el año 2023 el diesel consumido fue de 3 665 L para la actividad de escombreo.

El equipamiento que se utiliza en la Cantera Molino 200 mil para el desarrollo de las operaciones, cumple con las Normas EURO (Comisión Europea, 2007), las cuales regulan los límites en la cantidad de emisiones de gases como el CO₂, en motores de combustión interna. La empresa constructora utiliza estos equipos debido a la necesidad de cumplir con las regulaciones ambientales, promover prácticas sostenibles, lograr eficiencia operativa y mejorar la imagen corporativa (Tabla 1). Estas acciones contribuyen a minimizar impactos negativos en el medio ambiente y comunidades cercanas.

Tabla 1. Equipamiento utilizado en la mina

Equipos	Cantidad	Marca
Cargador	1	Liugong CLG877 III
Grua de estarela	2	-Kranesk EK 400 -Liugong CLG 925D
Camión fuera de camino	1	Sinotruck ZZ 5707
Camión volteo	4	-3 Foton -1 Sinotruck

La energía consumida en la Cantera Molino 200 mil proviene de la comprada al Sistema Energético Nacional.

En el año 2023 la cantera tuvo un consumo de 591731 Kw/h.

El inventario de GEI está delimitado por las emisiones generadas en la Cantera Molino 200 mil en el año 2023. Normalmente cuando se utilizan los equipos necesarios para identificar los distintos gases de efecto invernadero, estos se incluyen en el inventario. En este caso, como la identificación de las fuentes de emisiones se obtuvieron a partir de los datos existentes en la Cantera Molino 200 mil, solo se incluye al inventario las emisiones de CO₂ (Tabla 2).

Tabla 2. Gases de Efecto Invernadero contemplado en este inventario de GEI

Gas de Efecto Invernadero	Definiciones	Fuente de emisión	Emisiones
Dióxido de carbono CO ₂	Se produce durante la combustión de combustibles fósiles (diesel)	Escombro	Directas Alcance 1
	Se produce durante la generación de electricidad	Cantera Molino 200 mil SEN	Indirectas Alcance 2

Etapa 2. Selección de la metodología de cálculo

Determinación de la huella de carbono para el alcance 1

Se realizó la identificación del tipo de fuente (Móvil), para establecer la correspondencia de los parámetros de conversión, seguido se realizó la recolección de los datos de enero a diciembre del 2023, del consumo de diésel provenientes de los reportes diarios de consumo generados. Todos estos datos fueron convertidos a litros usando el factor de conversión universal de litros a galones y en seguida convertidos a kilogramos con los valores de densidad respectivos, se hizo la conversión por diez elevada a la menos nueve (10^{-9}), para obtener así el resultado final en tCO₂eq.

Ecuación 1:

$$\text{Emisiones} = \text{CC} \times \text{pcombustible} \times \text{FE}_{\text{CO}_2}$$

Dónde:

Emisiones: emisiones generadas de GEI, tCO₂eq

CC: cantidad de combustible consumido anual

pcombustible: densidad de combustible kg/l

FE_{CO₂}: Factor de emisión de CO₂

Determinación de la huella de carbono para el alcance 2

Para el cálculo de las emisiones generadas por el consumo de energía eléctrica se tomaron en cuenta los datos del consumo total de energía eléctrica en el periodo del mes de enero a diciembre del 2023, los cuales fueron recolectados de los recibos de luz que usualmente documenta y archiva el área de Departamento Economía de la Cantera Molino 200 mil.

Ecuación 2:

Emissiones (tCO₂eq) = Consumo de energía Mw x 0,5475tCO₂/Mw

Dónde:

Emissiones (tCO₂eq): emisiones resultantes del consumo de energía de la cantera Molino 200 mil

Consumo de energía Mw: consumo de energía reportado en la cantera Molino 200 mil

0,5475tCO₂/Mw: factor de emisión de CO₂ calculado a partir de los datos del COES-SINAC del 2017 (Cenace, 2020)

Conclusiones

En la identificación de los focos de emisión de gases de efecto invernadero en la Cantera Molino 200 mil se encontraron como alcance 1 el escombreo y como alcance 2 el energético.

La metodología de identificación de los focos de emisión de gases de efecto invernadero seleccionada para la Cantera Molino 200 mil fue la metodología del Protocolo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, considerando solamente el alcance 1 y 2 debido a las características propias de la entidad.

La metodología seleccionada para el cálculo de la huella de carbono se basa en la aplicación de factores de emisión documentados, los principios de pertinencia, cobertura total, coherencia, exactitud y transparencia.

Referencias bibliográficas

Alcázar, B. & Márquez, E. E. (2022). Documento neumosur sobre huella de carbono y cambio climático. *Revista Española de patología torácica*, 34(2) 121-127. <https://www.rev-esp-patol-torac.com/files/publicaciones/Revistas/2022/34.2/Art%C3%ADculo%20especial.pdf>

Barros, E. M., Chamorro, A. C. Molina, M. A, & López, D. D. (2022). Indicadores de sostenibilidad ambiental de una mina de arcilla en La Guajira (Colombia). *Información tecnológica*, 33(5), 125-134. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718:07642022000500125>

Canciano-Fernández, J., Reinoso-Valladares, M., Hernández-Garcés, A., Núñez-Hernández, M. & Ramírez-Díaz, L. (2020). Estimación de la huella de carbono en la

- producción de vidrio en Cuba. *Minería y Geología*, 36(4), 429-437.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223564388005>
- CENACE. (2020). *Informe del factor de emisión de CO₂ 2017*. www.cenace.gob.ec
- Comisión Europea. (2007). Síntesis de la legislación. Vehículo de motor y remolques: gases de escape de motores diésel. <http://europa.eu/scadplus/leg/es/lvb/l21048.htm>
- Espíndola, C. & Valderrama, J. (2012). Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. *Información Tecnológica*, 23(1), 163-176. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000100017>
- GHG Protocol. (2001). *Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte, Edición Revisada*.
https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/protocolo_spanish.pdf
- Guevara, Y. (2023). *La huella de carbono en la UB Minera de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara*. (Trabajo De Diploma, Universidad de Moa).
- Hernández, C. M., Savón, Y., Almenares, R. S., Montero, J. & Gómez, R. (2018). Diagnóstico ambiental de la Unidad Empresarial Básica procesadora de áridos Molino 200 mil en Holguín. *Ciencia & Futuro*, 8(2), 18-32.
<https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistacyf/article/view/1569>
- Martínez, R. (2012). *Cálculo y Evaluación de la Certificación de la Huella de CO₂ del Grupo SACYR Vallehermoso en el año 2010*. (Trabajo de Diploma, Escuela Técnica Superior de Ingeniero de Minas). <https://oa.upm.es/id/eprint/14067>
- Pardo, N.S., Penagos, G.L. & Acevedo, H. (2022). Impactos ambientales asociados a la huella de carbono y la energía incorporada del sivilo de vida de una edificación en Medellín. *Informes de la construcción*, 74(565).
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/368402>
- Pedroso-Noris, L., Reinos-Valladares, M. & Pereda-Reyes, I. (2022). Análisis del inventario de gases de efecto invernadero emitidos en la producción de vidrio en Cuba. *Avances*, 24(3), 341-357.
<http://avances.pinar.cu/index.php/publicaciones/article/view/708/2011>

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. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852018000200020&script=sci_arttext

Solórzano, T.M. & Valverde, S.G. (2021). *Gases de efecto invernadero generados por la extracción de oro*. El ejemplo de la Mina Apumayo, Perú. *Revista de Ciencias de la Tierra*, 132(4), 583-592. <http://dx.doi.org/10.21701/bolgeomin.132.4.013>