

Huella de carbono de la producción de cemento en Argentina

Carbon footprint of cement production in Argentina

Diana GONZALEZ

*Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda-CECOVI, Facultad Regional SF, UTN
gonzalezdianelag@gmail.com*

Valentina STORTI

*Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda-CECOVI, Facultad Regional SF, UTN
vstortimaragno@gmail.com*

Resumen

El cemento al ser el componente principal en la producción del hormigón es un material indispensable en la industria de la construcción, y su consumo en aumento, trae aparejado un incremento en las emisiones de CO₂ al medio ambiente. En este trabajo se realiza el inventario de las entradas y salidas asociadas a las distintas etapas que integran el proceso de producción del cemento, a través de la aplicación de la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV). El estudio considera la producción de 1 tonelada de Cemento Portland Normal (CPN) con un enfoque de cuna a puerta, por lo que se contabilizan los aportes debido a la extracción prima, así como el transporte de estas a la cementera. Los resultados muestran que, durante el proceso de producción del clínker, se generan la mayor cantidad de emisiones liberadas a la atmósfera, atribuyendo el 94,42% de emisiones en el sistema.

Palabras clave: Cemento, Análisis de Ciclo de Vida, emisiones de CO₂, clínker.

Abstract

Cement is the main component in the concrete production process and therefore it is an essential material in the construction industry. The increased cement production brings along an increase of CO₂ emissions to the environment. This research carry on the inventory of inputs and outputs related to the different stages of cement production through the Life Cycle Analysis (LCA) methodology. The research is about 1 tonne of Portland Cement with the approach to the cradle to gate, it means that the extraction of raw materials and the transport related with them is taking into account. Throughout the clinker production is where most of CO₂ emissions are produced, giving a 94,42% of all emissions.

Keywords: Cement, Life Cycle Analysis, CO₂ emissions, clinker.

1. Introducción

Anteriormente se han realizado estudios de la factibilidad técnica y ambiental de reemplazar cemento Portland por adiciones minerales, como lo son materiales de descarte de la industria cervecera, (Rosenhurt et al., 2019), (Guilarducci et al., 2020) y residuos de una central térmica (Guilarducci et al., 2018). Sin embargo, aún no se ha definido una metodología en la cual se establezcan procedimientos y simplificaciones que permitan estimar de manera cuantitativa las cargas ambientales asociadas a la producción de cemento en Argentina.

El ACV de la producción de cemento, puede ser realizado en distintas regiones del mundo. Para realizar aseveraciones comparativas, pueden adoptarse los mismos indicadores y unidad funcional, para cada región en estudio. Sin embargo, las entradas y salidas correspondientes a cada proceso unitario, así como diversas simplificaciones pueden variar significativamente de una región a otra. Esto se debe a que la calidad de los combustibles, matriz energética, métodos, rendimientos y tecnologías de producción son propios del lugar donde se realiza el estudio y característicos del objetivo o fin perseguido en el ACV. Por esto, para la realización del inventario

del ACV se debe conocer con anterioridad y en detalle el proceso productivo local del producto, según (Gonzalez et al., 2021).

En el presente trabajo se realiza el ACV, de acuerdo a lo establecido en las normas IRAM-ISO 14040:2008 e IRAM-ISO 14044:2008, de un cemento Portland Normal, considerando las prácticas usuales de producción en Argentina, adoptando criterios para la cuantificación de entradas y salidas del proceso analizado. Dicho ACV será empleado en trabajos futuros como patrón de comparación.

2. Definición del alcance del ACV

2.1. Unidad funcional

Se adopta como unidad funcional la producción de 1 tonelada de cemento Portland sin adiciones, contemplando únicamente el uso de Clinker y yeso como estabilizador. Las cantidades de los materiales utilizados se expresan en toneladas por unidad funcional.

2.2. Indicadores.

Al finalizar la contabilidad de las entradas y salidas dentro de un proceso productivo, el ACV tiene la finalidad de establecer indicadores dentro de distintas categorías de impactos. Las emisiones de CO₂ generadas por tonelada de cemento producido son expresadas en tCO₂/t, a su vez este indicador está dentro la categoría de calentamiento global. El consumo de recursos energéticos por tonelada de cemento producido es expresado en MJ/t.

En lo referente al cálculo del CO₂ por consumo de energía eléctrica ($CO_{2-ee}^{(EE)}$) se empleó el factor de emisiones proporcionado para la red de energía eléctrica de Argentina de: 0,4282 tCO₂/MWh según (Secretaría de Energía de la Nación Argentina, 2015).

2.3. Límites del sistema y procesos unitarios

Definiendo los límites del sistema, se obtienen los procesos unitarios a contemplar para la realización del inventario. En este trabajo se realiza un análisis de la cuna a la puerta, considerando desde la extracción de la materia prima a la puerta de salida de la cementera.

El proceso de producción del cemento involucra los siguientes procesos unitarios: extracción y trituración de la materia prima, prehomogeneización, dosificación de la harina cruda, molienda y homogeneización de crudo, clinkerización, enfriamiento, molienda y mezclado final.

3. Proceso de Producción del cemento en Argentina

3.1. Extracción de materia prima

La materia prima es extraída de canteras, empleándose rocas calcáreas, que proveen el óxido de calcio (CaO) y rocas arcillosas que proporcionan la sílice (SiO₂) y la alúmina (Al₂O₃). Se adoptó como criterio de simplificación que ambas rocas (calcárea y caliza) provienen de la misma cantera de explotación. El óxido de hierro es el único rectificador a emplear y para el mismo las emisiones generadas únicamente son las debidas a su traslado hasta la planta cementera.

Se estima que para producir una tonelada de clínker se emplean 1,5 toneladas de materias primas según (Gursel, 2014). Para el cálculo de las proporciones y cantidades de materias primas que ingresan al sistema se tomaron como referencia datos obtenidos de un relevamiento en una planta de producción nacional indicadas en el artículo de (Arena et al., 2002). Las proporciones adoptadas son: 82,8% caliza, 15,6% arcilla y 1,6% óxidos de hierro.

Para el proceso de extracción de estos materiales se utilizan los combustibles: carbón bituminoso, gas natural, fuel oil y gasolina. Los poderes caloríficos y emisiones de CO₂ asociadas a la quema de estos combustibles, se encuentran resumidos en la Tabla 1. Los mismos son los extraídos de los datos publicados en (Secretaría de Energía de la Nación Argentina, 2008) por tratarse de datos nacionales y representativos de la industria argentina.

A continuación, se puede observar la Tabla 1 comentada previamente con un resumen de los poderes caloríficos y factores de emisión de cada combustible respectivamente.

Combustible	Unidad	Poder calorífico [kcal/unidad]	Factores de emisión [kg CO ₂ -eq/TJ]
-	-		
Carbón Bituminoso	kg	5900	94509
Gas Natural	m ³	8300	56140
Diésel/Fuel Oil	l	8619	74354
Gasolina	l	7607	69300

Tabla 1. Poderes caloríficos de los combustibles utilizados.

3.2. Transporte de materia prima

El impacto del transporte de las materias primas hasta cada una de las plantas cementeras en estudio se evalúa considerando la huella del transporte de carga por medio de camiones. Estableciendo un consumo medio de 383,04 KJ/tkm de un camión tipo según el indicador de referencia de (Marchese y Goliato, 2011) y con un poder calorífico del diésel de 74.354 KgCO₂/TJ, valor extraído de la Tabla 1, se establece la huella del transporte de carga de 28,48 gCO₂-eq/tkm. En la Tabla 2 se resumen las emisiones generadas en tonelada de CO₂-eq por tonelada de material para el transporte de cada materia prima hasta la planta.

3.3. Trituración de materias primas

El material extraído de la cantera debe poseer un tamaño aproximado de 30 mm previo al inicio del proceso de producción del cemento. Para esto, se realiza un proceso de trituración constituido por dos etapas: primaria y secundaria mediante trituradoras de impacto, de rodillos, de mandíbula giratoria y de cono. Las tres últimas a diferencia de la primera, funcionan rompiendo el material a través de una combinación de esfuerzos de compresión, fricción y corte. Estos últimos, son los métodos más empleados en Argentina, debido a que poseen más desgaste que el método por impacto y representa un menor gasto de energía (Rueda et Barbieri, 2020). La fuente de energía asociada a este proceso es la electricidad (Gursel, 2014).

3.4. Prehomogeneización

El material que sale de la trituradora es prehomogeneizado en acopios. El método de prehomogeneización más empleado es el sistema Chevron (Rueda y Barbieri, 2020).

3.5. Dosificación y Molienda

Los materiales dosificados ingresan a los molinos donde son mezclados y pulverizados a una finura adecuada para optimizar la calcinación (Rueda y Barbieri, 2020).

Las cantidades de materias primas que ingresan a la etapa de dosificación corresponden a las cantidades de óxido de hierro, arcilla y caliza extraída de la cantera menos el material particulado liberado en las etapas de trituración y de prehomogeneización. En su conjunto, la totalidad de estos materiales resultantes de la etapa de dosificación conforman lo que se denomina “harina cruda” (Gursel, 2014).

Para esta molienda se emplean en la actualidad molinos verticales de rodillo debido a su excelente eficiencia en la molienda, combinada con una gran producción, bajo costo energético y una gran capacidad de secado de los materiales (Rueda y Barbieri, 2020).

3.6. Homogeneización y almacenaje del crudo

Este procedimiento se realiza en silos de homogeneización continua por mezcla, en el cual se realiza tanto el almacenamiento como la homogeneización, realizando la mezcla durante la descarga en un flujo en forma de embudo (Rueda y Barbieri, 2020).

3.7. Clinkerización

La clinkerización es la transformación de la materia prima a Clinker, la cual se lleva a cabo en hornos rotatorios a través de reacciones continuas en distintos procesos durante tratamiento térmico. La temperatura dentro del horno puede alcanzar entre 1400 a 1600°C. Para esto, en el

extremo inferior del horno se encuentra la fuente de calor que consiste en quemadores que pueden funcionar a gas, fuel oil o carbón pulverizado y algunos subproductos (Giovambattista A., 2011), (Rueda y Barbieri, 2020).

La cantidad de clínker que se obtiene a la salida del horno es la correspondiente a harina cruda reducida en un 35%, menos las pérdidas de material (material particulado, PM₁₀) durante el proceso de calcinación dentro del horno, además de los 38,6 kg en promedio de polvo de cemento del horno que es descartado (CKD por sus siglas en inglés), (Gursel, 2014).

Las ecuaciones y los factores empleados para el cálculo del material particulado corresponden a los indicados por (Gursel, 2014). A partir de obtener la pérdida de material en los procesos unitarios previos al clinkerizado, y debido a este último, se obtuvieron las cantidades necesarias de caliza, arcilla y óxido de hierro para obtener a la salida de la etapa de clinkerización las 0,95 toneladas de clínker necesarias para elaborar una tonelada de Cemento Portland Normal (CPN).

3.8. Enfriamiento del Clinker

Se realiza un enfriamiento acelerado luego de la clinkerización para producir granos de tamaño adecuado que favorezcan el proceso de molienda posterior.

Los enfriadores pueden ser de rejillas o parrillas, tubulares rotativos, planetarios o de pozo. Los que se emplean comúnmente son los de rejilla o parrilla por su gran flexibilidad y se amoldan a todas las condiciones del horno. El clínker sale del enfriador a 80-100°C y puede ser conducido para su almacenamiento (Rueda y Barbieri, 2020).

3.9. Molienda del cemento

En el proceso de molienda final se introduce el yeso para el control del fraguado logrando un tamaño de partícula de todos los componentes de la mezcla menores de 40 µm (Giovambattista A., 2011), (Castiarena A. N., 1994). Respecto de la cantidad de yeso empleado en la producción de una tonelada de CPN, se establece una proporción de 0,05 t de yeso por cada 0,95 t clínker. Actualmente en este proceso se utilizan en su mayoría, los molinos verticales ya que proveen un ahorro importante de energía, son simples de operar y de mantener, (Rueda y Barbieri, 2020). La etapa de molienda final es la que consume el 30-40% del total de energía eléctrica empleada en la producción de cemento (Gursel, 2014).

3.10. Caso de estudio

Para estimar distancias desde las canteras de extracción de las materias primas a la planta de elaboración de cemento, se consideró que esta se encuentra en la localidad de Pico Truncado. Para determinar la ubicación geográfica de las canteras de caliza y arcilla más cercanas a la planta cementera se empleó el Sistema de Información Geológica Ambiental Minera (SIGAM). Se realiza la simplificación de considerar que las arcillas empleadas provienen de la misma cantera de la caliza. La cantera de caliza y arcilla seleccionada es *La Esther*, la cual se encuentra en la localidad homónima, en la provincia de Chubut.

Otra de las simplificaciones establecidas para el presente estudio es la de considerar que para la materia prima empleada en el proceso no es necesario incorporar otro rectificador que no sean óxidos de hierro, los cuales funcionan, además, como fundentes. Para estos últimos, la cantera seleccionada es *La Peseña*, ubicada en la provincia de San Juan.

Por su parte, la cantera de yeso seleccionada corresponde a la identificada como *Puelches*, la cual se encuentra en la localidad homónima a esta última, en la Provincia de La Pampa.

A partir de estas consideraciones, a continuación, se resumen en la Tabla 2, las distancias a considerar en el transporte de las materias primas hacia la planta cementera de Pico Truncado, así como las emisiones generadas en tonelada de CO_{2-eq} por tonelada de material para el transporte de cada materia prima hasta la planta.

Planta cementera Pico Truncado			
Materia prima	Distancia [km]	Factor de emisión [g CO ₂ -eq/t.km]	Factor de emisión [t CO ₂ -eq/t]
-			
Caliza y arcilla	337	28,48	0,0096
Óxido de hierro	2369	28,48	0,0675
Yeso	1199	28,48	0,0341

Tabla 2. Emisiones generadas por tonelada de material debido al transporte de estos a la planta.

4. Resultados y discusión

A continuación, se puede observar en la Tabla 3, un resumen de las emisiones generadas en los distintos procesos unitarios respectivamente. Posterior a esto, de modo que se pueda visualizar de forma más clara y precisa, en el Gráfico 1, se observa la influencia de cada proceso unitario en cuanto a emisiones de CO₂, en el proceso de producción. En dicho gráfico se muestra que el 94,42% de las emisiones de CO₂ generadas se realizan dentro del horno, respecto de las emisiones totales generadas en todo el proceso de producción.

Procesos unitarios	CO ₂ -eq [t]	PM ₁₀ [t]
Extracción y Trituración	0,020	0,0000012
Prehomogeneización	0,00020	0,0011
Dosificación y molienda de harina cruda	0,0080	0,0000010
Homogeneización del Crudo	0,00044	0,00
Clinkerización	0,76	0,00016
Enfriamiento	0,0027	0,00000053
Molienda y mezclado	0,013	0,00000066
Total	0,80	0,0013

Tabla 3. Resumen de las emisiones en los procesos unitarios que conforman la producción de 1 tonelada de Cemento Portland Normal (CPN).

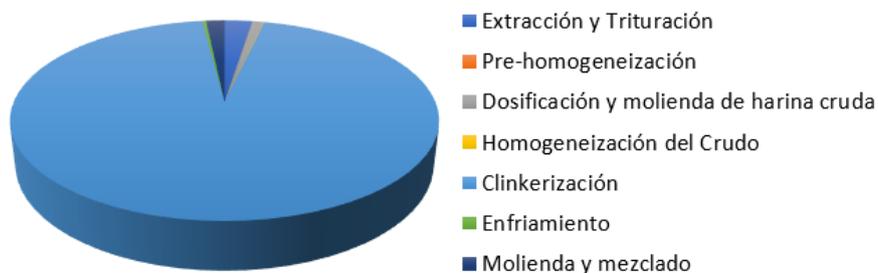


Gráfico 1. Influencia en las emisiones de CO₂ de cada proceso unitario en la producción de cemento.

5. Conclusiones

Se pudo obtener una huella de carbono por tonelada de cemento producido de 0,80 tCO₂/t, de los cuales 0,76 tCO₂/t son liberados en el horno. En el informe de (Arena et al., 2002), cuyas emisiones y datos obtenidos provienen de una recopilación de información obtenida de una planta de producción nacional, se tiene una huella de carbono de 0,82 tCO₂/t de las cuales aproximadamente 0,75 tCO₂/t son generadas en el proceso de cocción (clinkerización).

Se observa que, si bien las emisiones de tCO₂/t generadas en el horno son del mismo orden, las emisiones totales obtenidas de todo el proceso de producción varían. Sin embargo, dicha diferencia es del 2,5% y puede deberse a diferencias particulares de cada caso de estudio analizado, por lo cual varían las distancias tenidas en cuenta en el transporte de la materia prima. Finalmente, los resultados obtenidos mediante la metodología empleada concuerdan con los

que se obtendrían de un relevamiento de la producción de cemento de una planta representativa nacional.

Referencias

- Gonzalez D., Rosso L., Storti V., (2021). “Criterios para el análisis de ciclo de vida de la producción de cemento”, Jornada de Jóvenes Investigadores Tecnológicos (JIT), Santa Fe, Argentina, 3 y 4 de noviembre, 208-212.
- Guilarducci A., Grether R. O., Carrasco M. F, y Gonzalez D., (2020). “Reutilización de tierra de diatomeas como adición mineral para el cemento”, Congreso de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón (AATH), Virtual, 4 al 6 de noviembre.
- Rosenhurt, N., Rosso, L. y Albano L. (2019). “Estudio del uso de tierras de diatomeas residuales en la generación de eco-cementos”, Jornada de Jóvenes Investigadores Tecnológicos (JIT), Rosario, Argentina, 26 y 27 de septiembre, 45-46.
- Guilarducci, A. G., (2018). “Generación de Adiciones Minerales para el Cemento a Partir de Residuos de Centrales Termoeléctricas de Lecho Fluidizado”, Tesis (Doctorado en Química), Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería Química, Santa Fe, Argentina.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), (2008). *Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices* (IRAM-ISO 14044).
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), (2008). *Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia* (IRAM-ISO 14040).
- Gursel, A.P. (2014). “Life-Cycle Assessment of Concrete: Decision-Support Tool and Case Study Application”, Thesis (Doctor of Philosophy in Engineering – Civil and Environmental Engineering), University of California, Berkeley.
- Waldron, C. (1996). “Capítulo 3: Combustión móvil”, Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, 16.
- Marchese R. y Golato M. (2011). “El Consumo de Combustible y Energía en el Transporte”, Research Gate, 8.
- Arena A. P., Correa E. N. y de Rosa C., (2002). “Perfil ambiental del cemento Portland producido en la región Oeste Argentina, según la metodología del IPCC”, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, vol. 6, nº 1, pp. 01.47-01.52.
- Secretaría de Energía. Ministerio de Economía. Presidencia de la Nación. (2015). “Cálculo del Factor de Emisión de CO₂ de la Red Argentina de Energía Eléctrica”. Disponible en <http://datos.minem.gob.ar/dataset/calculo-del-factor-de-emision-de-co2-de-la-red-argentina-de-energia-electrica>.
- Secretaría de Energía. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Presidencia de la Nación. (2008). “2da Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático”. Disponible en <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/segunda-comunicacion>.
- Rueda, E. y Barberi, D. (2020). “Tecnología básica de los cementos y marco normativo argentino”, Instituto del Cemento Portland Argentino (ICPA), Webinar 22-2020. Disponible en <https://web1.icpa.org.ar/index.php/2020/12/02/tecnologia-basica-cementos-marco-normativo-argentino/>.
- Giovambattista A., (2011). “Hormigón. Materiales, vida útil y criterios de conformidad y su consideración en el reglamento CIRSOC 201-2005”, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Buenos Aires, Argentina.
- Castiarena A. N., (1994). Curso de Tecnología del Hormigón, Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Buenos Aires, Argentina.
- Brunatti C. A., (2014). “La industria del cemento y la sostenibilidad”, Asociación Fabricantes de Cemento Portland (AFCP), Buenos Aires, Argentina.
- Ministerio de la Industria y Desarrollo Productivo. Presidencia de la Nación. Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). Disponible en <https://www.argentina.gob.ar/produccion/segemar>.