**SIMPOSIO INTERNACIONAL DE INDUSTRIA**

**Título**

**Determinación de la huella de carbono y agua de la producción de cemento en la Empresa de Cemento Siguaney**

***Title***

***Determination of the carbon and water footprint of gray cement production at the Siguaney Cement Company (A partir de aquí todo estará justificado, tamaño de letra Times New***

**Elena R. Rosa Domínguez1, Claudia Valdés Balmaseda2**

1-Facultad de Química y Farmacia, País Cuba . E-mail: erosa@uclv.edu.cu

2- Nombre y Apellidos. Fábrica de Cemento Siguaney , Cuba E-mail:claudiav.cementosig.co.cu

**Resumen:**

En la Empresa de Cemento Siguaney durante el proceso de producción se emiten grandes cantidades de gases de efecto invernadero que son causadas por la descarbonatación de las materias primas en la producción de clínker, así como un alto consumo de agua debido a la utilización del proceso húmedo. El trabajo desarrollado consiste en determinar la huella de carbono y de agua en la producción de cemento gris en dicha empresa, mediante la aplicación de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida utilizando el software SimaPro 9.0.0.35 y la metodología ReCiPe 2016; esto demostró que los procesos que más influyen en la mayoría de las categorías de impacto son las emisiones, el uso de recursos naturales y el consumo de energía eléctrica. Se determinó la huella de carbono evidenciando que la actividad que más genera GEI corresponde a las emisiones durante el proceso de clinkerización debido a las reacciones que ocurren dentro del horno y a la combustión. Además, se pudo constatar que en el perfil de la huella de agua el subsistema de mayor aporte en la eutrofización y la ecotoxicidad es el consumo de electricidad, sin embargo, en la categoría de consumo de agua son las emisiones debido principalmente a la etapa de secado de la pasta en el horno. Para disminuir el impacto ambiental se proponen mejoras como la sustitución del cemento PP25 por el PZ25 para reducir la producción del clinker y la utilización de paneles solares como alternativa al alto consumo de energía eléctrica.

***Abstract:*** (traducción fiel al inglés del apartado resumen y mismo formato que el anterior agregando la cursiva).

*In the Siguaney Cement Company, during the production process, large amounts of greenhouse gases are emitted that are caused by the decarbonization of raw materials in the production of clinker, as well as a high consumption of water due to the use of the wet process . The work carried out consists of determining the carbon and water footprint in the gray cement production in said company, by applying the Life Cycle Analysis methodology using the SimaPro 9.0.0.35 software and the ReCiPe 2016 methodology; This showed that the processes that most influence most of the impact categories are emissions, the use of natural resources and the consumption of electrical energy. The carbon footprint was determined, showing that the activity that generates the most GHG corresponds to emissions during the clinkerization process due to the reactions that occur inside the furnace and to combustion. In addition, it was found that in the water footprint profile, the subsystem with the greatest contribution to eutrophication and ecotoxicity is electricity consumption, however, in the category of water consumption, emissions are mainly due to the stage of drying the pasta in the oven. To reduce the environmental impact, improvements are proposed such as the substitution of PP25 cement for PZ25 to reduce the production of clinker and the use of solar panels as an alternative to high electricity consumption.*

**Palabras Clave:** Huella de carbono, Huella de agua, Producción de cemento, Análisis de Ciclo de Vida

*Keywords:* Carbon footprint, Water footprint, Cement production, Life Cycle Analysis

**1. Introducción**

Existen diversas metodologías científicas que permiten apoyar la gestión medioambiental de estos productos, procesos o servicios. Entre ellas está, el análisis del ciclo de vida (ACV), el cual ha demostrado una capacidad adecuada para valorar y evaluar los impactos potenciales al medio ambiente ocurridos durante el ciclo de vida completo de un producto o proceso, además se presenta como una herramienta efectiva y de apoyo a la gestión de los aspectos medioambientales.

La fabricación de cemento es un proceso que utiliza una gran cantidad de energía y requiere un fuerte consumo de combustibles para el funcionamiento de los hornos de cemento, lo cual tiene asociado la generación de dióxido de carbono (CO2) entre otros gases. La conversión química de piedra caliza para obtener clínker y la producción de electricidad destinada a otras fases del proceso también tienen asociadas la generación de CO2. Las tecnologías existentes no contrarrestan todas las emisiones de CO2, por lo que las fábricas de cemento contribuyen significativamente al cambio climático en todo el mundo y representan alrededor del 5% de las causas antropogénicas.

La Empresa de Cemento Siguaney perteneciente a la provincia de Sancti Spíritus se dedica a la producción de cemento P35, PP25, cemento blanco de CBA16, así como la producción de cementos especiales como el cemento hidrófugo y el cemento para pozos de petróleo. La fábrica produce a partir de la tecnología por vía húmeda y sus instalaciones tecnológicas tienen más de 50 años de explotación por lo que tienen altos consumos de portadores energéticos, altos niveles de emisiones y un gran consumo de agua, lo que limita su nivel de competencia con las de proceso seco. La Empresa de Cementos Siguaney no cuenta en la actualidad con una herramienta que permita determinar la huella de carbono y de agua que genera la producción de cemento gris y que permita visualizar oportunidades de mejoras factibles en cuanto a criterios técnicos, económicos y ambientales.

Se han realizado estudios a nivel mundial para cuantificar el consumo de energía y las emisiones de CO2 aportados a la atmósfera en el proceso de fabricación del cemento, por medio de la aplicación de la metodología del ACV (Hossain et al., 2017, Li et al., 2014, Moretti and Caro, 2017, Song et al., 2016)

Uno de los mayores problemas de los ACV suele estar en el inventario, pues requiere largos y costosos procesos de recopilación de datos y, a excepción de los países europeos y de Estados Unidos, el resto del mundo no cuenta con inventarios completos y fiables. Esta situación ha generado que se opte por tomar datos de inventarios de ciclo de vida extranjeros, sin embargo, al no ser usados adecuadamente pueden conducir a errores significativos o generarse discrepancias que generalmente se deben a la tecnología y a la fuente de energía utilizada (Lu and Song, 2017). Por otro lado, es posible realizar una simplificación para reducir la complejidad de los estudios, que consiste en limitar el número de categorías de impacto ambiental, sin afectar el resultado siguiendo la norma UNE 150041 EX (León-Velez and Guillén-Mena, 2020).

Resultados de varios estudios sobre la producción de cemento indican que, de las siete categorías de impacto, la de “calentamiento global” (o sea, la que mide las emisiones de CO2 equivalentes emitidas a la atmósfera) es la más representativa (Moretti and Caro, 2017, Summerbell et al., 2016). Por otra parte, también se evidencia que la estructuración del ICV se realiza en dos subsistemas, la producción del clinker y la producción del cemento, ya que reduce la dificultad de visualizar los flujos de energía y materiales en los procesos intermedios y permite analizar detalladamente los procesos por separado (Cardim de Carvalho Filho, 2001, Josa et al., 2004, Moretti and Caro, 2017).

El Objetivo general de esta investigación es Evaluar la huella de carbono y de agua en la producción de cemento gris en la Empresa de Cemento Siguaney

**2. Metodología**

Este estudio tiene como objetivo identificar y cuantificar los impactos ambientales que tienen lugar durante el proceso de fabricación de cemento gris en la Empresa de Cemento Siguaney, haciendo énfasis en la HC y la HA, lo que permite establecer las bases para la posterior comparación entre los diferentes surtidos, así como proponer mejoras necesarias para alcanzar un comportamiento ambiental acorde a las exigencias actuales.

La unidad funcional se define en función del objetivo del estudio y se le refieren todas las entradas (materias primas, energía, insumos, recursos) y salidas (productos, subproductos, emisiones) del sistema en estudio. Debe ser medible y representativa de todos los flujos del proceso.

Para el proceso en estudio la producción de cemento gris es la unidad más representativa de todas las entradas y salidas; por lo que se toma como unidad funcional la producción del año 2020 y como flujo de referencia 1t de cemento.

Los límites del sistema se condicionan al objetivo específico que se persigue en el estudio donde se señalan las etapas o subsistemas a tener en cuenta en el ACV, enmarcando lo que es objeto de estudio y lo que queda fuera de este. La región externa a los límites se denomina el entorno del sistema, el cual actúa como fuente para las entradas y como sumidero para las salidas.

El ACV que se plantea en este proyecto es de tipo Cradle to gate que se traduce de la cuna a la puerta y toma en consideración desde la extracción y acondicionamiento de materias primas hasta el proceso productivo de la empresa.

Como opción más favorable a la hora de escoger una herramienta informática para realizar el ACV, se ha escogido SimaPro. Esta elección viene dada por diferentes argumentos:

* Las características del producto y su ciclo de vida.
* El tipo de datos con el que se va a trabajar.
* La base de datos con la que va a trabajar el software (Ecoinvent).
* La metodología de evaluación de impacto ambiental que se va a utilizar (ReCiPe).
* La simplicidad del programa a la hora de trabajar con él y la facilidad para introducir una gran cantidad de datos nuevos.

Cabe destacar, que la herramienta que se va a emplear es una de las más conocidas internacionalmente y una de las más utilizadas. Sus resultados son fácilmente interpretables y comparables, por lo que va a ser de gran utilidad.

La metodología de evaluación de impacto ambiental a utilizar en el presente análisis es la metodología ReCiPe, basada en las normas ISO 14040:2006 y ISO 14044:2006.

Los resultados de los impactos de los ACV realizados se pueden dar en función de dos sub-metodologías: MidPoint (los impactos se evalúan en la cadena de causa-efecto y son relativos al problema ambiental) y EndPoint (los impactos son relativos al daño sobre los valores tangibles para la sociedad, también llamados áreas de protección).

Una vez conformado el inventario, para la modelación de los inventarios se utilizó la base de datos Ecoinvent 3.0 y el software SimaPro 9.0.0.35 para la clasificación, caracterización y normalización de impactos. La caracterización facilita el conocimiento de los impactos de punto medio, mientras que la normalización permite una aproximación a la magnitud de los impactos ambientales de punto final.

**3. Resultados y discusión**

**3.1 Huella de carbono**

Como se ha mencionado anteriormente la HC se trata de un indicador de sostenibilidad que contabiliza las emisiones de efecto invernadero, íntimamente relacionadas estas con el consumo energético. Para cuantificar la HC en la producción de cemento gris de la Empresa de Cemento Siguaney se utilizó el método de ReCiPe 2016 Midpoint, mediante el análisis de la categoría de impacto de cambio climático. De acuerdo con los resultados obtenidos se puede evidenciar que el proceso con mayor aporte a la HC corresponde a las emisiones procedentes de la combustión de crudo cubano y como resultado de las reacciones químicas que ocurren en el proceso de clinkerización.

Tabla 1. Caracterización del impacto cambio climático para los cementos gris.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Producto** | **Unidad** | **Huella de Carbono** |
| P35 | kg CO2eq | 1225.27 |
| PP25 | kg CO2eq | 999.22 |

La tabla 1 muestra los resultados cuantitativos obtenidos para el impacto cambio climático en la producción de cemento P35 y PP25 para la unidad funcional definida (1t de cemento). En la misma se puede observar que la HC en la Empresa de Cemento Siguaney para el cemento P35 es de 1225.27 kg CO2eq/t y para el PP25 de 999.2 kg CO2eq/t, esta última es ligeramente menor a la primera debido a que se utiliza un menor porciento de clinker en su producción, evidenciando que el proceso de clinkerización es el que más aporte tiene a las emisiones de GEI y por tanto a la HC.

### 3.2 Huella de agua

Como se ha referido anteriormente la huella de agua evalúa la alteración de cuerpos de agua al extraer y/o descargar agua en volumen o calidad alterada. Para realizar una evaluación integral de HA, se deben considerar todos los potenciales impactos ambientales relacionados con el uso del agua y la contaminación tales como eutrofización, ecotoxicidad y consumo de agua, tales resultados se pueden observar en la tabla 3.2. de esta forma se puede decir que se obtiene el perfil de huella de agua.

Tabla 3.2: Caracterización del perfil de HA para los cementos gris.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Producto** | **Unidad** | **P35** | **PP25** |
| Eutrofización agua fresca  | kg P eq | 0.005051 | 0.003702 |
| Eutrofización marina  | kg N eq | 0.000375 | 0.000273 |
| Ecotoxicidad agua fresca  | kg 1,4-DCB | 0.650024 | 0.474248 |
| Ecotoxicidad marina  | kg 1,4-DCB | 1.711058 | 1.231402 |
| Consumo de agua  | m3 | 1.525348 | 1.18538 |

En en las categorías de eutrofización y ecotoxicidad el subsistema de mayor aporte es el consumo de electricidad en ambos procesos. Sin embargo, en la categoría de consumo de agua el subsistema de mayor aporte son las emisiones debido principalmente a la etapa de secado de la pasta en el proceso de clinkerización por la evaporación total del agua que aglomera las materias primas y el agua de composición de los minerales.

## 3.3 Recomendaciones que conlleven a disminuir los impactos ambientales significativos en el proceso de producción de cemento gris.

Una vez identificadas las cargas ambientales más relevantes, así como los procesos que las generan o que mayor inciden sobre estas, es necesario entonces la aplicación de mejoras que podrían llevar a una disminución de estas.

En la figura 1 se muestran algunas estrategias para la reducción de los impactos ambientales en la industria del cemento. Es importante tener en cuenta que, aunque las tecnologías empleadas en los procesos, juegan un papel importante a la hora de tener resultados favorables al medio ambiente, no son las únicas medidas que se pueden considerar. Lo que se pretende es abordar las recomendaciones desde el origen del problema, por ello se tendrán en cuenta, los factores que dan origen a la HC y la HA, que como se ha evidenciado anteriormente el proceso de fabricación de clinker y el consumo de energía eléctrica en el proceso son los aspectos que más inciden en ambas huellas por lo que las mejoras que se proponen a continuación van encaminadas a la disminución de las mismas.



Figura 1 Estrategias para la reducción del impacto ambiental en la industria del cemento. Fuente: Elaboración propia*.*

### 3.3.1 Reducción del factor clinker.

La reducción del factor de clínker en el cemento a través del empleo de otros productos reactivos es una de las líneas de trabajo establecidas por la industria del cemento en su camino hacia la sostenibilidad ambiental. Los materiales que se emplean como sustitutos del clínker y que reaccionan con hidróxido de calcio, son llamados comúnmente materiales cementicios suplementarios (MCS). El empleo de los MCS y el nivel de sustitución del clínker que estos pueden lograr dependen de la naturaleza y características química – físicas de cada material, así como de su variable disponibilidad en cada región. Dentro de las principales fuentes de MCS que se emplean actualmente se encuentran las puzolanas que, de manera general, incrementan la resistencia a edades avanzadas y la impermeabilidad del producto final.

La producción de los distintos tipos de cemento depende de las aplicaciones en las que se vaya a utilizar según los requisitos técnicos de los clientes y la normativa existente. Por tanto, el margen en la optimización de las adiciones está limitado por la demanda y la legislación del producto. Por tal motivo se propone como mejora la sustitución de la producción de cemento PP25 por el PZ25, cemento que cumple con las mismas características, pero con un porciento de toba zeolitizada mayor (21 - 35%) lo que permite la utilización de menos clinker.

En figura 2 se aprecia la comparación de los perfiles ambientales de estos tipos de cemento, evidenciando una disminución en todas las categorías de impacto debido a la disminución de porciento de clinker utilizado en el cemento PZ25 lo que conlleva a una disminución de las emisiones, el consumo de combustible, el consumo de materias primas y el consumo de agua.

Figura 2 Comparación de perfiles ambientales del PP25 y el PZ25 expresados en porciento (ReCiPe 2016 Midpoint).

### Uso de energías renovables

Dado a que el alto consumo de electricidad en la producción de cemento ha tenido gran aporte a la mayoría de las categorías de impacto estudiadas se hace relevante estudiar tecnologías que suministren esta energía de una forma más amigable con el medio ambiente. En este sentido la Empresa de Cemento Siguaney se encuentra en estudios preliminares para la utilización de paneles solares con el objetivo de disminuir los consumos energéticos, los costos de producción y su impacto ambiental.

En la figura 3 se puede observar la comparación de los perfiles ambientales del P35 con la utilización de los paneles solares, donde se puede evidenciar que la utilización de esta variante favorece algunas categorías de impacto incluyendo la HC no sucede así con las que aportan al perfil de la HA, debido a que los paneles solares utilizan una mayor cantidad de componentes y minerales que afectan estas categorías relacionadas con la HA.

Figura 3 Comparación de perfiles ambientales del P35 y el uso de paneles solares expresados en porciento (ReCiPe 2016 Midpoint).

En la figura 4 se puede apreciar la comparación de PP25 con la utilización de ambas variantes (sustitución del PP25 por el PZ25 y el uso de los paneles solares) donde es evidente la disminución del impacto generado en la mayoría de las categorías, aunque como se mencionaba anteriormente existen otras que no se ven favorecidas con la utilización de los paneles solares, por lo que para realizar esta inversión sería necesario la realización de otros análisis. Por tanto, es evidente que la mejor de las alternativas propuestas es sustituir la producción de cemento PP25 por el PZ25.

Figura 4 Comparación de perfiles ambientales del PP25 y el PZ25 con el uso de paneles solares expresados en porciento (ReCiPe 2016 Midpoint).

**4. Conclusiones**

1. Los balances de materia y energía permitieron conformar los inventarios para el cemento P35 y para el PP25, demostrando que la producción de clínker es la mayor responsable de las cargas contaminantes.
2. Se determinaron las emisiones de GEI en la producción de cemento gris evidenciando que las mismas están vinculadas al proceso de clinkerización, tanto por las reacciones químicas que en él se originan como por la quema de combustibles fósiles.
3. Se pudo constatar que el consumo de agua viene dado principalmente por la producción de pasta debido al proceso de productivo que se utiliza en la empresa (proceso húmedo) y las emisiones de agua ocurren en la fabricación del clinker como consecuencia de la etapa de secado de la pasta.
4. Se aplicó la metodología del ACV mediante el software Sima Pro 9.0.0.35 y ReCiPe punto medio obteniéndose los indicadores de las 18 categorías de impacto siendo las emisiones, el uso de recursos naturales y el consumo de energía eléctrica los subsistemas que mayor inciden en cada una de ellas, dando la posibilidad de determinar la huella de carbono y el perfil de la huella de agua en los cementos P35 y PP25.
5. Debido a que las emisiones en el proceso de clinkerización tienen gran aporte a cada una de las categorías de impacto se propone la sustitución del cemento PP25 por el PZ25, este último utiliza menor porciento de clinker y cumple con los mismos parámetros del PP25. El consumo de energía eléctrica tiene también gran incidencia por lo que se propone la utilización de paneles solares con el objetivo de disminuir el consumo proporcionado por la red eléctrica nacional.
6. La utilización de paneles solares a pesar de contribuir positivamente en la mayoría de las categorías de impacto incluyendo la HC, no beneficia a la HA. Sin embargo, se demostró que a partir la sustitución del PP25 por el PZ25 se logran una disminución del impacto generado en todas las categorías dado principalmente por la reducción del porciento de clinker lográndose un decrecimiento en un 12% en la HC y más de un 15% en el perfil de la HA.

**5. Referencias bibliográficas**

CARDIM DE CARVALHO FILHO, A. 2001. *Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento-Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento*, Universitat Politècnica de Catalunya.

HOSSAIN, M. U., POON, C. S., LO, I. M. & CHENG, J. C. 2017. Comparative LCA on using waste materials in the cement industry: A Hong Kong case study. *Resources, Conservation and Recycling,* 120**,** 199-208.

JOSA, A., AGUADO, A., HEINO, A., BYARS, E. & CARDIM, A. 2004. Comparative analysis of available life cycle inventories of cement in the EU. *Cement and Concrete Research,* 34**,** 1313-1320.

LEÓN-VELEZ, A. & GUILLÉN-MENA, V. 2020. Energía contenida y emisiones de CO2 en el proceso de fabricación del cemento en Ecuador. *Ambiente Construído,* 20**,** 611-625.

LI, C., NIE, Z., CUI, S., GONG, X., WANG, Z. & MENG, X. 2014. The life cycle inventory study of cement manufacture in China. *Journal of Cleaner Production,* 72**,** 204-211.

LU, Y. & SONG, X. 2017. Beyond boundaries: A global use of life cycle inventories for construction materials. *Journal of cleaner production,* 156**,** 876-887.

MORETTI, L. & CARO, S. 2017. Critical analysis of the life cycle assessment of the Italian cement industry. *Journal of Cleaner Production,* 152**,** 198-210.

SONG, D., YANG, J., CHEN, B., HAYAT, T. & ALSAEDI, A. 2016. Life-cycle environmental impact analysis of a typical cement production chain. *Applied Energy,* 164**,** 916-923.

SUMMERBELL, D. L., BARLOW, C. Y. & CULLEN, J. M. 2016. Potential reduction of carbon emissions by performance improvement: A cement industry case study. *Journal of Cleaner Production,* 135**,** 1327-1339.