

Artículo Técnico

LIFE HYPOBRICK.**Hacia una economía hipocarbónica: Desarrollo de materiales de construcción de bajo impacto ambiental a partir de residuos**

Mónica Vicent Cabedo y F. Javier García Ten, Instituto de Tecnología Cerámica (ITC-AICE)
Diego García Fogeda, Ladrillos Mora, S.L.

La Comisión Europea se ha comprometido a alcanzar una Europa climáticamente neutra antes de 2050. La industria, más concretamente la cerámica, está trabajando para conseguirlo.

El objetivo principal del Proyecto LIFE HYPOBRICK ha sido demostrar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la fabricación de productos cerámicos utilizando un proceso que conlleva una reducción considerable de emisiones de CO₂ para cumplir con las directrices climáticas y medioambientales de la Unión Europea.

En el caso de estudio español del Proyecto LIFE HYPOBRICK, que es el que se describe en este artículo, se han fabricado por activación alcalina ladrillos caravista sostenibles con propiedades similares a las de sus homólogos cerámicos. Estos ladrillos se han producido eliminando la etapa de cocción y sustituyéndola por una etapa de curado a 85 °C. Como materiales de partida se han empleado residuos. Con el objetivo de ampliar la variedad de residuos susceptibles de ser utilizados, se han ensayado tanto residuos silicoaluminosos (activables) como otros (no activables) introducidos como material de relleno, valorizando residuos que actualmente se están vertiendo.

Producto: Ladrillo cara vista

Dirigido a: Proyectistas y Fabricantes

Contenidos: Fabricación

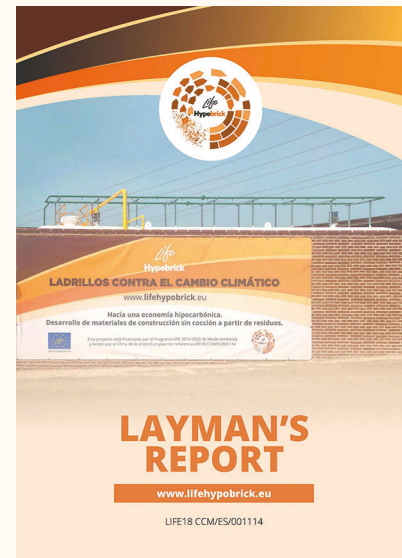


Figura 1. Informe divulgativo del Proyecto LIFE HYPOBRICK.

Urgencia en el desarrollo de materiales de construcción sostenibles en Europa

El creciente interés en materiales de construcción sostenibles revela dos necesidades críticas en nuestra sociedad actual:

1. Gestión eficiente de recursos:

- Objetivo: Reducir la dependencia de materias primas vírgenes.
- Contexto: Recursos naturales prácticamente agotados.

2. Compromiso con la neutralidad climática:

- Meta de la Unión Europea (UE): Alcanzar la neutralidad climática para 2050.
- Estrategia: Implementación del Pacto Verde Europeo¹.
- Objetivos intermedios:
 - › Reducción de al menos un 55 % en emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para 2030, comparado con niveles de 1990.
 - › Transformar la UE en una economía moderna, eficiente y competitiva.

Existen distintos tipos de GEI y su contribución al calentamiento global varía dependiendo de cada uno de ellos²:

- El dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), entre otros, están presentes en la atmósfera de manera natural, pero son también generados por las actividades humanas y cuando se generan en gran cantidad son perjudiciales.
- Los gases fluorados de efecto invernadero son el tipo más potente y persistente de gases de efecto invernadero emitidos por actividades del ser humano. Pueden producir un efecto invernadero miles de veces mayor que el CO₂. Se incluyen en este tipo los hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarburos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF₆) y el trifluoruro de nitrógeno (NF₃).

Los gases de efecto invernadero tienen un potencial de calentamiento global diferente. Para poder compararlos y sumar su potencial contaminador, su impacto suele convertirse en CO₂ equivalente.

La neutralidad climática o neutralidad de carbono se consigue cuando se emite la misma cantidad de CO₂ a la atmósfera de la que se retira por distintas vías, lo que deja un balance cero, también denominado huella cero de carbono. Hay distintas formas de conseguir este equilibrio: la más saludable es no emitir más CO₂ del que pueden absorber de forma natural los bosques y las plantas, que funcionan como sumideros de carbono a través del proceso de fotosíntesis –asimilan CO₂ atmosférico y lo transforman en oxígeno, con lo que ayudan a reducir las emisiones–. También se pueden reducir emisiones y avanzar hacia la neutralidad de carbono a través de la llamada “compensación de carbono”, que consiste en equilibrar las emisiones emitidas en un sector determinado mediante la reducción de CO₂ en otro lugar. Esto puede conseguirse a través de las inversiones en energía renovable, eficiencia energética y otras tecnologías no contaminantes³.

Estas medidas consolidarán a Europa como líder en sostenibilidad, marcando un hito en la gestión eficiente de recursos y la lucha contra el cambio climático.

La industria cerámica: un sector intensivo en energía

Las industrias intensivas en energía se caracterizan por su alto consumo energético en sus procesos de manufactura. La industria cerámica se clasifica dentro de este grupo debido al alto consumo energético y el principal factor es la etapa de cocción, que requiere alcanzar altas temperaturas. En consecuencia, da lugar a un importante impacto ambiental ya que la mayor fuente de emisiones es la emisión de CO₂ durante la cocción.

La industria cerámica europea emplea hoy a más de 200.000 personas en la UE-27, alrededor del 80% de ellas en PYMEs. Las empresas líderes mundiales tienen su sede en la UE y la industria desarrolla empleados altamente cualificados y formados. Como una de las industrias más antiguas de la humanidad, la industria cerámica europea es un sector estratégico y orientado al futuro. A través de su compromiso continuo con la innovación, la industria cerámica ha demostrado su voluntad y capacidad para contribuir al desarrollo de una economía competitiva con bajas emisiones de carbono y eficiente en el uso de los recursos en las próximas décadas. Con su amplia gama de aplicaciones, desde la construcción a los bienes de consumo, los procesos industriales y las tecnologías de vanguardia, la industria cerámica desarrolla constantemente soluciones innovadoras y de alto valor que mejoran nuestra calidad de vida y facilitan un progreso vital en los sectores derivados. Por ello y a la luz del objetivo de la UE de alcanzar la neutralidad climática en 2050, la Asociación Europea de Industrias Cerámicas (CERAME-UNIE), en su condición de representante de la industria cerámica europea, presentó en 2021 la nueva Hoja de Ruta de la Cerámica hasta 2050⁴, haciendo hincapié al tema de la descarbonización del sector cerámico.

En este momento ya hay iniciativas para la reducción de emisiones. El sector cerámico está explorando alternativas como la captura de CO₂ y la sustitución de gas natural por electricidad y combustibles alternativos (biogás, hidrógeno). Estas medidas buscan mitigar el impacto ambiental del proceso de producción cerámica, adaptándose a las crecientes demandas de sostenibilidad en la industria.

Otras alternativas que también se están estudiando son la modificación de la formulación de las composiciones de baldosas y de esmaltes cerámicos⁵, aunque con todas ellas difícilmente se conseguirá llegar a los niveles de emisiones requeridos por la UE en 2050.

Sin embargo, una alternativa para reducir las emisiones que cambiaría por completo tanto los materiales de partida como el proceso de fabricación es la activación alcalina.

Tecnología de activación alcalina: una alternativa sostenible

La activación alcalina es un proceso químico en el cual un material pulverulento de naturaleza silicoaluminosa se mezcla con un activador alcalino para generar un material con capacidad de fraguar y endurecer en un corto periodo de tiempo sin necesidad de tratamiento térmico a elevadas temperaturas. El material resultante, que se conoce con el término geopolímero, puede presentar una amplia variedad de propiedades y características, entre ellas una elevada resistencia mecánica, dependiendo de las condiciones en las que se desarrolla el proceso⁶.

Por lo tanto, la activación alcalina emerge como una solución innovadora para reducir las emisiones de CO₂ en la industria cerámica:

- Características principales:
 - › Tecnología de muy bajo consumo energético.
 - › Elimina la etapa de cocción, sustituyéndola por curado a una temperatura menor de 100 °C.
- Ventajas medioambientales:
 - › Considerable ahorro de energía.
 - › Reducción drástica de emisiones de CO₂.
 - › No sólo se reducen las emisiones de dióxido de carbono, sino también las emisiones de compuestos de azufre, flúor y cloro que se emiten en el proceso de cocción de los materiales cerámicos tradicionales.

- › Posibilidad de utilizar residuos silicoaluminosos como precursores. Por lo tanto, se disminuye el uso de recursos naturales y se aprovechan residuos que hoy en día van destinados a vertederos.

- Impacto en el proceso de fabricación:
 - › Cambio en materiales de partida.
 - › Modificación del proceso de producción.

La combinación de la reducción de emisiones de CO₂ y del uso de residuos hace de la activación alcalina una tecnología atractiva desde una perspectiva ambiental, promoviendo una industria cerámica más sostenible.

El Proyecto LIFE HYPOBRICK ejemplifica la aplicación práctica de la economía circular y la simbiosis industrial en el sector cerámico. Este Proyecto se ha centrado en la fabricación de ladrillos sostenibles mediante activación alcalina, utilizando residuos del propio sector cerámico y de otros sectores industriales. El Proyecto abarca dos casos de estudio distintos: en España se ha trabajado en la producción de ladrillos caravista para fachadas, mientras que en Alemania el enfoque ha sido la fabricación de bloques huecos para particiones internas. Diferentes casos de estudio demuestran la versatilidad y el potencial de las técnicas de activación alcalina en distintos contextos y para diversos productos cerámicos, contribuyendo así a una industria más sostenible y eficiente en el uso de recursos.

A continuación, se describe solamente el caso de estudio español.

Ladrillos HYPOBRICK: un ejemplo de ladrillos caravista sostenibles

La clave del Proyecto LIFE HYPOBRICK es la eliminación de la etapa de cocción, que en los ladrillos cerámicos de uso caravista se suele llevar a cabo en un intervalo entre los 800-1200 °C, sustituyéndose por un proceso de activación alcalina a baja temperatura, que en el Proyecto se ha optimizado en 85 °C (Figura 1).

Como materiales de partida, se han utilizado residuos silicoaluminosos y un reactivo químico que se denomina activador alcalino. Al mezclarse los residuos con el activador y someterse a una etapa de curado da lugar a un producto compacto con elevados valores de resistencia mecánica. Las principales diferencias del proceso de activación alcalina (Figura 2), con respecto al cerámico tradicional, son la sustitución de la fase de cocción por una fase de curado a baja temperatura y la posibilidad de reciclar una amplia variedad de residuos industriales en lugar de utilizar materias primas vírgenes.



Figura 2. Proceso de fabricación de ladrillos activados alcalinamente.

1. Pacto Verde Europeo: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es.
2. Cambio climático: gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global: <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20230316STO77629/cambio-climatico-gases-de-efecto-invernadero-que-causan-el-calentamiento-global>.
3. ¿Qué es la neutralidad de carbono y cómo alcanzarla para 2050?: <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20190926STO62270/que-es-la-neutralidad-de-carbono-y-como-alcanzarla-para-2050>.
4. Ceramic Roadmap to 2050 published by Cerame-Unie - The European Ceramic Industry Association: <https://www.ceramicroadmap2050.eu/>.
5. M.F. Quereda, M-M. Lorente-Ayza, A. Saburit, M. Soriano, E. Miguel, P. Escrig, I. Segura. Nuevas composiciones para una industria cerámica hipocarbónica. Qualicer 2020.
6. M. Monzó, A. Fernández-Jiménez, M. Vicent, A. Palomo, A. Barba. Activación alcalina de metacaolín. Efecto de la adición de silicato soluble y de la temperatura de curado Bol. Soc. Esp. Ceram. V., 47, 1, 35-43, 2008: <https://digital.csic.es/handle/10261/3938>.

En el contexto del Proyecto, se han evaluado residuos tanto del sector cerámico, como es el caso del tiesto cocido de ladrillos cerámicos, así como residuos de otros sectores industriales. Entre los residuos industriales que se han estudiado se incluyen cenizas volantes de plantas de generación de energía eléctrica a partir de energía térmica, como la liberada por combustibles fósiles, como es el caso del carbón (Figura 3), vidrio de Tubos de Rayos Catódicos (Cathode Ray Tubes - CRT) (Figura 4), vidrio de placas solares (Figura 5), fracción mineral de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) (Figura 6) y residuos arcillosos procedentes del lavado de arenas (Figura 7).

Un caso claramente a destacar es la valorización del vidrio de CRT, que solía emplearse durante los últimos 70 años para fabricar las pantallas de los antiguos monitores y televisores, pero que ha sido reemplazado por tecnologías más modernas como plasma (Plasma Display Panels - PDP), LCD (Liquid Crystal Displays) y LED (Light Emitting Diode). Al ser una tecnología totalmente obsoleta y casi en desuso, el vidrio de estos tubos, que contiene grandes cantidades de plomo, actualmente se sele depositar en vertederos de residuos peligrosos, representando un serio riesgo para el medio ambiente. Si bien la cantidad de vidrio CRT en vertederos irá disminuyendo con la implantación de esas nuevas tecnologías de monitores y televisores, el estudio descrito en este artículo demuestra las posibilidades de reutilización de otros residuos de vidrio contaminados con otros óxidos.

Considerando la composición química y las fases cristalinas presentes en los diversos residuos analizados, junto con los requisitos técnicos y normativos del producto final (ladrillos caravista), se ajustó una formulación para la fabricación de ladrillos activados alcalinamente, la cual se optimizó en el desarrollo del Proyecto. Esta formulación se ha basado en diferentes proporciones de residuos y tamaños de partículas. En particular, se utilizó el vidrio de CRT triturado a 2 mm para minimizar el riesgo de lixiviación de plomo⁷ y la fracción mineral de RCD, compuesta mayoritariamente por tiesto cocido de ladrillo cerámico, molturada a un tamaño menor de 200 µm. Además, se incorporó en la mezcla el activador alcalino.

A partir de esta fórmula, se prepararon muestras de ladrillos a escala de laboratorio (Figura 8) y se caracterizaron completamente, obteniéndose unas piezas con buenas propiedades mecánicas, resistentes a la helada, sin presencia de eflorescencias y con la capacidad de no lixiviar, pudiéndose encapsular el plomo que contenía el vidrio dentro de la estructura del material activado alcalinamente (Tabla 1).

Propiedad (unidades)	Ladrillos HYPOBRICK
Densidad aparente, (kg/m³)	1700
Absorción de agua (%)	16
Resistencia a la compresión (N/mm²)	32
Resistencia a la helada	Sin defectos
Eflorescencias	No
Lixiviado	No

Tabla 1. Caracterización de los ladrillos activados alcalinamente obtenidos a escala de laboratorio.

Posteriormente, dentro del marco del Proyecto, se construyó un prototipo a medida (Figura 9) en las instalaciones de Ladrillos MORA, S.L. en Illescas (Toledo) en el que fabricaron de manera semi-industrial ladrillos sostenibles de 2 kg y dimensiones 24x11x4 cm³ conformados por prensado a partir de un granulado.

Los ladrillos obtenidos, se caracterizaron completamente según normativa, concluyéndose que los ladrillos activados alcalinamente son ladrillos sostenibles preparados a partir de residuos que presentan propiedades similares a las de los ladrillos cerámicos (Tabla 2).



Figura 3. Cenizas volantes de una central termoeléctrica de carbón.



Figura 4. Vidrio de CRT.



Figura 5. Vidrio de placas solares.



Figura 6. Fracción mineral de RCD.



Figura 7. Residuos arcillosos procedentes del lavado de arenas.

7. F.J. García-Ten, M. Vicent. Effect of CRT glass particle size on the lead leachability of alkali-activated materials. Materials Letters 320, 132163, 2022: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.132163>.



Figura 8. Ladrillos HYPOBRICK obtenidos a escala de laboratorio a partir de un residuo de tiesto cocido cerámico con pigmento negro.



Figura 9. Prototipo para producir ladrillos HYPOBRICK construido e instalado en la empresa Ladrillos MORA, S.L.

Propiedad, norma (unidades)		Ladrillos HYPOBRICK	Ladrillos caravista comerciales
Densidad en seco, UNE-EN 772-13:2001 (kg/m³)	Neto	1930	1800-2200
	Bruto	1830	
Resistencia a la compresión, UNE-EN 772-1:2011 + A1:2016 (N/mm²)	Valor medio	37,5	> 10
	Valor normalizado	27,2	
	Valor normalizado característico	25,2	
Resistencia a la helada, UNE-EN 772-22:2021		Categoría F2 (100 ciclos)	Categoría F2 (100 ciclos)
Absorción de agua, UNE-EN 772-21:2011 (%)		9	< 10
Tasa inicial de absorción de agua, UNE-EN 772-11:2011 (kg/(m²·min))		1,2	> 0,2

Tabla 2. Caracterización de los ladrillos activados alcalinamente producidos de manera semi-industrial y su comparación con los ladrillos cerámicos caravista comerciales.

El Proyecto evaluó también los impactos ambientales y uno de los más relevantes fue el potencial de calentamiento global (Global Warming Potential - GWP) o huella de carbono. Se cuantificó la reducción de emisiones de CO₂, mostrando que los ladrillos activados alcalinamente reducen aproximadamente un 70% de las emisiones en comparación con los convencionales (Figura 10).

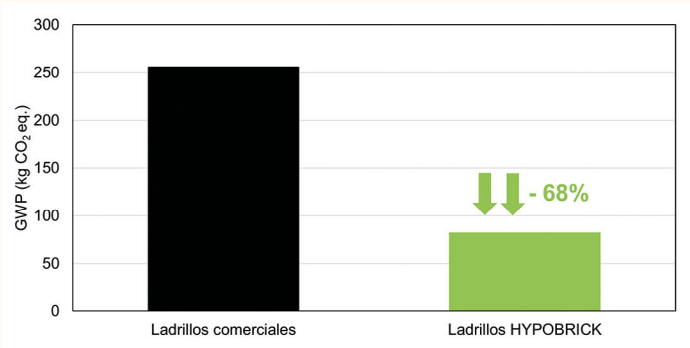


Figura 10. Comparación entre las emisiones de CO₂ de la producción de ladrillos cerámicos convencionales y de los obtenidos mediante activación alcalina.

En este cálculo se tuvieron en cuenta las emisiones de la fabricación de los reactivos químicos utilizados como activadores alcalinos. Si no se incluyeran las emisiones asociadas a la fabricación de los activadores alcalinos, la reducción alcanzaría el 95%.

Demostrador del Proyecto LIFE HYPOBRICK: construcción de un muro con ladrillos de bajo impacto ambiental

Con los ladrillos sostenibles obtenidos en las etapas previas del Proyecto, fabricados de manera semi-industrial a partir de residuos y con una etapa de curado a 85 °C (sin etapa de cocción) se construyó un demostrador: un muro de 20 metros de largo y 3 metros de alto, utilizando 9.000 ladrillos HYPOBRICK (Figura 11, Figura 12 y Figura 13). Este muro se levantó en la entrada de las instalaciones de la misma empresa fabricante de ladrillos.



Figura 11. Construcción del demostrador (I).



Figura 12. Construcción del demostrador (II).



Figura 13. Demostrador del Proyecto LIFE HYPOBRICK construido con ladrillos de bajo impacto ambiental.

El demostrador del Proyecto permitió verificar que los ladrillos HYPOBRICK son una alternativa viable a los ladrillos cerámicos caravista convencionales, destacando sus bajas emisiones de carbono y reducido impacto ambiental.

Proyecto LIFE HYPOBRICK (2019-2023)

El consorcio del Proyecto ha estado formado por el Instituto de Tecnología Cerámica (ITC-AICE) que ha actuado como coordinador, por la Universidad de Nüremberg (Technische Hochschule Nürnberg - THN) y por las empresas Ladrillos Mora, S.L.; Recycling, Consulting & Services, S.L. (RCS) y Schlagmann Poroton GmbH & Co (Figura 14).

El Proyecto ha estado financiado por la Comisión Europea a través del programa LIFE (Ref: LIFE 18 CCM/ES/001114). A nivel regional, también ha contado con el apoyo del Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial (IVACE) de la Generalitat Valenciana (GVA).

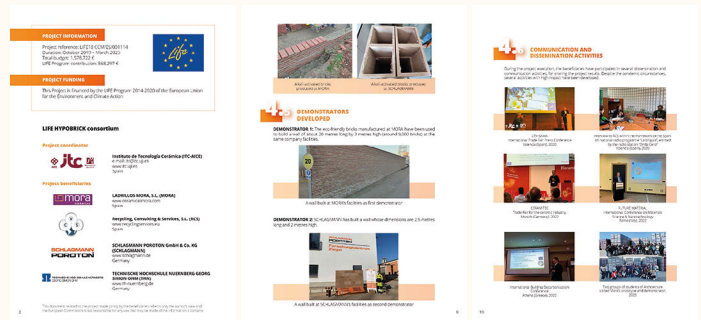


Figura 14. Algunas páginas del Informe divulgativo del Proyecto.

El Proyecto LIFE HYPOBRICK se ha alineado con los objetivos establecidos por la Comisión Europea, así como con los Objetivos de Desarrollo Sostenible fijados por las Naciones Unidas (ODS). En concreto, con el ODS 7: Energía asequible y no contaminante, el ODS 9: Industria, innovación e infraestructura, el ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles, el ODS 12: Producción y consumo responsables y el ODS 13: Acción por el clima.



En resumen, el Proyecto LIFE HYPOBRICK ha marcado un hito para la industria cerámica al eliminar la etapa de cocción, logrando un proceso de fabricación de ladrillos caravista con bajas emisiones de carbono y fomentando la economía circular y la simbiosis industrial mediante la valorización de residuos.

Más información en: [LIFE HYPOBRICK](https://www.lifehypobrick.eu).

