

## **Resumen del “Life cycle assesment of clinker and cement production in Spain. Environmental assesment of decarbonisation measures”**

El cemento, material esencial en la construcción y las infraestructuras, se fabrica moliendo clínker, yeso y aditivos. El clínker, su principal componente, es también la mayor fuente de impacto ambiental. Se produce al calentar en un horno a 1.450 °C una mezcla de caliza, arcilla y arena. La industria cementera es altamente intensiva en energía y emisiones, y representa alrededor del 7% del consumo energético industrial y entre el 7 y 8% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>.

Este estudio compara el impacto ambiental de producir clínker y un cemento promedio en España, utilizando datos reales de producción de 2021 como escenario base. También analiza los escenarios futuros de 2030 y 2050, incorporando medidas de descarbonización recogidas en la hoja de ruta del sector cementero español, como la sustitución de combustibles fósiles por combustibles derivados de biomasa y residuos, mejoras en la eficiencia térmica y la reducción del contenido de clínker en el cemento.

Para esta evaluación ambiental se utilizó la metodología del análisis de ciclo de vida (ACV), siguiendo los estándares internacionales ISO. Se utilizó un enfoque de “cuna a puerta” que abarca desde la adquisición de materias primas hasta la salida de los productos en la puerta de la fábrica. Las unidades funcionales fueron 1 tonelada de clínker y 1 tonelada de cemento para sus respectivos análisis. El estudio se realizó con el software SimaPro y la base de datos Ecoinvent. Se evaluaron 11 categorías de impacto, incluyendo agotamiento de recursos (abióticos (ADP) y fósiles (ADP-FF)), potencial de calentamiento global (GWP100), destrucción de la capa de ozono (ODP), formación de ozono fotoquímico (POCP), acidificación (AP), eutrofización (EP) y 4 categorías de ecotoxicidad (humana (HTP), terrestre (TETP), marina (MAETP) y de agua dulce (FAETP)). La producción de clínker se analizó en seis etapas, destacando el uso de combustibles en el horno (desglosados en sus 4 tipos), y la calcinación de la caliza entre otras. Para el cemento, se añadieron las etapas específicas de su producción final.

En el escenario base para el clínker, el uso de combustibles en el horno fue la principal fuente de impactos en casi todas las categorías evaluadas. La única excepción es el potencial de calentamiento global, dominado por las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas durante la calcinación de la caliza para obtener óxido de calcio, aunque los combustibles fósiles siguen siendo el segundo factor más relevante. Al analizar el tipo de combustibles utilizado, se observa que los fósiles tienen impacto dominante en 6 de las categorías evaluadas, mientras que, en las cinco restantes, los combustibles parcialmente basados en biomasa (puros o parcial) tienen una contribución importante.

En los escenarios de 2030 y 2050, se incrementó el uso de combustibles con biomasa, tanto parcial como pura, hasta cubrir el 60% y 90% de la energía térmica, respectivamente, para fabricar el clínker. Este cambio fue acompañado por mejoras en la eficiencia de los hornos, lo que redujo el consumo energético por tonelada de clínker. Como resultado, disminuyeron los impactos en categorías dominadas por combustibles fósiles (ADP-FF, GWP100, HTP, MAETP, POCP y AP). Sin embargo, en las cinco categorías más sensibles al uso de biomasa (ADP, ODP, FAETP, TETP y EP), el aumento significativo de esta fuente energética generó un incremento en sus impactos ambientales, evidenciando que este cambio reduce algunos impactos, sin embargo, aumenta otros.

Para evaluar el impacto en la producción del cemento, se añadieron a las etapas del clínker las propias de su producción. El comportamiento ambiental del cemento siguió una tendencia similar a la del clínker, ya que éste representa la mayor parte de sus emisiones, excepto en la categoría de agotamiento abiótico, donde las etapas específicas del cemento tienen mayor relevancia. En los escenarios futuros (2030 y 2050), al reducir la proporción de clínker en el cemento al 75% y 65%, mediante el uso de caliza o puzolana como aditivos, se reveló una tendencia clara: en las categorías de impacto altamente dependientes del uso de combustibles fósiles, los impactos disminuyeron tanto por la reducción de su uso como por la menor proporción de clínker en el cemento. Sin embargo, para las categorías altamente dependientes del uso de combustibles derivadas de la biomasa, el aumento de esta fuente de energía incremento los impactos y ese incremento fue mayor cuando las etapas adicionales de fabricación del cemento tenían un mayor peso.

Si bien los resultados de este trabajo respecto al potencial de calentamiento global para clínker y cemento en el escenario base son consistentes con los reportados por la literatura científica, al comparar el resto de categorías de impacto evaluadas se revelan diferencias que se pueden atribuir a variaciones metodológicas, de alcance, y de contexto geográfico o temporal. Aunque los resultados son del mismo orden magnitud, las diferencias observadas, similares a las que existen entre estudios, resaltan la necesidad de una mayor armonización metodológica en el ACV para mejorar la comparabilidad entre investigaciones.

La aplicación de medidas de descarbonización permitió reducir las emisiones en un 12% y 23% para el clínker y en un 18% y 36% para el cemento en los escenarios de 2030 y 2050 respectivamente. Sin embargo, estas estrategias también generaron aumentos en otras categorías de impacto, debido a la transferencia de cargas ambientales. Esto destaca la importancia de adoptar enfoques integrales en las evaluaciones y en el diseño de medidas de descarbonización.

Aunque las medidas aplicadas han mostrado efectividad en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, otras estrategias clave, como el uso de materias primas descarbonatadas y la captura y almacenamiento de carbono, no se han analizado en este estudio debido a su baja madurez tecnológica y comercial. Sin embargo, los resultados obtenidos en la afección de otros impactos además del calentamiento global hacen necesario incluir estas medidas en futuros análisis, especialmente al de captura de carbono que está experimentando una fuerte aceleración.

La figura 1 muestra los resultados del ACV del clínker en los escenarios 2030 y 2050 según las medidas analizadas respecto al escenario actual (2021). La Figura 2 hace lo mismo para el cemento. Tal como se ha comentado, se dan reducciones en algunos impactos pero aumento en otros.



Figura 1. Efecto en el clinker de las medidas analizadas sobre las categorías de impacto contempladas en el análisis de ciclo de vida, respecto del escenario actual (2021).

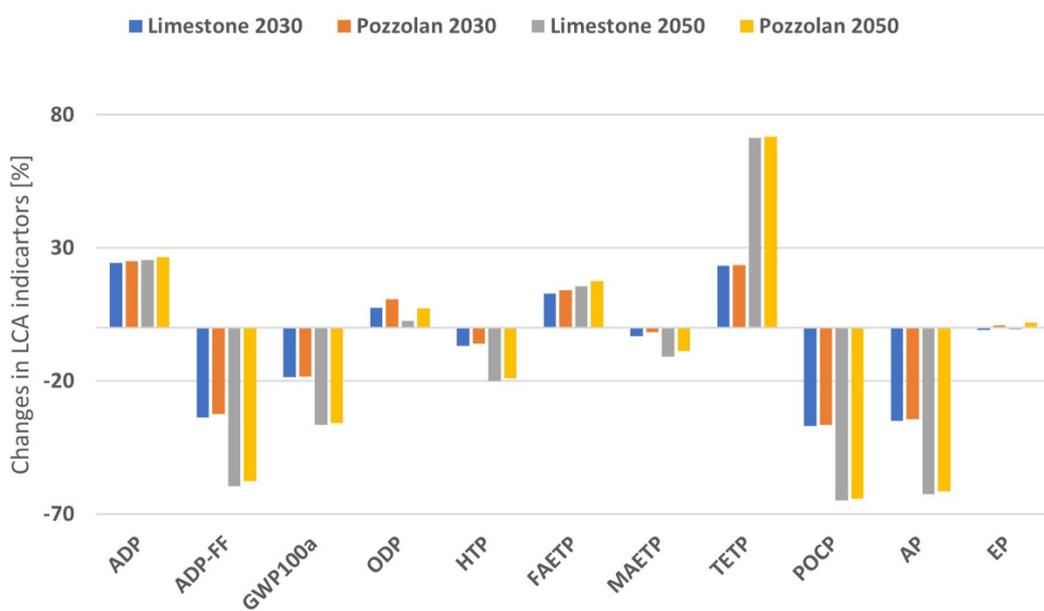


Figura 2. Efecto en el cemento de las medidas analizadas sobre las categorías de impacto contempladas en el análisis de ciclo de vida, respecto del escenario actual (2021).