

LA DESCARBONIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

# Hojas de ruta de los principales sectores industriales

AUS



# ÍNDICE

---

## 1. INTRODUCCIÓN

---

## 2. HOJAS DE RUTA DE DESCARBONIZACIÓN DE LA INDUSTRIA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

### CEMENTO/HORMIGÓN

---

## 3. HOJAS DE RUTA DE DESCARBONIZACIÓN DE LA INDUSTRIA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

### ACERO

---

## 4. HOJAS DE RUTA DE DESCARBONIZACIÓN DE LA INDUSTRIA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

### ALUMINIO

---

## 5. HOJAS DE RUTA DE DESCARBONIZACIÓN DE LA INDUSTRIA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

### CERÁMICA

---

## 6. CONCLUSIONES

# INTRODUCCIÓN

## 1. INTRODUCCIÓN

### Impacto ambiental del sector y de los materiales

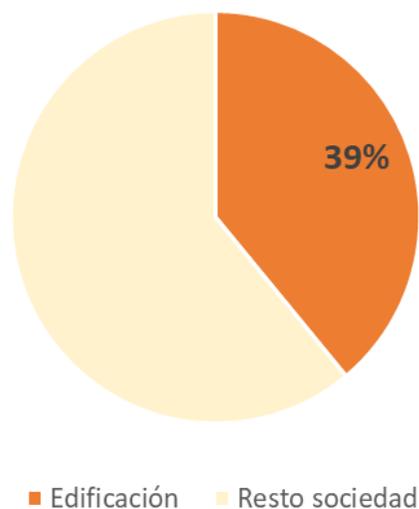
Hoy en día todos tenemos conciencia que el sector de la edificación genera un impacto ambiental elevado, teniendo en cuenta la gran cantidad de materiales que utilizamos y de residuos que emitimos. Existen numerosos estudios al respecto de distintas fuentes y ámbitos, pero de forma casi mnemotécnica, podríamos concluir que **alrededor de un tercio de los principales impactos ambientales del planeta están generados por los edificios que construimos y habitamos.**

Según los resultados del proyecto [Building Life<sup>\[1\]</sup>](#) liderado por **GBC España GBCe** y publicado en 2022, el sector de la edificación tiene un rol crucial al ser el responsable del 36% del consumo de energía final y del 39% de las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la energía a nivel mundial.

A nivel europeo, el sector de la edificación es responsable del 40% del consumo de energía y del 36% de las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la energía.

<sup>[1]</sup> En esa misma publicación se encuentra un glosario de términos que puede ser muy útil para seguir este texto para aquellos que no estén avezados a este campo de la descarbonización

Fig. 1. Emisiones CO<sub>2</sub> sector edificación a nivel mundial [%]

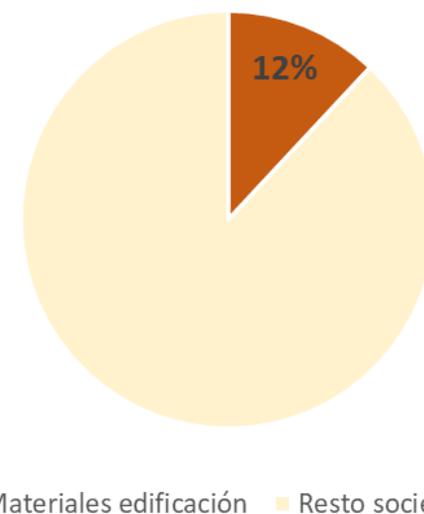


A nivel estatal, ocasiona el 30,1% del consumo de energía final y el 25,1% de las emisiones, de las que el 8,2% son emisiones directas asociadas al consumo de combustible en el sector residencial, comercial, institucional y de equipamientos públicos.

Tal y como apunta la reciente iniciativa europea **Built4People**, se ha calculado que el carbono embebido en los edificios<sup>[2]</sup> representa una tercera parte de

<sup>[2]</sup> Carbono embebido: emisiones de gases de efecto invernadero [GEI] asociadas a las fases de producción, construcción o rehabilitación, uso y fin de vida del edificio.

Fig. 2. Emisiones CO<sub>2</sub> materiales edificación a nivel mundial [%]



las emisiones asociadas con el sector de la edificación. A nivel global, entre el 10 y el 12% de las emisiones de CO<sub>2</sub> totales corresponden al impacto ambiental de la fabricación de los materiales que utilizamos en la edificación [carbono embebido inicial]<sup>[3]</sup>.

<sup>[3]</sup> Carbono embebido inicial: emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes que se generan a lo largo del proceso de extracción, transporte y fabricación de los materiales de construcción. Concepto conocido también como energía gris, energía embebida, etc.

# INTRODUCCIÓN

## Situación actual en España

La normalización de cualquier tema en nuestro sector (y en la sociedad en general) pasa por disponer de un cuerpo legal que lo “regule” y de un sistema de calidad que lo “controle”. A pesar de lo comentado anteriormente, **en España no existe hoy en día ninguna normativa de rango general que trate el impacto ambiental de los materiales de construcción**. Por lo tanto, se trata de un tema “minoritario”, aún cuando es evidente que es un tema crucial para contribuir a la disminución de producción de carbono y, por ende, disminuir la presión que provoca al cambio climático y de muy poca repercusión en el sector. Este hecho dificulta la recopilación y el análisis de la información, y en consecuencia, diseñar e implementar planes y acciones estratégicas de mejora de la situación actual.

A nivel Europeo existen distintas iniciativas estratégicas para empezar a tratar un tema relevante como el impacto ambiental de los materiales, y ahora, ya “urgente”. Entre todas ellas se podrían destacar la Taxonomía UE (y el Marco LEVELs), la nueva directiva de eficiencia energética EPBD, la nueva Directiva marco de productos de la construcción (marcaje CE y EPD’s) y las distintas hojas de ruta de descarbonización del propio sector a nivel de país y de la industria.

## Taxonomía y Marco Level[s]<sup>[4]</sup>

La taxonomía de la UE es un sistema de clasificación que establece una lista de actividades económicas ambientalmente sostenibles. Es un elemento importante

[4] Extraído del Informe Building Life

para las inversiones sostenibles y para aplicar el Pacto Verde Europeo. En particular, proporciona definiciones adecuadas a las empresas, los inversores y los responsables políticos sobre las actividades económicas que pueden considerarse ambientalmente sostenibles. De este modo, se espera crear seguridad para los inversores; proteger a los inversores privados del *green washing* (ecoimpostura o lavado de imagen verde); ayudar a las empresas a planificar la transición; mitigar la fragmentación del mercado y, finalmente, ayudar a desplazar las inversiones hacia donde más se necesitan.

Level(s) es un marco informativo, voluntario (público y gratuito), impulsado por la Comisión Europea, que proporciona un lenguaje común en materia de sostenibilidad para el sector de la construcción y que da respuesta a los requerimientos planteados desde la propia Taxonomía. Se trata de un conjunto de indicadores que permite medir el comportamiento de los edificios desde el punto de vista de la sostenibilidad a lo largo de su ciclo de vida. Level(s) fomenta así la aplicación del concepto de ciclo de vida a la totalidad de un edificio a través de un conjunto exhaustivo de instrumentos para el desarrollo, la supervisión y la explotación de un edificio, lo que contribuye a la mejora de su impacto ambiental desde la fase de diseño hasta el final del ciclo de vida.

Precisamente, **a través de la Taxonomía y del Marco Level(s) se definen y organizan la mayor parte de inversiones públicas en nuestro sector**, como por ejemplo los Fondos Next Generation UE, que tanto deberían ayudar a mejorar la situación actual para alcanzar los objetivos de descarbonización 2030/2050.

## Nueva directiva Europea de eficiencia energética EPBD recast

La nueva directiva de eficiencia (EPBD) en los edificios, en proceso de aprobación final, plantea, como continuación de las anteriores y dentro del marco regulatorio de la UE para alcanzar los objetivos de descarbonización, **reducir las emisiones de efecto invernadero en los edificios y su consumo de energía final de aquí a 2030**, y establecer una visión a largo plazo con vistas a lograr la neutralidad climática en toda la UE en 2050. Para alcanzarlos, la iniciativa se fundamenta en varios objetivos específicos: aumentar la tasa y la profundidad de las renovaciones de edificios, mejorar la información sobre la eficiencia energética y la sostenibilidad de estos y **garantizar que todos los edificios se ajustan a los requisitos de neutralidad climática para el 2050**. El refuerzo de la ayuda financiera, la modernización y la integración de sistemas sirven de empuje para alcanzar estos objetivos.

Tal como se expone en el proyecto **Building Life** los distintos escenarios planteados de descarbonización, uno de los principales limitantes para conseguir los objetivos planteados, pasan por incidir de forma significativa en el impacto generado por los materiales empleados en nuestros edificios. En este sentido, la Directiva europea propone la **obligatoriedad de calcular la huella de carbono de los materiales, así como imponer valores restrictivos paulatinamente**. Conceptos y metodologías como ACV (Análisis de ciclo de vida), DAP (Declaraciones ambientales de producto), energía y huella de carbono incorporada, etc, empezarán a formar parte de nuestro vocabulario habitual como profesionales de la arquitectura.

# INTRODUCCIÓN

## Nuevo Reglamento de productos de la construcción y marcaje CE

Uno de los principales objetivos de toda política o estrategia para alcanzar los objetivos de descarbonización es disponer de información amplia y verificada del impacto ambiental de los productos que utilizamos. En este sentido, desde hace más de diez años, existen las ecoetiquetas o distintivos ambientales que nos proporcionan datos sobre el impacto ambiental generado en el ciclo de vida [o en parte de él] de un producto [o de una familia de productos o a nivel sectorial].

Habitualmente llamados **DAP (Declaración ambiental de producto o EPD en inglés)**, su uso en el sector todavía es minoritario, pero se vislumbra como un elemento clave para el desarrollo de las estrategias de descarbonización anteriormente expuestas.

Así pues, desde la revisión que se está llevando a cabo del Reglamento actual 305/2011 (RPC) que regula la calidad de los productos de construcción, se prevé que **en un futuro próximo sea obligatorio que los productos que se comercialicen en Europa dispongan de información ambiental verificada.**

## Experiencias destacables a nivel estatal

A pesar del panorama descrito anteriormente, a nivel estatal existen iniciativas puntuales de distintas entidades, tanto a nivel público como privado, que han empezado a desarrollar requerimientos y metodologías alrededor del impacto ambiental de los materiales de los edificios.

En el caso de la promoción pública de edificios, a modo de ejemplo, podemos destacar los trabajos realizados por el Área Metropolitana de Barcelona<sup>[5]</sup>, el Ayuntamiento de Barcelona<sup>[6]</sup>, el Incasol<sup>[7]</sup> (Institut Català del Sòl), el IBAVI (Institut Balear de l'Habitatge) o el IHOBE<sup>[8]</sup>, entre otros.

Otro ámbito que ha ido introduciendo el análisis del impacto ambiental de los materiales desde ya hace años, pero con poca repercusión sobre el total de proyectos que se realizan en nuestro sector, es el de los sistemas de certificación de la calidad ambiental tipo VERDE, LEED, BREEAM, etc. De forma cada vez más cuantitativa y exigente, estos sistemas tratan aspectos como el Análisis de Ciclo de Vida, el contenido de reciclado, la proximidad, las declaraciones ambientales de productos, la toxicidad, la reutilización y la gestión de los residuos, etc.

También cabe destacar el papel importante que tienen los bancos de precios con datos ambientales como el del ITeC [¡desde 2004, hace ya 20 años!], el Generador de precios de la Construcción, etc. Y poco a poco se van sumando el resto de bancos de precios del Estado Español. Estas entidades, junto a otras de carácter privado, disponen también de herramientas para llevar a cabo estudios de análisis de ciclo de vida de los edificios.

[5] Protocolo de sostenibilidad. Criterios ambientales para los proyectos y las obras del AMB y el IMPSOL.

[6] Urbanisme + Sostenible. Guia de criteris de sostenibilitat en l'urbanisme.

[7] Guia tècnica de Biohabitabilitat i Criteris de disseny i Programes funcionals.

[8] Entre otras, Guías de Edificación y Rehabilitación Ambientalmente Sostenible.

Otro ámbito prioritario en el que se están generando pasos importantes es el de la formación [por desgracia no con el ímpetu que sería necesario]. Desde las propias universidades, así como los Colegios profesionales y entidades privadas del sector y de la industria, cada vez más se dispone de distintas tipologías de formación que tratan el impacto ambiental de los materiales de construcción.

Destacar también el proyecto europeo **Indicate** (en desarrollo), liderado en España por GBCe y la Universidad de Sevilla, que tienen por objetivo principal facilitar la obtención de datos sobre la huella de carbono de los materiales y los edificios. Indicate pretende ser solo el comienzo de un programa a escala estatal y europea que permita cuantificar y reducir las emisiones de carbono del sector.

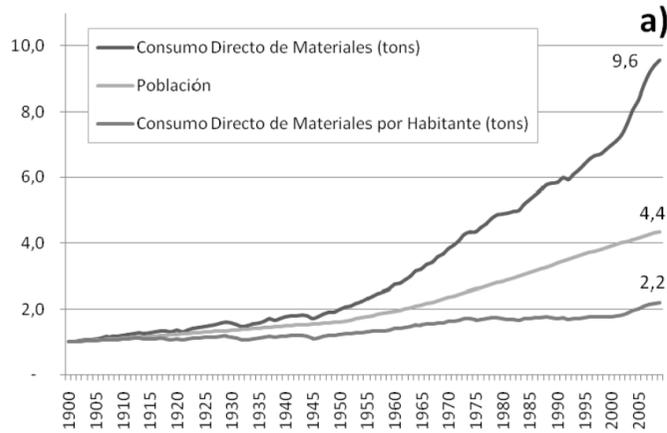
## El consumo de materiales en el sector de la edificación

El consumo de recursos [y la consecuente emisión de residuos] de nuestra sociedad ha crecido de forma continuada desde el inicio de la revolución industrial [a mediados del siglo XVIII]. Los gráficos que podemos encontrar en la bibliografía muestran siempre una tendencia exponencial, tal como se puede observar en la **[Fig. 3]**

# INTRODUCCIÓN

**Fig. 3. Evolución del consumo de recursos en el siglo XX a nivel mundial**

*[Resources Consumption in the 20th Century. A Review. Juan Infante Amate]*



**El consumo de materiales a lo largo del siglo veinte se ha multiplicado por casi diez veces.** Si tenemos en cuenta el crecimiento de la población [ha aumentado 4,4 veces], hoy en día cada habitante del planeta requiere 2,2 veces más materiales que a principios del siglo XX.

Si nos enfocamos en nuestro sector, **entre el 30 i el 40% de los recursos que extraemos de la litosfera van a parar a nuestros edificios de forma directa o indirecta a lo largo de su vida útil.**

Dejando de lado los combustibles fósiles necesarios para extraer, fabricar y transportar los recursos utilizados y dar habitabilidad a nuestros edificios, los principales materiales empleados en el sector, por orden de magnitud, son los áridos, el cemento, la cerámica en



sus múltiples versiones y los metales como el acero y el aluminio.

**Desde el punto de vista ambiental, en este caso medido en emisiones de CO<sub>2</sub>, estos cuatro materiales [cemento, cerámica, acero y aluminio] significan alrededor del 20% del total de emisiones de la sociedad.**

Los motivos principales son que se trata de productos mayoritarios, como hemos visto anteriormente, y que para conformarse utilizan grandes cantidades de combustibles fósiles para llegar a la temperatura de fusión o de cocción deseada. En algún caso, como el del cemento [o la Cal], el proceso de combustión también emite CO<sub>2</sub> procedente de la reacción química entre sus elementos.

## THE ANNUAL PRODUCTION OF OUR CITIES' BUILDING BLOCKS

Every year, the world produces billions of tonnes of construction materials in order to construct the buildings and cities we live in.

### GLOBAL ANNUAL PRODUCTION

Material	Height	Volume	Weight
CEMENT	1,195 m	1.7 billion m <sup>3</sup>	4.1 billion tonnes
STEEL	610 m	227.8 million m <sup>3</sup>	1.8 billion tonnes
SAND/GRAVEL	555 m	171.0 million m <sup>3</sup>	265 million tonnes

**Burj Khalifa, Dubai: 830 m**

**Cement** makes up the concrete foundations of our buildings along with the streets and sidewalks we drive and walk on.

**Steel's** strength is essential for the frames and roofs of buildings, along with bridges, tunnels, and railways.

**Industrial sand/gravel** contains silica which allows it to make glass along with other construction materials like metal castings, flooring compounds, and roofing shingles.

Source: U.S. Geological Survey

# INTRODUCCIÓN



Proceso de fabricación del acero  
[AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE'S]



Planta de fabricación de cemento  
[CEMENTOS MOLINS - JORGE FRANGANILLO]

## ¿Dónde están los materiales en nuestros edificios?

Cuando realizamos el proyecto y la obra de los edificios que construimos, relacionamos las decisiones de diseño que vamos tomando con sus efectos en la economía del proceso. ¿Y sobre el impacto ambiental que generan? ¿Sabemos qué capítulos de nuestros edificios consumen más recursos? ¿Y el CO<sub>2</sub> que emiten?

A pesar de que en nuestro sector no existen todavía estudios estadísticos al respecto, podemos analizar, a modo de ejemplo, la siguiente información procedente de casos particulares e informes no publicados.

En esta tabla [Fig. 5] podemos observar cómo se distribuyen en un edificio plurifamiliar al uso las emisio-

Fig. 4. Cuatro materiales, el 20% de las emisiones

Material	% Emisiones globales	Temperatura
Cemento	alrededor del 7%	>1.400°C
Acero	alrededor del 7%	>1.600°C
Aluminio	alrededor del 3%	>1.000°C
Cerámica	alrededor del 1% [a nivel europeo]	>900°C

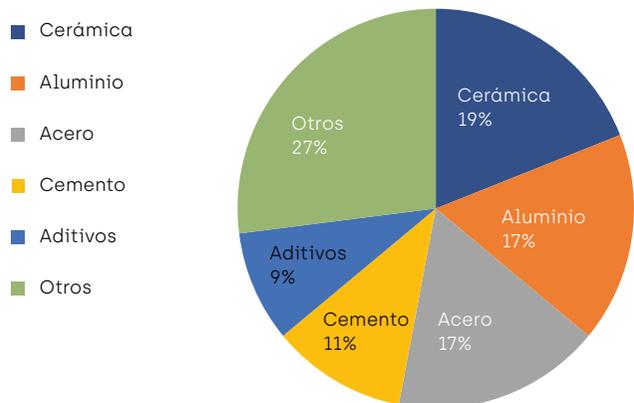
nes de CO<sub>2</sub> [KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>], el consumo de energía primaria [MJ/m<sup>2</sup>] y el consumo de materiales [Kg/m<sup>2</sup>], en los distintos capítulos que lo conforman y por metro cuadrado construido.

Fig. 5. Distribución de emisiones en un edificio plurifamiliar

Plurifamiliar	KgCO <sub>2</sub> /M <sup>2</sup>	%	MJ/M <sup>2</sup>	%	KG/M <sup>2</sup>	%
Replanteo y movimiento de tierras	-	-	-	-	-	-
Muros de contención / Cimentación	93,7	17%	1018,2	18%	793,2	37%
Estructuras	165,4	30%	1869,4	32%	554,8	26%
Cubiertas y fachadas	103,0	19%	1188,0	21%	606,2	28%
Cerramientos interiores	25,5	5%	340,7	6%	38,7	2%
Acabados exteriores	9,8	2%	105,5	2%	6,9	0%
Acabados interiores	35,9	7%	350,3	6%	104,1	5%
Cerramientos secundarios	58,4	11%	400,6	7%	2,6	0%
Divisiones y elementos interiores	0,0	0%	0,0	0%	0,0	0%
Instalaciones de saneamiento	16,4	3%	125,3	2%	39,6	2%
Instalaciones de fontanería	6,0	1%	47,6	1%	2,0	0%
Instalaciones de electricidad	17,1	3%	145,0	3%	13,3	1%
Gas / combustibles	0,2	0%	2,4	0%	0,0	0%
Climatización y ventilación	14,3	3%	145,0	3%	13,3	1%
Instalaciones audiovisuales y datos	1,6	0%	11,0	0%	0,5	0%
Protección contra incendios	1,3	0%	11,1	0%	0,3	0%
Equipamiento fijo	3,2	1%	36,0	1%	1,9	0%
<b>TOTAL</b>	<b>552</b>	<b>100%</b>	<b>5.790</b>	<b>100%</b>	<b>2.167</b>	<b>100%</b>

# INTRODUCCIÓN

**Fig. 6.** Emisiones CO<sub>2</sub> de los materiales en edificio plurifamiliar tipo en Catalunya [%]

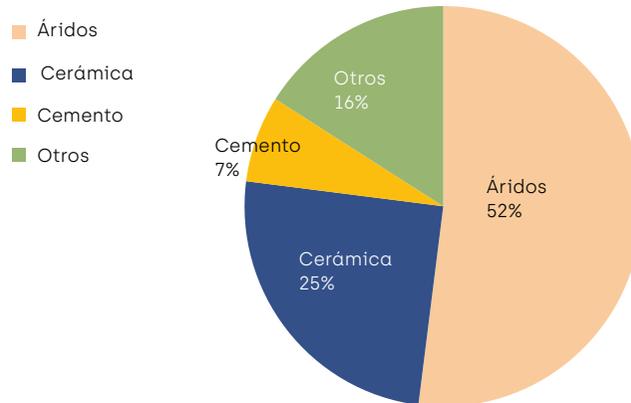


Destaca como tres subsistemas del edificio (cimientos, estructura y envolvente) representan más del 80% del peso y del 60% de las emisiones de CO<sub>2</sub> del conjunto. Es interesante observar también como capítulos de poca repercusión en el global, como por ejemplo las instalaciones, llegan a triplicar su repercusión en el caso de las emisiones de CO<sub>2</sub> respecto al peso, ya que están basados en materiales de alto impacto como los plásticos y los metales.

Tres materiales (hormigón, acero y cerámica) representan más del 50% del peso y de las emisiones de CO<sub>2</sub> de un edificio tipo.

Al igual que pasaba en el caso de los capítulos, se observa como materiales que no aparecen en el gráfico del peso, como los metales, los plásticos o los

**Fig. 7.** Peso de los materiales en edificio plurifamiliar tipo en Catalunya [%]



aditivos químicos, debido a su elevado impacto ambiental por unidad, tienen un papel más destacado en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

## Las hojas de ruta de descarbonización de la industria de los materiales de construcción

Tal como se ha comentado anteriormente, la exigencia de una sociedad descarbonizada para el 2050 implica un sector de la edificación **cero carbono**, tanto en la utilización de los edificios como en los materiales que se usan en la rehabilitación y la nueva construcción.

Los materiales usuales en nuestra construcción han seguido una trayectoria de mejora de su calidad basada -o, como mínimo apoyada- en un aumento de la energía empleada en los procesos de conformación y,

como consecuencia del modelo energético, con crecimiento constante de las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero) asociadas.

Para llegar a ser una sociedad descarbonizada, los fabricantes de los principales materiales de construcción han confeccionado diferentes hojas de ruta donde proponen cambios para alcanzar su producción descarbonizada en el 2050. Estas hojas de ruta no solo son propuestas que permiten acreditar el uso de materiales con cero emisiones en el 2050; también nos tiene que permitir diseñar estrategias para conseguir la descarbonización del sector, emitiendo el mínimo de carbono en la atmósfera.

Es importante, pues, conocer y analizar críticamente estas hojas de ruta, entender qué plantean, hasta donde llegan, y a través de qué mecanismo lo hacen. En este sentido, se recogen cuatro hojas de ruta de materiales que son decisivos en nuestra edificación, y se han analizado y comentado para que nos podamos hacer una idea de qué planteamientos presentan y cuáles son sus puntos fuertes y débiles.

En el presente apartado, a modo de ficha, se muestra un breve resumen de cada hoja de ruta para el hormigón/cemento, el acero, el aluminio y la cerámica.

# CEMENTO/HORMIGÓN

## 2. HOJAS DE RUTA DE DESCARBONIZACIÓN DE LA INDUSTRIA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION.

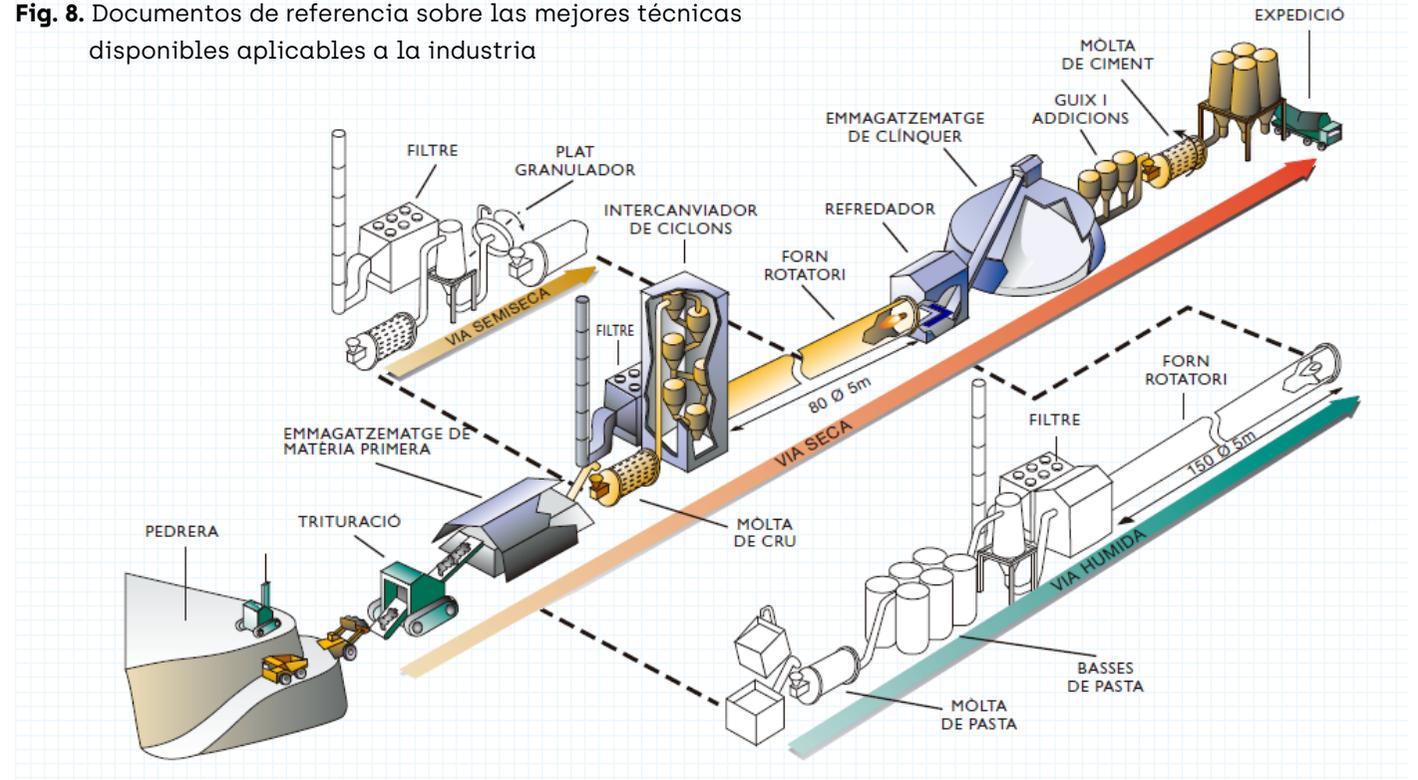
### CEMENTO/HORMIGÓN

El hormigón es, sin duda, el material más usado hoy en edificación tanto en España como en todo el mundo. En su base está el **cimento portland** en sus múltiples variantes, un material fabricado en todo el mundo y con una base comercial muy amplia. Un material global.

Las emisiones debidas a la fabricación de los cementos portland usuales -la base de nuestro hormigón- oscilan entre los 600 y 750 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada de cemento producido. Unas emisiones que son la principal aportación a las emisiones imputables al uso de hormigón.

El proceso de fabricación del **clinker** es el que genera mayores emisiones de CO<sub>2</sub> en el proceso de fabricación del cemento y del hormigón debido a las elevadas temperaturas que se alcanzan (y el consecuente consumo de energías fósiles) y a las reacciones químicas de los propios materiales que lo componen.

Fig. 8. Documentos de referencia sobre las mejores técnicas disponibles aplicables a la industria



Fuente: Generalitat de Catalunya, departament de Medi Ambient

# CEMENTO/HORMIGÓN

La fabricación del clínker (materia previa a la fabricación de cemento) consiste en una calcinación de carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ), seguida de una reacción a elevada temperatura del óxido de cal, resultado de la calcinación, con sílice, alúmina y óxidos de hierro, para dar lugar a silicatos, aluminatos y ferratos de calcio. Al clínker se le añade posteriormente yeso y otros aditivos, según el tipo y las especificaciones de calidad del producto final (cemento) a obtener.

Hay diferentes sistemas para fabricar clínker que se clasifican en tres procesos principales: húmedo, semiseco y seco. No obstante, las etapas que integran estos tres procesos, a grandes rasgos, son las mismas, independientemente del sistema productivo empleado. El proceso claramente dominante es el tipo seco. En Europa la presencia del proceso húmedo se podría considerar testimonial.

Entre los materiales más impactantes de la industria de la construcción, el cemento y el hormigón han sido pioneros en la declaración de hojas de ruta hacia la neutralización de sus emisiones de  $\text{CO}_2$ . En el año 2020 la **Global Cement and Concrete Association GCCA** que agrupa al 80% de los productores mundiales, marcó como objetivo para el 2030 una reducción de gases de efecto invernadero de un 25% para el hormigón y de un 20% para el cemento.

Más allá de esa fecha, el elemento clave para alcanzar las reducciones al 2050 y que esperan que reduzca el 36% son las técnicas de captura y utilización de carbono, o bien las CCS<sup>[9]</sup> o CCU<sup>[10]</sup>, siglas que aparecen constantemente en la literatura de la descarbonización. EL CCS consiste en captar el  $\text{CO}_2$  en los centros de producción e inyectarlo al subsuelo por medio de diversas tecnologías, de forma que quede confinado en él y no retorne a la atmósfera. Las técnicas de CCU reutiliza el  $\text{CO}_2$  en otros procesos productivos como fabricación de bebidas, enriquecimiento de las plantas en invernaderos y otros procesos de conversión. Lo cierto es que a fecha de hoy (2023) la implementación de dichas tecnologías sigue siendo muy innovadora y poco generalizada.

El siguiente porcentaje más impactante, con un 22% de reducciones, recae en la eficiencia en el diseño y la construcción, exigiendo de los arquitectos e ingenieros un esfuerzo de cálculo para evitar el sobredimensionamiento, pero también el esfuerzo deberá ir de la mano con el ajuste de las normativas en los coeficientes de cálculo, sin caer en riesgos estructurales o demeritar la calidad de los productos.

[9] Se refiere a las tecnologías de captura y almacenamiento de  $\text{CO}_2$ . La captura puede ser por Postcombustión - Se capturan los gases residuales de la combustión industrial o de las centrales eléctricas y se separa el  $\text{CO}_2$ , Precombustión - Se trata de pretratar los combustibles para separar el carbono de los componentes finalmente quemados. Por ejemplo, convirtiendo primero el carbón en una mezcla de  $\text{CO}_2$  e hidrógeno mediante gasificación, capturando después el  $\text{CO}_2$  y quemando sólo el hidrógeno. Y por último la Combustión oxicomcombustible - Al quemar el combustible con oxígeno puro en lugar de aire normal, el  $\text{CO}_2$  constituye una fracción mayor del gas residual, lo que facilita su separación y almacenamiento o reutilización. El almacenamiento del  $\text{CO}_2$  capturado puede tener lugar, por ejemplo, en emplazamientos geológicos de almacenamiento marinos, como antiguos yacimientos de petróleo y gas. En España según los datos del Instituto Geológico y Minero de España el  $\text{CO}_2$  se introduce en una formación porosa, normalmente acuíferos salados a más de 8.000 mil metros de profundidad. En España hay potencial de almacenamiento geológico.

Le siguen en la hoja de ruta una serie de reducciones que tienen una estrategia industrial más tangible y a corto plazo:

- **11%** de reducciones de  $\text{CO}_2$  asociadas al clínker<sup>[11]</sup> que van desde el uso de energía renovable incluido el hidrógeno, así como el uso de materias primas descarbonatadas
- **9%** de reducción se aplicaría a la producción del cemento
- **11%** recae en el diseño optimizado de las mezclas de hormigón, la eficiencia en fabricación y la mejora del control de calidad de las plantas de producción
- **5%** adicional en la descarbonización de la energía utilizada para la fabricación del cemento y del hormigón
- **y 6%** que se considera encapsulado en el hormigón mismo de las obras construidas.

**La reducción total prevista está en torno a 3.830 Millones de Toneladas de  $\text{CO}_2$ .**

[10] Después de la captura del  $\text{CO}_2$  éste puede ser utilizado directamente de grandes focos industriales de emisión; el uso que se está haciendo del carbono capturado es emplearlo en la fabricación de bebidas carbonatadas, soldaduras, conversión, invernaderos, protección de medicamentos, materiales de construcción, etc., todo ello en función del grado de pureza que se consiga.

[11] La hoja de ruta de descarbonización de Ciment Català, marca corporativa de la Agrupación de Fabricantes de Cemento de Catalunya aporta un descriptivo detallado sobre clínker y los procesos de fabricación vinculados.

# CEMENTO/HORMIGÓN

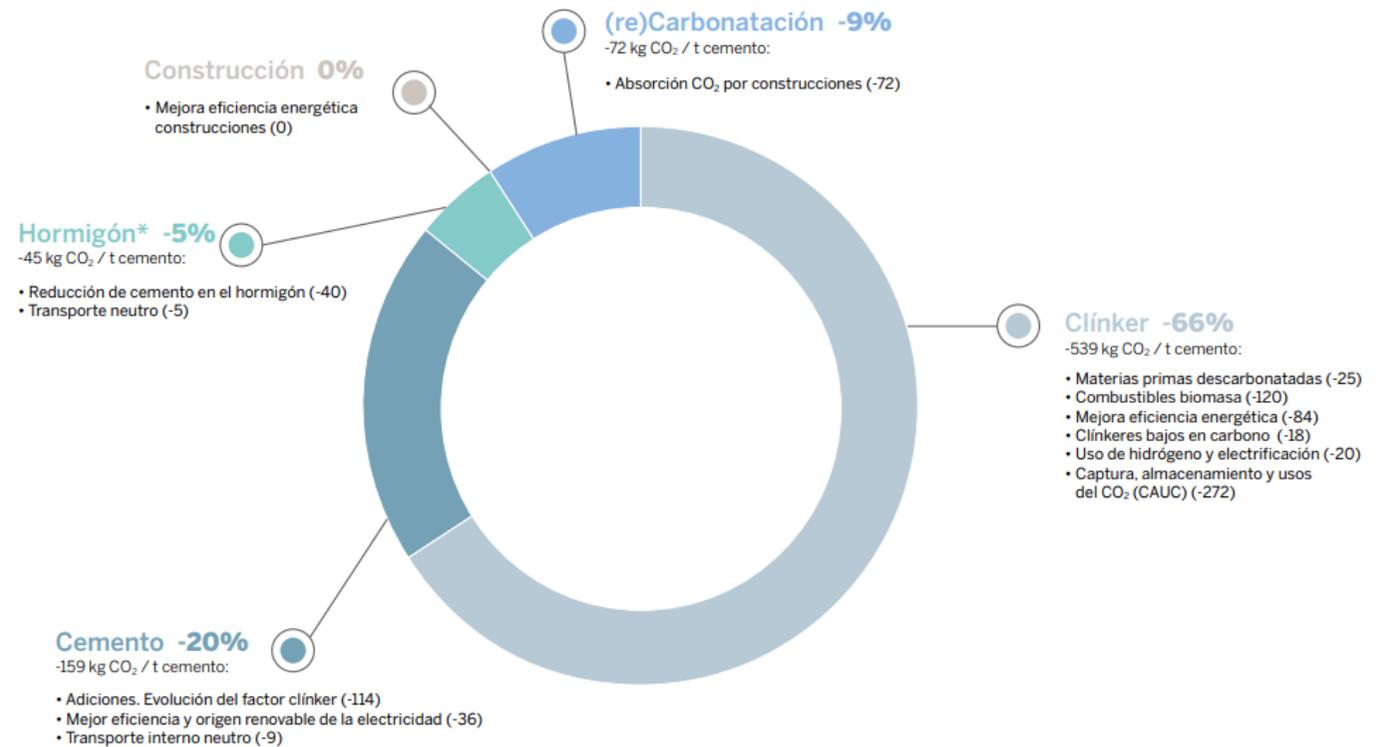
Por su parte, Oficemen [Agrupación de Fabricantes de Cemento en España] realizó una hoja de ruta que prevé alcanzar la neutralización de sus emisiones reduciendo un 43% para el 2030 y un 56% para el 2050. A grandes rasgos, la hoja de ruta plantea los mismos objetivos que la GCCA pero desde una estrategia de acción llamada **5C's** por las siglas en inglés [*Clinker, Cement, Concrete, Construction, Carbonization*]. De tal forma, los objetivos del 2030 en torno al clinker pretenden reducir un 20%, de los cuales:

- **el 11 %** es por el uso de combustibles de biomasa y otras energías renovables substituyendo los combustibles fósiles,
- **el 7%** por mejoras en la eficiencia energética del proceso,
- **el 1,10%** por el uso de materias primas descarbonatadas
- **y casi un 1%** por el uso de clinker bajo en carbono.

En torno al cemento se pretende reducir el 11%, gracias a la sustitución del clinker y otros aditivos [alrededor del 8%] y el uso de energías renovables en producción de electricidad del proceso [2%].

Con las mejoras en el hormigón se busca reducir el 3%, principalmente con la reducción de las cantidades de cemento utilizadas, que dependen en gran medida de los diseños y cálculo estructural de los profesionales. Y la re-carbonatación deberá ser un 9% considerado en la absorción del CO<sub>2</sub> encapsulado en las construcciones.

Fig. 9. Objetivo a 2050. Neutralidad climática



El estudio de **Oficemen** considera que un 20% de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción del clinker quedarán encapsulados durante la vida útil y un 3% adicional al triturar los residuos de la deconstrucción.

En resumidas cuentas, los valores absolutos proporcionados significan que se pretende reducir 0,354 Toneladas de CO<sub>2</sub> por cada Tonelada de cemento en los objetivos del 2030 antes mencionados. Mientras que para el 2050 existirá una reducción adicional de 0,461 Toneladas de CO<sub>2</sub> por cada Tonelada de cemento.

# MATERIALES ACERO

## 3. HOJAS DE RUTA DE DESCARBONIZACIÓN DE LA INDUSTRIA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

### ACERO

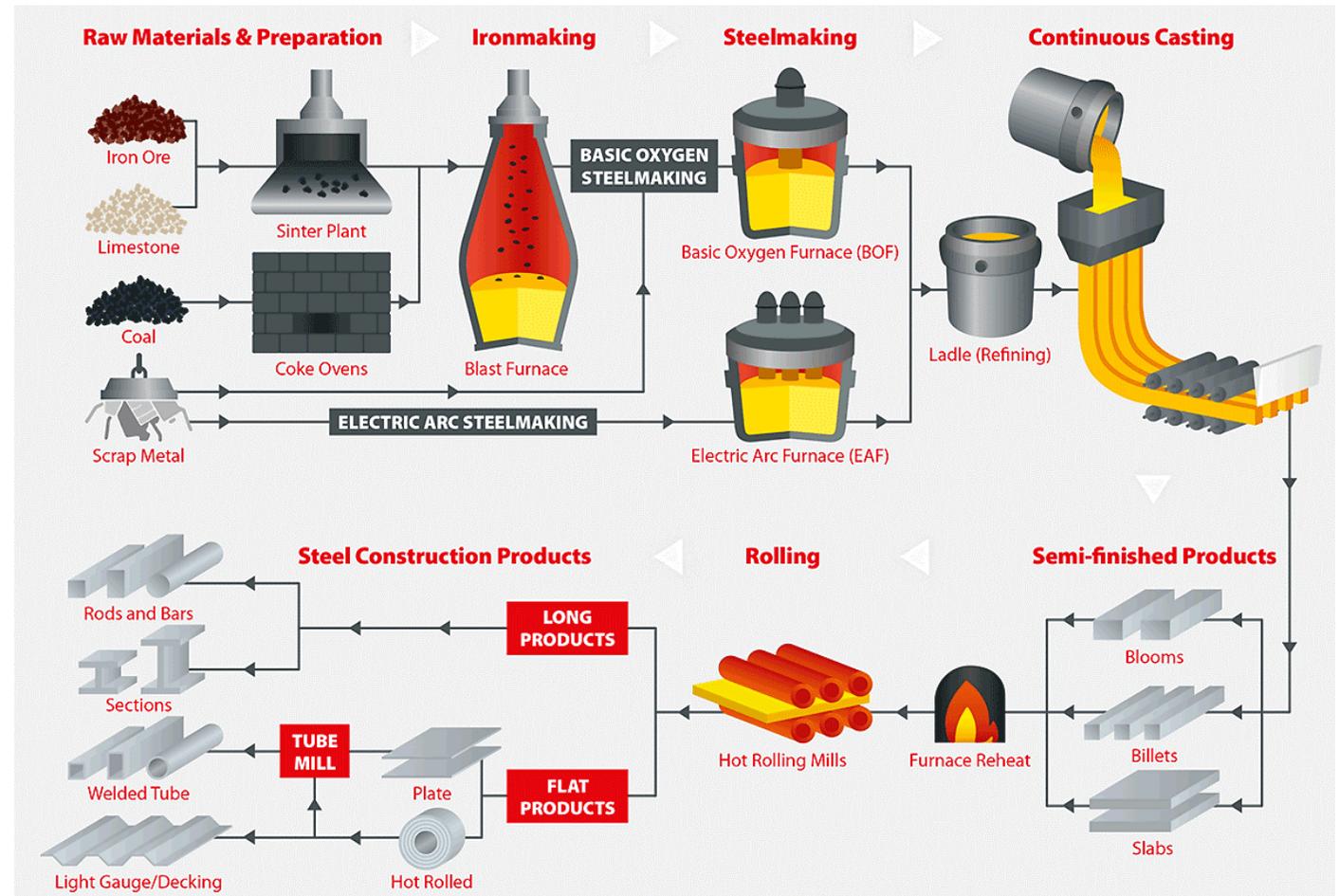
El acero es un material de innumerables aplicaciones también en edificación. Estructuras de acero, armaduras para el hormigón armado, y toda una serie de elementos de cerrajería y cerramientos, así como todo tipo de fijaciones.

El acero también es un **material global**, producido en muchos lugares del mundo y que tiene mercados mundiales. Los impactos ambientales que produce son locales y globales, siendo las emisiones de gases de efecto invernadero uno de los impactos globales más importantes.

Además del impacto que genera en el territorio la extracción y el transporte del mineral necesario para obtener el acero (o cualquier metal), el hecho de tener que fundirlos implica un gran consumo de recursos energéticos y de importantes emisiones a la atmósfera.

Pero, por otro lado, la gran reciclabilidad de estos materiales ofrece la posibilidad de reducir considerablemente dichos impactos mediante la fabricación de acero con altos contenidos de material recuperado.

Fig. 10. Procesos de producción del acero nativo y reciclado



Fuente: [Vepica](http://Vepica)

La **reciclabilidad** es el gran potencial del acero y, en general, de los metales. Aprovecharlo supondría una tasa de recogida y reintroducción de los residuos muy elevada y, naturalmente, no sería suficiente si se produce un incremento continuado de la cantidad de acero usado en edificación.

El acero se puede obtener a partir de dos materias primas fundamentales<sup>[12]</sup>:

- el arrabio, obtenido a partir de material en instalaciones dotadas de alto horno (proceso integral)
- las chatarras tanto férricas como inoxidables

El tipo de materia prima condiciona el proceso de fabricación. Para fabricar acero a partir de arrabio se utiliza el convertidor con oxígeno, mientras que, partiendo de chatarra como única materia prima, se utiliza exclusivamente el horno de arco eléctrico (proceso electro-siderúrgico). Los procesos en horno de arco eléctrico pueden usar casi un 100% de chatarra metálica como primera materia, convirtiéndolo en un proceso más favorable desde un punto de vista ecológico. La media de las estadísticas actuales (2001) calcula que el 85% de las materias primas utilizadas en los hornos de arco eléctrico son chatarra metálica.

Tras el proceso de reconversión industrial de la siderurgia en España **se abandonó la vía del alto horno** y se apostó de forma decidida por la obtención de acero a través de horno eléctrico. La materia prima, la chatarra, es sometida a unos severos controles e inspecciones por parte del fabricante de acero, tanto en su lugar de origen como en el momento de recepción del material en fábrica. La calidad de la chatarra depende de tres factores:

- Su facilidad para ser cargada en el horno
- Su comportamiento de fusión (densidad de la chatarra, tamaño, espesor, forma)
- Su composición, siendo fundamental la presencia de elementos residuales que sean difíciles de eliminar en el proceso del horno

Atendiendo a su procedencia, la chatarra se puede clasificar en tres grandes grupos:

- **Chatarra reciclada:** formada por despuntes, rechazos, etc. originados en la propia fábrica (se trata de una chatarra de excelente calidad).
- **Chatarra de transformación:** producida durante la fabricación de piezas y componentes de acero (virutas de máquinas herramientas, recortes de prensas y guillotinas, etc.).
- **Chatarra de recuperación:** suele ser la mayor parte de la chatarra que se emplea en la acería y procede del desguace de edificios con estructura de acero, plantas industriales, barcos, automóviles, electrodomésticos, etc.

Para producir una tonelada de acero virgen se necesitan 1500 kg de ganga de hierro, 225 kg de piedra caliza y 750 kg de carbón (en forma de coque) [Lawson, B.; 1996]

Las reacciones químicas que se producen durante el proceso de fabricación del acero requieren temperaturas superiores a los 1000°C para poder eliminar las sustancias perjudiciales, bien en forma gaseosa o bien trasladándolas del baño a la escoria.

En ausencia de una hoja de ruta propia del sector, encontramos como referencia el proyecto europeo **Green Steel for Europe** publicado en el año 2021, que plantea los principales retos para llegar a la descarbonización en el 2050. El objetivo más impactante es el cambio de modelo energético en la producción, para sustituir el carbón en los altos hornos de hierro fundido por energías renovables con o sin combinación de tecnologías para el CCS o CCU. Algunos procesos que recoge **Green Steel for Europe** están evaluadas según su nivel de madurez para entrar en el mercado. Lo cierto es que AcelorMittal cuenta con una planta de hidrógeno en Hamburgo y otra en Suecia, mientras que la planta de Gijón en España recibió una ayuda de la Comisión Europea para la construcción de una planta de reducción directa de hierro que utilizará hidrógeno renovable. Esta nueva planta sustituirá, junto con un nuevo horno de arco eléctrico, al alto horno actual. El gas natural utilizado actualmente en la mezcla se eliminará gradualmente de los procesos de producción de acero. En última instancia, la planta funcionará utilizando hidrógeno renovable con gas de síntesis producido a partir de gases metalúrgicos y residuos.

[12] 'Proceso de fabricación del acero', por L. Medina Romero, 2006 [UPC Commons]

La baja disponibilidad de **hidrógeno verde** es un gran impedimento para la transformación del modelo energético, ya que solo el 0,7% de la producción actual es verde<sup>[13]</sup>. Al respecto, la Asociación Europea de Acero- EUROFER considera que el hidrógeno a partir de renovables empezará a ser competitivo a partir del 2045. Mientras que el proyecto español **SHYNE- Spanish Hidrogen Network**, integrado por Naturgy, Celsa, Bosch, Talgo, Iberia y Sidenar, hacen esfuerzos por alcanzar al 2026 la viabilidad del hidrógeno verde.

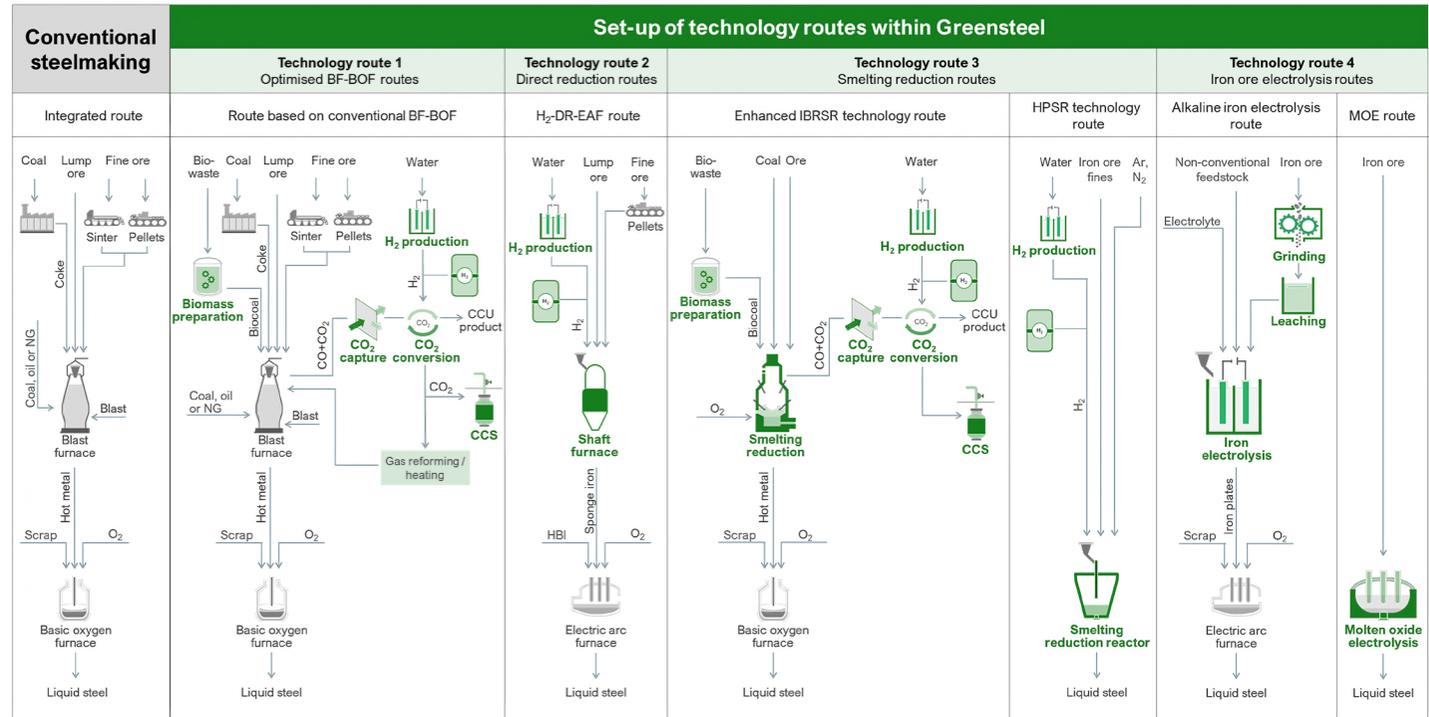
La **[Fig. 10]** muestra las posibilidades de mejorar la eficiencia ambiental de la producción de acero.

El hierro se obtiene eliminando el oxígeno y otras impurezas del mineral de hierro. Cuando el hierro se combina con carbono, acero reciclado y pequeñas cantidades de otros elementos, se convierte en acero. Una vez fabricado, es un recurso permanente; es 100% e infinitamente reciclable, sin pérdida de propiedades.

El segundo factor importante para la descarbonización es el origen de las materias primas. La producción siderúrgica integral que utiliza mineral de hierro es tan solo el 20% en España, mientras que el restante 80% se produce a partir de chatarra. Esto posiciona a España en una ruta más cercana a la neutralidad, comparado con el resto de Europa que produce acero de siderúrgica integral en un 60%.

[13] Datos de la consultora SYNDEX.

**Fig. 11.** Mejora de la eficiencia ambiental de la producción de acero



Las emisiones de CO<sub>2</sub> para la siderúrgica integral corresponde a 1,8 Toneladas de CO<sub>2</sub> por cada Tonelada de acero, mientras que las emisiones de la producción en base a chatarra corresponden a 0,20 Toneladas de CO<sub>2</sub> por cada Tonelada de acero<sup>[14]</sup>.

[14] Dato publicado en las conclusiones del seminario tecnológico de las Estrategias para la descarbonización y la eficiencia energética en la industria del acero y el aluminio en España, celebrado en julio del 2022 donde participaron numerosas empresas del sector, la Asociación Empresarial de la Industria Siderúrgica y el Instituto Sindical de Trabajo, Medio Ambiente y Salud- ISTAS.

# ALUMINIO

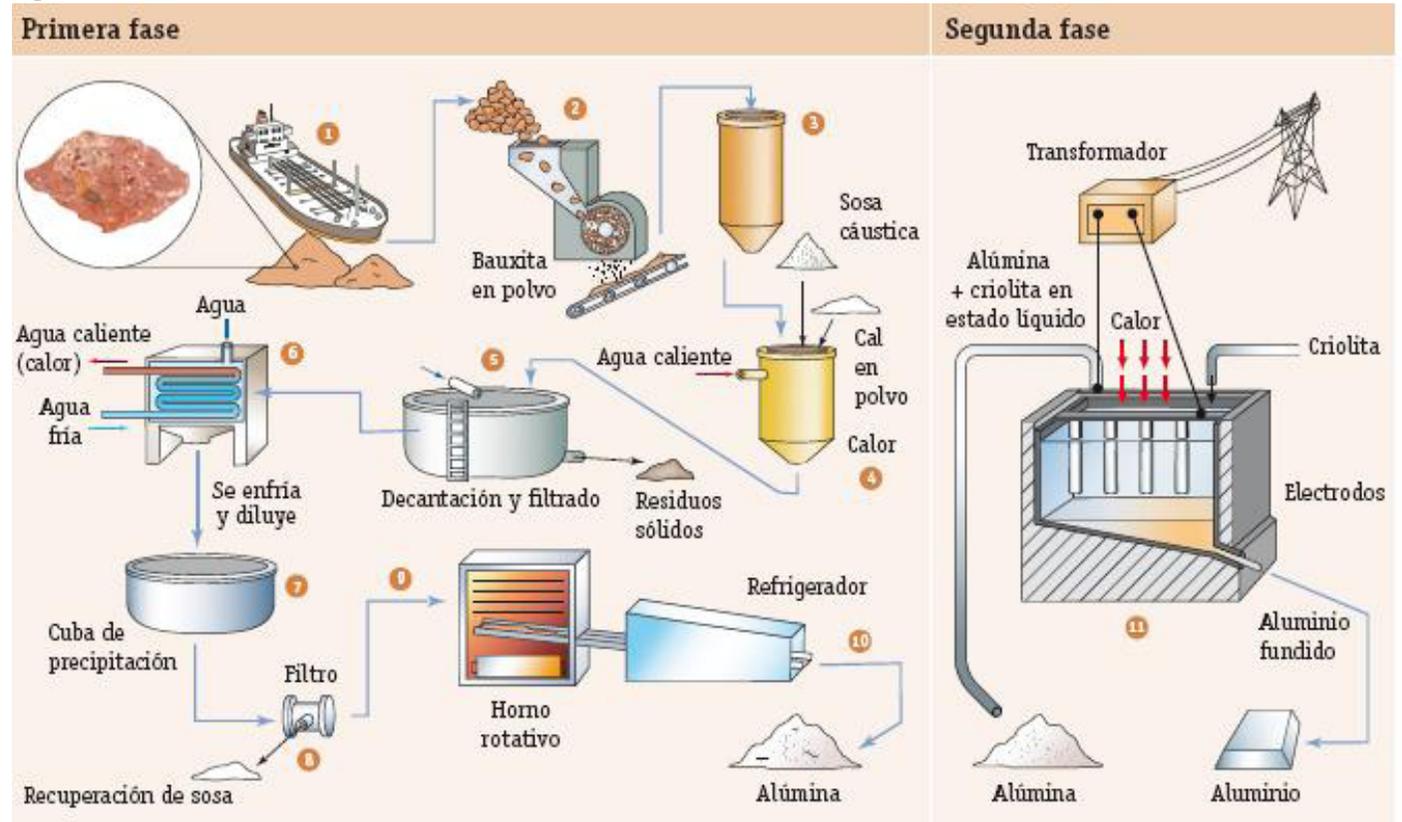
## 4. HOJAS DE RUTA DE DESCARBONIZACIÓN DE LA INDUSTRIA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION.

### ALUMINIO

Aunque el aluminio es un material que se ha generalizado en la edificación mucho más tarde que otros materiales más 'tradicionales' en el sector, su presencia es hoy muy significativa y ha tomado una posición casi imprescindible en algunas utilidades, como ventanas y muros cortina.

Los procesos de obtención del aluminio tienen asociados impactos ambientales importantes y un consumo de energía muy elevado. No obstante, su durabilidad y su reciclabilidad con muy bajo coste energético, le dan amplias oportunidades para definir una ruta de descarbonización que siempre se verá amenazada por el incremento del consumo de aluminio en edificación, que obligará a extraer aluminio primario.

Fig. 12. Proceso de fabricación del aluminio



Fuente: Imagen extraída del artículo 'Aluminio, un metal muy versátil' de Ricardo Berizzo, publicado 2/02/2023

El aluminio se fabrica y recicla mediante dos rutas que son complementarias<sup>[15]</sup>, dado que la primera parte del mineral de aluminio (obtención de aluminio primario) y la segunda recicla los múltiples residuos de aluminio al final de su vida útil (aluminio secundario).

Para la obtención del aluminio primario cabe tener en cuenta que el aluminio forma parte de la corteza terrestre en una proporción aproximada del 8%, lo que lo convierte en el elemento químico más abundante después del oxígeno (47%) y el silicio (28%). No se presenta puro en la naturaleza, sino que aparece combinado fundamentalmente con el oxígeno, formando óxidos e hidróxidos, que a su vez se hallan mezclados con óxidos de otros metales y con sílice. El mineral del que se extrae el aluminio casi exclusivamente es la bauxita.

La obtención del aluminio se realiza en dos fases:

- 1. La extracción de la alúmina** o óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) a partir de la bauxita [**proceso Bayer**]. Para ello primero se tritura la bauxita hasta obtener un polvo fino, que es mezclado con sosa cáustica líquida y calentado a alta presión. La sosa disuelve los compuestos del aluminio que, al encontrarse en un medio fuertemente básico, se hidratan. Los materiales no aluminicos se separan por decantación. La solución cáustica del aluminio se enfría luego para recristalizar el hidróxido y separarlo de la sosa, que se recupera para su ulterior uso. Finalmente, se calcina el hidróxido de aluminio a temperaturas cercanas a  $1.000^\circ\text{C}$ , para formar la alúmina.

- 2. La extracción del aluminio a partir de la alúmina mediante electrólisis.** El óxido de aluminio obtenido en la fase anterior tiene un punto de fusión muy alto ( $2.000^\circ\text{C}$ ) que hace imposible someterlo a un proceso de electrólisis. Por ello se mezcla la alúmina con fluoruro de sodio (criolita), que actúa de fundente, con lo cual la temperatura de fusión de esta mezcla se rebaja hasta  $900^\circ\text{C}$ .

A continuación, se somete al proceso de electrólisis, sumergiendo en la cuba unos electrodos de carbono (tanto el ánodo como el cátodo). Al pasar la corriente eléctrica continua a través de esta mezcla descompone la alúmina en oxígeno y en aluminio; el metal fundido se deposita en el polo negativo (cátodo) del fondo de la cuba, mientras que el oxígeno se acumula en los electrodos de carbono (ánodo). Parte del carbono que está en el baño se quema por la acción del oxígeno, transformándose en dióxido de carbono.

El aluminio obtenido así tiene una pureza del 99,5% al 99,9%, siendo las impurezas de hierro y silicio principalmente. De las cubas pasa al horno, donde es purificado mediante la adición de un fundente o se alea con otros metales, con objeto de obtener materiales con propiedades específicas. Después se vierte en moldes o se hacen lingotes o chapas.

Para producir una tonelada de aluminio se necesitan 4 Tn de bauxita, que darán 2 Tn de alúmina, de las cuales, mediante electrólisis, se obtendrá 1 Tn de aluminio.

Para la obtención de **aluminio secundario**, cabe tener en cuenta que este tipo de producción se basa en el reciclaje de aluminio mediante el conjunto de procesos que permiten utilizar de nuevo el aluminio al final de su vida útil. El proceso se basa en refundir el metal, lo que reduce enormemente los costes de producción, ya que requiere cantidades de energía mucho menores que las empleadas en la ruta primaria. Se estima que el consumo energético en las operaciones de refinado del aluminio secundario es, aproximadamente, el 5% de la requerida para la producción primaria de aluminio, reduciéndose significativamente las emisiones de dióxido de carbono.

En la mayoría de los casos el primer paso consiste en la eliminación del magnesio que pudiera haber en la chatarra que entre como materia prima, con el fin de evitar la degradación del producto obtenido en las operaciones de moldeo. Se estima que la chatarra puede contener hasta un 1% de magnesio, por lo que se necesita reducirlo hasta el 0,1%.

Tras el pretratamiento realizado a la chatarra se procede a la fusión. Destacan dos procesos diferenciados claramente según el tipo de horno empleado (rotativos y otros). La diferencia entre ambos radica en el empleo o no de sales fundentes para la fusión de las chatarras. Mediante el empleo de sales se obtiene un mayor grado de recuperación del aluminio, ya que estas disminuyen el grado de oxidación del metal durante la fusión (las sales forman una capa fundida sobre el aluminio y ayudan a prevenir la oxidación), con el consecuente aumento de la producción de escorias salinas.

[15] Datos/especificaciones/definiciones extraídas de la ficha 'Fabricación de Aluminio (emisiones de proceso)' elaborada por el [Ministerio de Transición Ecológica](#).

En abril de 2015 la Asociación 'European Aluminium' publicaba una hoja de ruta para este material de cara al 2025 pero la que tomamos como referencia, aún no siendo específica de nuestro sector, sí es más actual, habiendo sido publicada en abril de 2023 y para un escenario que se dirige hacia el 2050. Esta nueva estrategia de transición para el Aluminio está elaborada por 'Mission Possible Partnership' y se titula 'Making Net-Zero Aluminium Possible. An industry-backed, 1,5°C-aligned transition strategy', remarcando la posibilidad de llegar a la neutralidad en generación de CO<sub>2</sub> con el apoyo de la industria y alineado con la estrategia establecida por los objetivos de la COP21 de París de 2015 que persigue mantener el calentamiento mundial por debajo de 1,5-2°C. La Asociación 'Mission Possible Partnership (MPP)' tiene en su conglomerado a 'Energy Transitions Commission (ETC)', 'World Economic Forum', 'RMI' y a 'International Aluminium Institute (IAI)', entidades que han colaborado en la preparación de esta nueva hoja de ruta. Asumen desde un inicio, que la frontera de los 1,5°C es inasumible para esta década y por eso establecen el nuevo escenario mirando ya hacia el 2050.

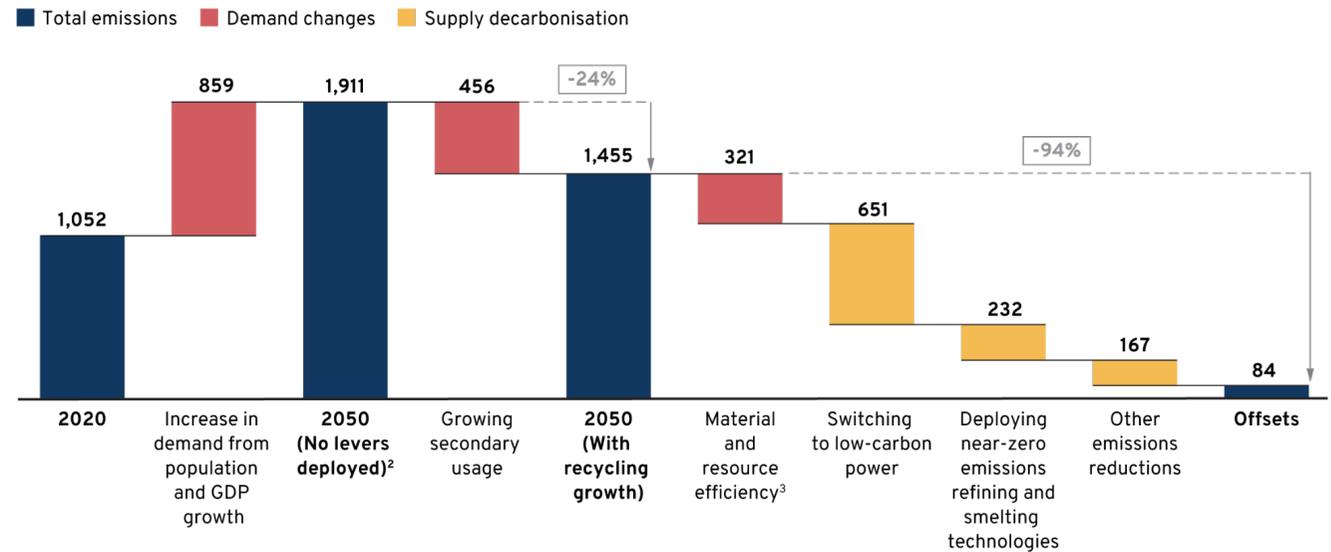
Con los datos del 2020 y calculando el incremento de demanda del producto por el incremento de población y del producto interior bruto, asumen una cantidad total para el año 2050 para la cual establecen una serie de medidas para llegar al objetivo de 0 emisiones. Esta serie de medidas se basan en la reutilización del material generado hasta 2050 y en el crecimiento de los procesos de reciclaje, llegando estas dos medidas a suponer un porcentaje de reducción del 24% y del 76% respectivamente. Dentro del 76% correspondiente al crecimiento del reciclaje, incluye otras medidas para

**Fig. 13.** Hoja de ruta hacia un aluminio con menos emisiones

## A low-carbon aluminium sector is possible by 2050

EXHIBIT A

Emissions for the aluminium sector,<sup>1</sup> Mt CO<sub>2</sub>e/y



<sup>1</sup> Includes all direct and indirect emissions along the value chain for primary and secondary aluminium production (i.e., mining, alumina refining, aluminium smelting, anode production, casting, fabrication, recycling, and transport).

<sup>2</sup> Based on the IAI's Reference scenario, except for primary/secondary production ratio, which is assumed constant between 2020 and 2050; 2020 carbon intensity of aluminium assumed constant.

<sup>3</sup> Based on demand projections from the IAI's 1.5°C scenario.

Source: IAI Material Flow Model (2021); Aluminium Sector Transition Strategy Model (2022)

llegar al objetivo 0 emisiones, que sería reducir un 22% implementando estrategias de eficiencia en los recursos y materiales; un 45% atribuible al cambio de la industria a utilizar fuentes de energía baja en carbono; un 16% en el despliegue de nuevas tecnologías en los procesos de producción; un 11% en otras reducciones de emisiones, sin especificar cuáles; y un 6% atribuible a compensaciones del tipo CCU/CCS.

# MATERIALES CERÁMICA

DESCARGAR  
PRESENTACIÓN



## 5. HOJAS DE RUTA DE DESCARBONIZACIÓN DE LA INDUSTRIA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

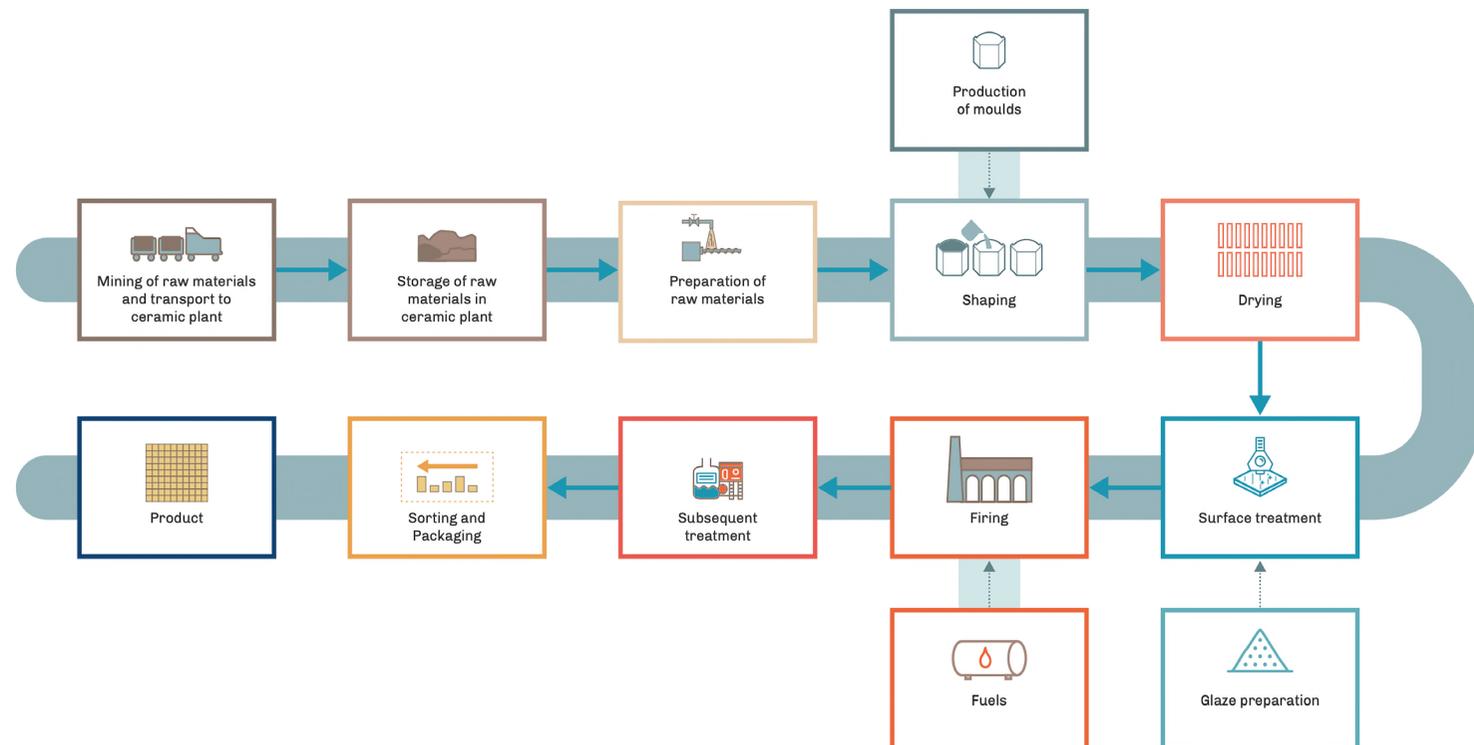
### CERÁMICA

La cerámica es un material tradicional del sector de la edificación. Sus múltiples usos hacen que su presencia aún sea importante en nuestros edificios aunque no tan masiva como lo fue en el pasado. En ese sentido, la cerámica ha evolucionado muchísimo desde sus productos tradicionales y, entre otras cosas, en todos sus formatos -y, sobre todo, en aquellos en los que tiene mayor desarrollo actual- ha aumentado mucho la energía necesaria para producirlos.

El proceso de fabricación industrial de los materiales cerámicos ha evolucionado notablemente en los últimos años y contempla las siguientes etapas, que en la mayor parte de los casos están automatizadas y, en muchos casos, robotizadas<sup>[16]</sup>:

**Extracción de arcillas:** se realiza en canteras. Con el fin de homogeneizar la materia prima extraída de las canteras, para iniciar su proceso de envejecimiento y maduración, se constituyen lechos de homogenización.

Fig. 14. Diagrama simplificado del proceso de manufactura de los productos cerámicos. La producción puede variar según los sub-sectores.



Fuente: [The European Ceramic Industry Association](#)

[16] Hispalyt [Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas de Arcilla Cocida]

# CERÁMICA

La materia prima se almacena antes de entrar en la línea de fabricación. El tipo de almacenamiento dependen si la molienda se hace por vía húmeda o por vía seca.

**Desmenuzado, mezcla y molienda:** en el desmenuzado se reduce el tamaño del grano de la arcilla consiguiendo una homogeneización del material, evitando un mayor consumo energético y alargando la vida útil de los equipos. Una vez desmenuzada, los diferentes tipos de arcilla se almacenan en silos. A continuación, se mezcla la proporción de arcillas, desgrasantes y posibles aditivos que van a formar la mezcla arcillosa en silos independientes con dosificadores o cajones alimentadores. La molienda consiste en una segunda reducción del tamaño de las partículas de arcilla, empleando molinos de martillos, de bolas o de rulos, desintegradores, laminadores, etc. La molienda puede ser realizada por vía húmeda o por vía seca.

**Amasado:** una vez conseguidos los niveles de granulometría se introduce la arcilla en la amasadora, donde se producirá la primera adición de agua, para obtener una masa plástica moldeable por extrusión. La cantidad de agua depende de la humedad con la que venga la arcilla de la cantera y de las condiciones climáticas a las que esté expuesta durante la fase de almacenamiento.

**Moldeo:** se hace pasar la arcilla por la extrusora o galletera, donde, mediante bomba de vacío, se extrae el aire que pudiera contener la masa y se presiona contra un molde, obteniendo una barra conformada con la forma del producto. Con este sistema, se reduce el consumo de agua en la industria y se puede trabajar con pastas cerámicas más secas.

**Corte y apilado:** la barra conformada se hace pasar a través del cortador donde se fijarán las dimensiones finales del producto. El material cerámico se apila en estanterías o vagonetas antes de introducirlo en el secadero.

**Secado y cocción:** el material apilado se introduce en el secadero para buscar reducir el contenido de humedad de las piezas hasta un 1-2%. Del secadero, el material entra en el horno túnel para el proceso de cocción, que consta de tres zonas diferenciadas (calentamiento, cocción y enfriamiento). Con la tecnología actual de los hornos túneles se logra una producción industrial de materiales cerámicos con buen rendimiento térmico y también reducir el consumo energético y también las emisiones de gases a la atmósfera.

**Empaquetado y almacenamiento:** última fase donde se produce el desapilado de los materiales cerámicos procedentes de las vagonetas, y su depósito sobre la línea de empaquetado y plastificado.

Las emisiones totales de la industria cerámica ascienden a 19 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> anuales, lo que supone aproximadamente el 1% de las emisiones industriales totales de Europa.

La cerámica para la construcción no es la única forma de uso de esta industria, pero sí la que aporta casi el 58% de sus beneficios económicos y el 90% de sus emisiones de CO<sub>2</sub>. Existen numerosos productos refractarios y otros llamados cerámicas tecnológicas que producen el 18% y 9% de los beneficios de esta industria, respectivamente. España tiene la tercera posición

entre los 20 países europeos más productivos. Le superan Alemania e Italia, siendo ésta última la número uno. Los productos refractarios son utilizados en los procesos de fundición del acero y hierro, así como otros metales no ferrosos como el aluminio. Y las cerámicas tecnológicas se utilizan como partes para aviones, baterías, automóviles, cortadoras de alta precisión, superconductores, etc.

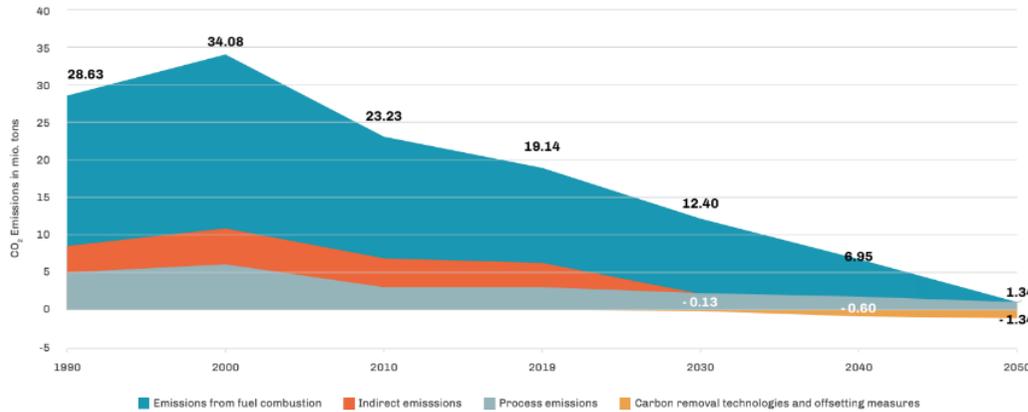
La CERAMIC (European Ceramic Industry Association) plantea reducir para el 2030 el 55% de sus emisiones de CO<sub>2</sub>. La hoja de ruta propone la mayor reducción de sus emisiones -el 64%- con el cambio de combustible utilizado para alcanzar las altas temperaturas de su fabricación.

Le siguen la reducción del 19% de sus emisiones indirectas que dependen de la transformación de la energía eléctrica de fuentes renovables o verdes. En tercer lugar, el 17% de reducción dependerá de los cambios aplicados en la mineralogía de la arcilla. Y una pequeña parte restante se prevé eliminar con tecnologías de CCS o CCU y medidas de *offsetting* en el mercado de emisiones de GEI o gases de efecto invernadero que prácticamente consisten en externalizar las compensaciones en el mercado de carbono.<sup>[17]</sup>

[17] ¿Qué es la compensación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero GEI? Consiste en comprar reducciones de emisiones de GEI que se han hecho en otro lugar. Este mecanismo permite a organizaciones o ciudadanos compensar aquellas emisiones de GEI que anualmente no han podido reducir llevando a cabo medidas internas. <http://can.viclimatic.gencat.cat>

# CERÁMICA

**Fig. 15.** Hoja de ruta hacia la reducción de CO<sub>2</sub>



Fuente: *Ceramic roadmap to 2050. Continuing our path towards climate neutrality. Cera-me-Unie, European ceramic industry.*

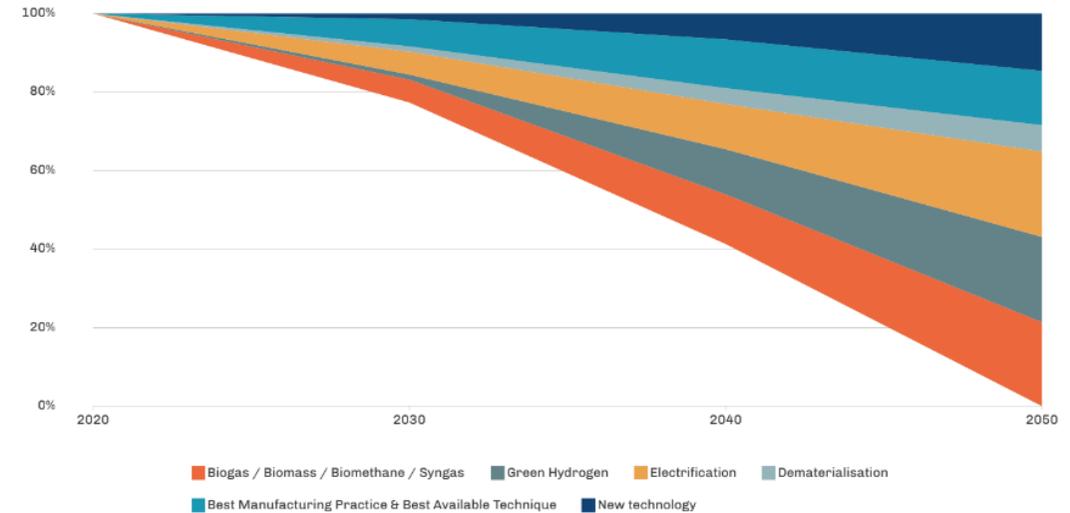
Respecto al mencionado 64% de reducción alcanzado con el cambio de combustibles durante la fabricación, existen varias alternativas que presentan distintos grados de madurez, ya sea por fiabilidad tecnológica, viabilidad financiera y regulatoria. La que mejor se presenta es la biomasa, le siguen el biogás y las bombas de calor.

Posteriormente, están las secadoras de microondas, el hidrógeno verde, la electrificación y el Syngas. Y por último, las tecnología de CCS- captura y confinamiento de carbono, y las CCU- captura y uso de carbono, todo y que siguen siendo muy caras. Pero la tecnología que mayor impacto tendría respecto a la reducción de emisiones sigue siendo el hidrógeno verde y la electrificación.

El tercer gran objetivo para la disminución de emisiones durante el proceso de la mineralogía de la arcilla, pasa por reducir el uso de aditivos con altos contenidos de carbono, así como la reducción de carbono en las mezclas de arcilla y el uso de arcillas locales para reducir la huella de la transportación y la desmaterialización o reducción en el uso de materias primas. La economía circular juega un papel importante para fortalecer la reutilización de ciertos materiales de construcción de cerámica como las tejas o los adoquines de arcilla, los cuales pueden ser reutilizados en un 90% y tienen un tiempo de vida de 125 años. En el caso de los refractarios, la industria puede fabricar refractarios que contengan entre el 20 y hasta el 80% de material reciclado.

Mientras, las tuberías de arcilla ya están siendo fabricadas con un 20% de material reciclado y al finalizar su vida útil pueden ser recicladas al 100% y tienen una vida útil de más de 100 años. Finalmente, la arcilla expandida puede ser reciclada en un 90%. Y el 100% de los aditivos cerámicos y entre el 10 y 15 % de cerámica virgen puede ser sustituido por materiales de otros sectores industriales.

**Fig. 16** Medidas que contribuyen a la reducción de emisiones de la combustión de combustibles fósiles



Fuente: *Cerame-Unie, European ceramic industry.*

# CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

Las hojas de ruta del sector se presentan como un importante esfuerzo voluntario en momentos críticos en el camino de la descarbonización. Después de realizar una descripción de cada material y un breve resumen de la hoja de ruta que cada industria se ha marcado, hemos intentado encontrar similitudes en los objetivos planteados para identificar cuáles son los retos comunes. Es difícil compararlas ya que no existe un marco metodológico que englobe los esfuerzos del sector. Incluso, entre las distintas organizaciones de una misma industria puede haber discrepancias. Pero, el simple ejercicio ya nos aporta información relevante que vale la pena tener en cuenta.

De forma genérica, se puede observar cómo entre las hojas de ruta del cemento-hormigón, acero, aluminio y cerámica el objetivo número uno es reducir emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al tipo de energía utilizado en la producción, le sigue la optimización y/o modificación de las materias primas. En tercer lugar, las tecnologías de captura de carbono durante la fase de producción y durante la vida útil del material ya instalado. Y finalmente, las mejoras tecnológicas y optimizaciones de diseño que evitan el sobredimensionamiento y por ende el uso excesivo de recursos, más allá de lo estrictamente necesario.

- 1. Mejoras en el tipo de energía utilizada en sus procesos productivos.**
- 2. Optimización o modificación de las materias primas.**
- 3. Captura de carbono durante la vida útil o tecnologías de CCS- captura y almacenamiento o CCU- captura y uso de CO<sub>2</sub>.**
- 4. Mejoras tecnológicas o diseños eficientes que reducen el sobredimensionamiento.**

La transformación en el tipo de energía utilizada para la producción de los materiales es muy significativa en todos los materiales, principalmente para la fabricación del acero significando el 65% de sus objetivos de reducción. Le sigue la cerámica que se ha propuesto reducir el 60% de sus emisiones a través de la transformación de la fuente de energía utilizada en la producción. El aluminio se lo propone igualmente, pero implicando un 40% del total de sus reducciones y para el cemento-hormigón se resume entre un 16% y un 20% en función de la fuente de la hoja de ruta.

**Estos grandes porcentajes de reducciones para el 2050 recaen muchas de ellas en el hidrógeno verde. Son demasiados números que dependen de una tecnología no generalizada, con implementaciones todavía a nivel de prueba, y con previsiones optimistas de ser viable no antes del 2030 ó el 2040, como mínimo.**

Pero entonces, mientras eso llega, ¿cuáles son los objetivos de mayor impacto en la descarbonización de estos materiales de construcción?. Encontramos que para la mayoría de las industrias la optimización o sustitución de materias primas significaba el 22% para el aluminio y la cerámica, mientras que para el cemento y el hormigón ronda entre el 9% y el 14% dependiendo de la fuente del análisis.

El siguiente objetivo es bastante complejo y difícil de comparar porque toca previsiones de captura de carbono durante la vida útil del material instalado, así como estrategias y tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CCS o captura y uso de carbono, CCU) en otros procesos productivos. En casi todas las hojas de ruta las tecnologías CCS y CCU están planteadas como innovadoras que requieren un proceso de maduración. Sólo en la hoja de ruta de la cerámica los presenta con riesgos de implementación por el propio marco regulatorio.

# CONCLUSIONES

Finalmente, el cuarto objetivo está aplicado a las mejoras tecnológicas y el diseño eficiente para evitar el sobredimensionamiento.

En el caso del cemento y el hormigón, podría decirse que es un esfuerzo que recae en el ejercicio de diseño, en los cálculos que un ingeniero o un arquitecto deben realizar para determinar la cantidad de producto finalmente utilizado. Esta reducción para la GCCA está calculada en un 33% del total de sus emisiones, mientras que para Oficemen significa sólo un 7%. Para los otros materiales, tocando los beneficios por avances tecnológicos tenemos en el aluminio la reducción de un 16%, mientras que para la cerámica puede significar el 27%.

A modo de resumen, se pueden observar en forma de tabla [Fig. 17] los datos que dan pie a los comentarios anteriores.

En definitiva, la descarbonización es una exigencia asumida ya por los principales materiales que configuran nuestra construcción actual -solo el hormigón armado puede suponer más del 50% de las emisiones en la fabricación de dichos materiales- y el camino que se divisa es un camino difícil y lleno de incertidumbres, como las tecnologías CCS, la capacidad del CCU o las innovaciones aún por desarrollar.

Los cambios necesarios son muchos y el tiempo es corto. La declaración de hojas de ruta bajo estándares normativos debe formar parte de un seguimiento progresivo verificable, que de pauta a correcciones oportunas e innovaciones constantes.

**Fig. 17** Ajustes de diseño y avances tecnológicos para reducir las emisiones ligadas a los materiales analizados

		CEMENTO-HORMIGÓN		ACERO	ALUMINIO	CERÁMICA
		GCCA 2050	OFICEMEN 2030		MISSION POSSIBLE PARTNERSHIP	Cerame-Unie [ECIA]
1	ENERGÍA EN PRODUCCIÓN	16%	20%	más del 65%	45%	60%
2	MATERIAS PRIMAS	9%	14%		22%	22%
3	CAPTURA- RE CARBONATACIÓN	42%	9%		6%	-110%
4	DISEÑO/TECNOLOGÍA	33%	7%		16%	27%
	OTROS				11%	

Sólo los materiales que tengan hojas de ruta verificables merecerán ser utilizados, porque permitirá a ingenieros y arquitectos conocer la magnitud de nuestra selección de materiales y su correspondiente implicación en la descarbonización del sector de la construcción.



**Han participado en la elaboración  
de esta publicación:**

- » **Karla Fentanes**, doctora en arquitectura y consultora en sostenibilidad, [kfsustentabilidad](http://kfsustentabilidad.com)
- » **Sara Baldasano**, arquitecta, [septiembrearquitectura.com](http://septiembrearquitectura.com)
- » **Albert Cuchí**, doctor en arquitectura, profesor ETSAV y presidente de AUS
- » **Rosa Maria Galimany**, arquitecta, CEO en [arquitecturamosamariaga1.net](http://arquitecturamosamariaga1.net)
- » **Albert Sagraera**, arquitecto, socio de la consultora ambiental [Societat Orgànica](http://Societat Orgànica)

**AUS**

Las publicaciones de AUS están realizadas por los diferentes grupos de trabajo de la Agrupación AUS [Arquitectura y Sostenibilidad] del COAC [Col·legi d'Arquitectes de Catalunya]