

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS DE LAS APLICACIONES DE USO DE HIDRÓGENO Y DE ELECTRIFICACIÓN EN EL SECTOR CERÁMICO

CUANTIFICACIÓN ECONÓMICA DE LA INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURAS ENERGÉTICAS Y COSTES DE OPERACIÓN

NOVIEMBRE 2023



Ingeniería
Arquitectura
Gestión industrial



ÍNDICE

1. ANTECEDENTES	3
2. DEMANDA ENERGÉTICA SECTOR CERÁMICO	4
3. TECNOLOGÍAS DE DESCARBONIZACIÓN	6
4. OBJETO Y METODOLOGÍA DE TRABAJO	7
4.1 INTRODUCCIÓN.....	7
4.2 DATOS DE PARTIDA	8
4.3 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	9
4.4 FABRICACIÓN DE HIDRÓGENO	10
4.5 ALTERNATIVAS DE ESTUDIO	11
4.5.1 ALTERNATIVA I: TODO HIDRÓGENO	11
4.5.2 ALTERNATIVA II: MIXTO A.....	12
4.5.3 ALTERNATIVA III: MIXTO B.....	13
4.5.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	14
5. GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA NECESARIA	15
6. RESULTADOS TÉCNICOS.....	19
6.1 CUANTIFICACIÓN NECESIDADES ENERGÉTICAS	19
6.1.1 ALTERNATIVA I: TODO HIDRÓGENO	19
6.1.2 ALTERNATIVA II: MIXTO A.....	20
6.1.3 ALTERNATIVA III: MIXTO B.....	21
6.2 CUANTIFICACIÓN DE LA SUPERFICIE OCUPADA	23
7. RESULTADOS ECONÓMICOS	24
7.1 ALTERNATIVA I: TODO HIDRÓGENO.....	25
7.2 ALTERNATIVA II: MIXTO A	26
7.3 ALTERNATIVA III: MIXTO B.....	27
8. CONCLUSIONES	28
9. ÍNDICE DE FIGURAS	36
10. ÍNDICE DE TABLAS	36
11. ANEXOS.....	38
11.1 ANEXO I: RESUMEN CÁLCULOS POR ALTERNATIVA DE ESTUDIO.....	39
11.1.1 RESUMEN SIN BESS	39
11.1.2 RESUMEN CON BESS (16 horas)	40
11.1.3 RESUMEN CON BESS (3 DÍAS).....	41
11.2 ANEXO II: ALTERNATIVA IV- SUSTITUCIÓN POR BIOMETANO	42
11.3 ANEXO III: RECOPIACIÓN CENTRALES GENERADORAS DE ENERGÍA	44

1. ANTECEDENTES

Uno de los principales retos a los que se enfrenta el sector cerámico en la actualidad es la descarbonización, es decir, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La Unión Europea ha establecido nuevos objetivos de reducción de emisiones del 55% para el año 2030, con el objetivo de llegar a la neutralidad climática para el año 2050.

Por ello, España ha desarrollado el PNIEC¹ (*Plan Nacional Integrado de Energía y Clima*) y del que se hace referencia en este estudio. Además, dadas las exigencias europeas, la Comunitat Valenciana, por su alta tasa en emisiones de CO₂, también ha generado su propio estudio al respecto, llamado Estrategia Valenciana de Cambio Climático y Energía².

A nivel mundial, la siguiente gráfica muestra la evolución de las emisiones de CO₂ en los principales países emisores. Los países que más emiten están fuera de la UE, por lo que no están sujetos al cumplimiento de los objetivos climáticos y de transición energética anteriores. Algunos de estos países, como son el caso de China y de India, este último con un crecimiento muy relevante en los últimos años, son además los principales productores de baldosas cerámicas, lo que está aumentando la competencia desleal y agravando la competitividad de la industria española y europea.

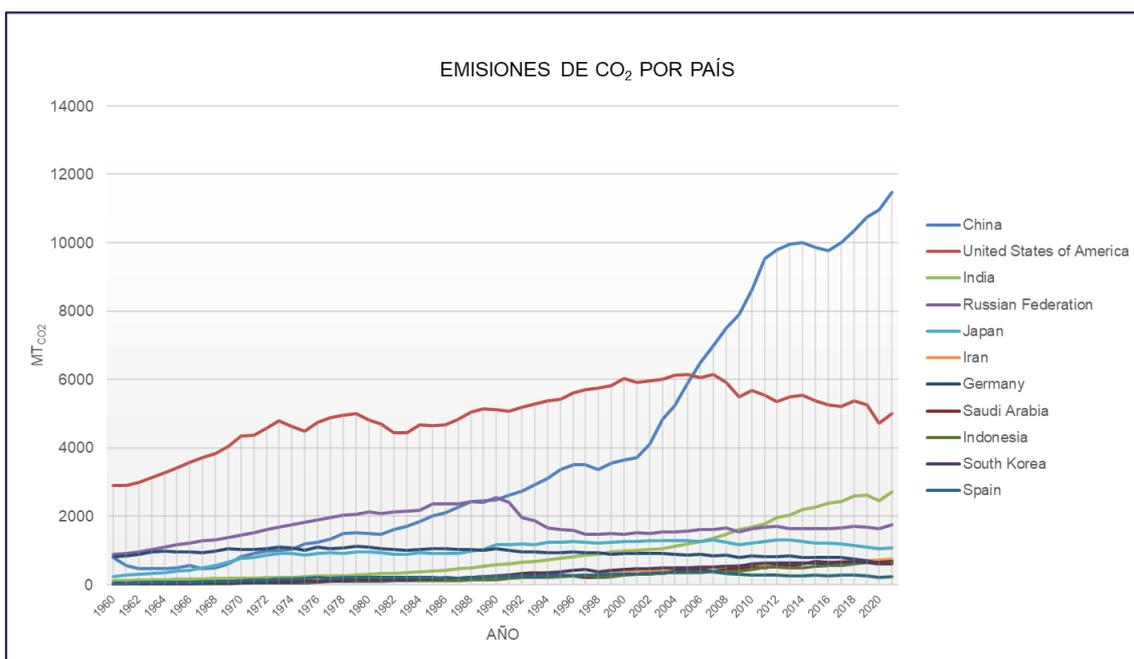


Figura 1 Emisiones de CO₂ por los principales países emisores. Fuente: Global Carbon Atlas.

¹ Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 (<https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.aspx>)

² Estrategia Valenciana de Cambio Climático y Energía (<https://agroambient.gva.es/es/web/cambio-climatico/2020-2030>)

2. DEMANDA ENERGÉTICA SECTOR CERÁMICO

En 2022, la producción española de baldosas cerámicas alcanzó los 500.000.000 m². Prácticamente, el 97%³ de la producción del sector cerámico español se produce en la provincia de Castellón, ya que es donde se ubica el distrito cerámico (*clúster*) con un 83% de las empresas del sector y, por tanto, es una de las principales fuentes económicas de la provincia.

Según el informe realizado por el IVACE⁴ (*Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial*) donde se exponen los datos energéticos de la Comunitat Valenciana del 2020, pese a ser un año complicado por la pandemia del COVID-19, se observa el significativo consumo de energía, principalmente de gas natural, de la provincia de Castellón en comparación con las provincias de Valencia y Alicante.

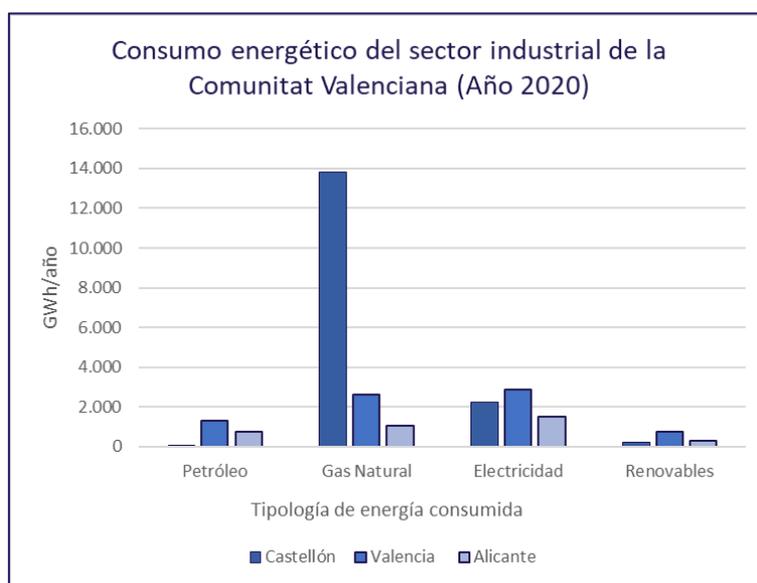


Figura 2 Consumo energético por provincias. Fuente: IVACE año 2020.

Por otra parte, en el sector cerámico el gasto energético se divide, principalmente, en consumo térmico (gas natural) y en eléctrico, siendo los consumos entre el 2019-2022, los siguientes:

Consumo energético sector cerámico				
Año	2.019	2.020	2.021	2.022
Producción	510 Mm ²	488 Mm ²	587 Mm ²	500 Mm ²
	TWh/año	TWh/año	TWh/año	TWh/año
Gas natural	14,10	13,43	17,04	14,87
Eléctrico	1,41	1,44	1,86	1,73
Total	15,51	14,87	18,90	16,60

Tabla 1 Consumo energético sector cerámico 2019-2022. Fuente ASCER.

³ Impacto socioeconómico y fiscal del sector de azulejos y pavimentos cerámicos en España: 2021 (https://portal.ascer.es/wp-content/uploads/2022/12/Impacto-ASCER-2021_def.pdf)

⁴ Informe IVACE datos energéticos 2020 (<https://www.ivace.es/index.php/es/documentos/energia-publicaciones>)

Según informe realizado por CNMC (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia), en el año 2020, la provincia de Castellón fue la principal consumidora de gas natural a nivel nacional. Además, según los datos expuestos en la tabla 1, el sector cerámico consumió en 2020, 13,43 TWh/año, es decir, un 97% del gas consumido por la provincia; que a nivel nacional se traduce en un 3,7% del consumo de gas y un 6,6% del consumo industrial de gas nacional.

Se comprueba, con los datos expuestos, que el sector cerámico es uno de los sectores industriales de la Comunitat Valenciana con mayor consumo energético, principalmente en la provincia de Castellón, ya que es donde se encuentra el distrito cerámico (*clúster*) del país, únicamente superado en consumo energético por el sector del transporte.

En estos consumos energéticos, correspondientes a la totalidad del sector cerámico, se incluye entre otros:

- La preparación de materias primas (proceso de atomizado con cogeneración asociada)
- La fabricación de baldosas cerámicas (proceso de secado y cocción)

La utilización del gas natural como combustible en el sector cerámico, se debe fundamentalmente a su disponibilidad (desde la década de los 80 en sustitución de los derivados de petróleo (mucho más contaminantes)), sus características térmicas y su idoneidad en el proceso de fabricación. En las últimas décadas el sector ha ido realizando importantes esfuerzos para reducir de forma significativa sus emisiones. La implantación generalizada del gas natural como fuente de energía en las principales etapas del proceso y la consiguiente reconversión de la tecnología de equipos de fabricación, ha supuesto una reducción del 60% de las emisiones específicas de CO₂ desde el año 1980⁵.

Con todo ello, el margen para poder reducir las emisiones de CO₂ es limitado con la tecnología actual, por lo que para poder cumplir con los objetivos climáticos europeos será necesario la aplicación de tecnologías alternativas disruptivas, que por el momento no están disponibles o no son lo suficientemente maduras.

⁵ Informe ASCER 2021 Evolución de las emisiones de CO₂ del sector español de baldosas cerámicas (<https://transparencia.ascer.es/media/1048/pf-6-informe-castellano.pdf>)

3. TECNOLOGÍAS DE DESCARBONIZACIÓN

A largo plazo, el sector cerámico dispone, principalmente, de tres fuentes de energía alternativas (en fase de investigación y desarrollo) para la sustitución del gas natural que le permitirían ir disminuyendo las emisiones de CO₂:

- A. Empleo de hidrógeno renovable como combustible para satisfacer la demanda de energía térmica requerida para el proceso cerámico
- B. Electrificación. La energía térmica requerida para el proceso cerámico es generada exclusivamente por resistencias eléctricas
- C. Empleo de biometano (CH₄ verde)⁶. Esta alternativa, por su limitada disponibilidad, no es objeto de este estudio, el cual se centra únicamente en el uso del hidrógeno y/o la electrificación. No obstante, en el anexo II de este estudio, se incluyen algunas consideraciones sobre el uso del biometano, su disponibilidad y su potencial a nivel español.
- D. Combinación de las fuentes de energía mencionadas

Para sustituir por completo el combustible de gas natural por hidrógeno verde y/o electricidad renovable se requiere que la fuente de generación sea fiable y constante, que pueda satisfacer de forma continua y estable la demanda durante el funcionamiento del proceso (24 horas al día los 7 días de la semana).

Por otra parte, el uso del hidrógeno renovable y/o la electrificación requerirá de adaptaciones en los equipos actuales o de la adquisición de equipos nuevos de producción que, actualmente, no están disponibles o no son competitivos a escala industrial.

En la siguiente figura, se observa la posible combinación de tecnologías que podría adquirir el sector cerámico para optar a la neutralidad de emisiones en 2050.

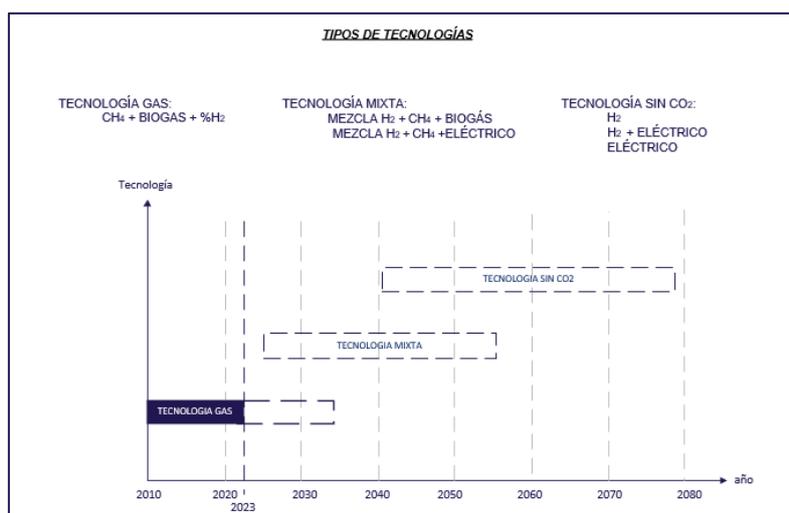


Figura 3 Gráfica de tecnologías en el sector cerámico. Estimación propia.

⁶ Véase ANEXO II

4. OBJETO Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 INTRODUCCIÓN

Cualquier alternativa libre de emisiones que suponga una sustitución completa del principal combustible actual del sector cerámico, conlleva una gran inversión económica en infraestructuras y en equipos productivos.

El presente estudio tiene como objetivo principal estimar las necesidades energéticas, incluidas las inversiones necesarias, para la implantación en el sector cerámico de las siguientes alternativas de descarbonización.

- A. Uso exclusivo de hidrógeno renovable como combustible
- B. Combinación de H₂ renovable y de electrificación, con dos escenarios diferentes; el primero donde se ha considerado el uso de H₂ renovable en atomización y la electrificación de los procesos de cocción y secado, y el segundo, que considera también el uso de H₂ renovable en atomización y la electrificación del secado, pero con una cocción mixta (horno 80% H₂ y 20% eléctrico)

Para ello, se han considerado las principales etapas del proceso de fabricación de baldosas cerámicas que requieren de mayor demanda térmica y que incluyen:

- Atomizado de arcilla sin cogeneración
- Secado de piezas prensadas
- Cocción de piezas

Por lo que cada vez que se hace referencia al sector cerámico y su consumo energético en este estudio, únicamente se tienen en cuenta estos procesos.

En el caso de la atomización la electrificación requerirá de un cambio en el propio proceso productivo además del cambio tecnológico. Esta tecnología, conocida como vía seca con posterior granulación⁷, es una tecnología todavía no desarrollada a nivel industrial, y que requiere ajustes y estudios específicos en los parámetros de configuración de su fabricación, para obtener resultados semejantes en términos de calidad, por tanto, se evidencia la dificultad de reemplazar la tecnología actual (molienda por vía húmeda y posterior atomización), por la alternativa de molienda vía seca.

Por lo anteriormente expuesto, para la etapa de atomización, no se ha valorado la opción de electrificación en ninguna de las alternativas de estudio, y en su lugar se ha considerado el uso de hidrógeno en las tres alternativas de descarbonización estudiadas.

Por otra parte, por falta de disponibilidad para la estimación de las inversiones necesarias, no se ha incluido el coste de adquisición de los nuevos equipos y tecnologías de proceso que serían necesarias para permitir el uso del hidrógeno y/o electricidad, pues se encuentran todavía en fase de investigación.

⁷ Informe de tecnologías de descarbonización realizado de CIRCE para ASCER. (<https://transparencia.ascer.es/media/1045/pf-5-informe-circe-castellano.pdf>)

A la hora de cuantificar la demanda energética para la etapa de atomización, se ha considerado que todo el calor es aportado por los quemadores de las instalaciones de atomización (atomizadores) y que no hay implantados equipos de cogeneración.

Otros procesos que no se incluyen en este estudio por mantener inalterada su fuente de energía eléctrica, son:

- Prensado
- Esmaltado
- Mecanizado (rectificado y pulido)
- Clasificación, encajado y almacén de producto acabado

4.2 DATOS DE PARTIDA

En base a la evolución de la producción de baldosas cerámicas durante el 2023, se estima que la producción para este año disminuya alrededor de un 15% respecto al año 2022. Por ello, se ha considerado oportuno que para la realización de este estudio se considere una producción anual del sector de 425.000.000 $m^2/año$ de baldosas cerámicas con un espesor de 9 mm y con peso índice de 22 kg/m^2 . Definidas las etapas incluidas en este estudio, el consumo térmico estimado actual para cada uno de los procesos analizados se refleja en la siguiente tabla:

ESTIMACIÓN CONSUMO TÉRMICO		
Producción	425.000.000,00	$m^2/año$
Energía total	12.121	$GWh/año$
Energía total proceso de atomizado	4.692	$GWh/año$
Energía total proceso de secado	1.508	$GWh/año$
Energía total proceso de cocción	5.921	$GWh/año$

Tabla 2 Consumo térmico por proceso de fabricación de baldosas. Estimación propia para 2023.

Se observa como la cocción del producto cerámico, así como el proceso de atomizado son los dos procesos del sector de mayor consumo energético (88% del consumo total), por lo que los esfuerzos en reducir las emisiones de CO₂, sin olvidar el secado, se deben centrar en esos procesos.

4.3 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

Con el objetivo ya indicado de reducir las emisiones de CO₂, hasta una futura neutralización de estas, se realiza la estimación de la energía necesaria para sustituir el combustible gas natural por el hidrógeno verde o mediante la introducción de electrificación del proceso.

La red eléctrica de distribución actualmente disponible está alcanzando su límite de capacidad. En el distrito del clúster cerámico, existen inversiones paralizadas por la falta de capacidad de acceso a las redes tanto de vertido como ampliaciones de potencia. Por lo que si no se acometen grandes inversiones que permitan ampliar la capacidad de las redes actuales, difícilmente serán alcanzables los objetivos marcados en el PNIEC.

Esta nueva infraestructura deberá suministrar energía eléctrica verde a los nuevos puntos de consumo del sector cerámico, bien sean éstos plantas de fabricación de hidrógeno o plantas cerámicas con equipos eléctricos. Adicionalmente, a modo comparativo, se analizará una alternativa de generación de electricidad a partir de una fuente de energía constante, como es la energía nuclear. Por tanto, las alternativas de generación de electricidad analizadas en este estudio incluyen:

- Parque fotovoltaico
- Parque eólico onshore
- Central nuclear

Por ello, se estudiará técnica y económicamente, sin profundizar en detalles técnicos específicos, las necesidades de cada alternativa de sustitución al combustible gaseoso actual y los costes que supondría. Se incluirán los costes de las centrales generadoras (de electricidad y de generación de hidrógeno), subestaciones de elevación, redes de distribución, acometidas y centros de transformación que reduzcan a 20/66 kV (tensiones preferenciales a las que se suministra la energía proveniente de la red eléctrica actual).

No se incluyen en estas valoraciones los hidroductos (gasoductos para hidrógeno) pues se toma como hipótesis que los electrolizadores se construirán ubicados junto a la factoría o grupo de factorías de interesados que lo consumen.

Asimismo, se estimará la superficie de ocupación necesaria por las nuevas fuentes de energías. Para las alternativas con fuentes renovables se establecen sistemas de almacenamiento energético, aunque dada la falta de información unificada y confiable con respecto a las dimensiones necesarias para estos sistemas, no se incluyen en los cálculos de superficies.

4.4 FABRICACIÓN DE HIDRÓGENO

Los electrolizadores son equipos industriales de gran complejidad técnica diseñados para la **fabricación de hidrógeno** aplicando la tecnología de la electrólisis, es decir, la descomposición de la molécula de agua por medio de una corriente eléctrica en sus dos elementos: hidrógeno y oxígeno. Siempre que se utilice una fuente de energía renovable, el hidrógeno generado llevará la etiqueta de verde.

Cabe destacar que el consumo de agua necesario por la técnica de la electrólisis es elevado, por tanto, en el momento en que se aplique esta solución deberá confirmarse el abastecimiento estable y constante de agua en cada electrolizador. Este abastecimiento, que puede llegar a superar, para poder cubrir toda la demanda del sector, el agua evaporada por el conjunto de atomizadores en servicio en el sector cerámico debe ser asegurado por el Organismo de cuenca con responsabilidades en su gestión y suministro. Según estimaciones propias el conjunto de atomizadores del sector cerámico podría llegar a utilizar un total de $5 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Actualmente, para generar 1 kg de hidrógeno se necesitan unos 12 litros de agua (10 litros de agua desionizada y 2 litros rechazados en proceso de purificación)^{8 9}. Es decir, en el caso de emplear como combustible en sustitución al gas natural el hidrógeno, para todo el sector cerámico de la provincia, se necesitaría aproximadamente $4,3 \text{ hm}^3/\text{año}$ de agua adicional para los nuevos electrolizadores.

⁸ <https://www.canaldeisabelsegunda.es/-/planta-de-hidrogeno-verde-para-2024>

⁹ <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/hidrogeno-verde/diferencia-hidrogeno-verde-azul>

4.5 ALTERNATIVAS DE ESTUDIO

4.5.1 ALTERNATIVA I: TODO HIDRÓGENO

La primera alternativa analiza la sustitución total del combustible actual (gas natural) por hidrógeno verde, es decir, podría contribuir a alcanzar la *neutralización de emisiones de CO₂* para todo el sector cerámico, objetivo principal para 2050 de la Unión Europea.

Una mezcla parcial de hidrógeno y gas natural puede ser válida con los equipos actuales modificando los quemadores instalados¹⁰. Sin embargo, los quemadores o maquinaria funcionales para esa mezcla (con un límite del 30% en volumen de hidrógeno) no pueden trasladarse al caso de 100% de hidrógeno como combustible, pues no son válidos para los equipos actuales de secado y cocción. Es decir, para poder utilizar un mayor porcentaje de mezcla o blending del gas natural con hidrógeno se requerirá de adaptaciones y/o sustitución de los equipos actuales por otros nuevos que actualmente no están comercialmente disponibles.

En el apartado 6 RESULTADOS TÉCNICOS, suponiendo que se desarrollan los equipos de proceso para su funcionamiento con un 100% hidrogeno como combustible, se identifican las necesidades térmicas y de inversión para el conjunto del sector cerámico asumiendo que todo el gas natural que se consume es reemplazado por hidrógeno verde y la energía eléctrica que sería necesaria por los electrolizadores para producirlo.

Para el cálculo, se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Atomizado de arcilla: aplicación de quemadores de 100% hidrógeno como combustible para calentar los grandes volúmenes de aire involucrados en el proceso de atomizado de arcillas a temperaturas en el entorno de los 500 °C.
- Secado de baldosas cerámicas: aplicación de quemadores de 100% hidrógeno como combustible que calientan el aire a temperaturas hasta 200°C y regulados para optimizar el consumo energético, a través del aprovechamiento de gases calientes provenientes de la chimenea de enfriamiento del horno y se derivan al secadero.
- Cocción de baldosas cerámicas: disponibilidad de hornos cerámicos para funcionar con 100% hidrógeno como combustible con temperatura de llama de 2.000°C que se reducen a 1.200°C en la cámara de combustión del horno y regulados para optimizar el consumo energético, a través del aprovechamiento de aire caliente procedente de su propio sistema de enfriamiento.

¹⁰ Proyecto horno cerámico con Hidrógeno ITC (<https://www.itc.uji.es/itc-aice-logra-por-primera-vez-en-sus-instalaciones-la-combustion-con-hidrogeno-en-un-horno-ceramico/>)

4.5.2 ALTERNATIVA II: MIXTO A

En esta segunda alternativa la energía térmica procedente de la combustión del gas natural se sustituye por energía eléctrica, con fuentes de energía renovables y sustituyendo las máquinas actuales con quemadores de combustible gaseoso por máquinas totalmente eléctricas en los procesos de secado y cocción, y utilizando hidrogeno renovable para el proceso de atomizado. Con ello, también se conseguirá la neutralización de emisiones de CO₂ para todo el sector cerámico, objetivo 2050.

En el apartado 6 RESULTADOS TÉCNICOS, suponiendo que los problemas tecnológicos asociados a adoptar maquinaria eléctrica se resuelven de tal forma que no se disminuya la productividad actual de los equipos de proceso, se identifican cuáles serían las necesidades energéticas y de inversión del sector cerámico, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Atomizado de arcilla: Actualmente, no se dispone de una alternativa de tecnología eléctrica adecuada para calentar los grandes volúmenes de aire involucrados en el proceso de atomizado de arcillas a temperaturas en el entorno de los 500 °C, con respecto al uso de quemadores a gas (sea CH₄, sea H₂ o una mezcla de ellos). Por ello, para esta etapa de proceso, se emplearán los resultados obtenidos en la Alternativa I, para uso de hidrógeno.
- Secado de baldosas cerámicas: En el sector cerámico no se encuentran secaderos eléctricos como solución estandarizada. El procedimiento técnicamente más viable son resistencias eléctricas que calientan el aire a temperaturas hasta 200°C coordinado, para reducir el consumo energético, a través el aprovechamiento de gases calientes del enfriamiento del horno que se derivan al secadero.
- Cocción de baldosas cerámicas: Actualmente, los hornos eléctricos en el sector cerámico se emplean para proyectos piloto, aplicaciones de laboratorio o pequeñas producciones/tercer fuego. Con ello, se demuestra que, aunque es una tecnología capaz de suplir el gas natural en caso de necesidad para determinada tipología de productos, en este momento sigue siendo ineficiente para las grandes producciones industriales, además de que no existen equipos industriales a escala comercial.

4.5.3 ALTERNATIVA III: MIXTO B

Esta tercera alternativa aminora los caudales de hidrógeno necesarios de la Alternativa I ya que combina la sustitución de parte del gas natural por hidrógeno verde, en una parte del horno, y por energía eléctrica en la zona de cocción final, constituyendo un escalón intermedio entre las otras alternativas analizadas.

Algunas consideraciones incluyen:

- Atomizado de arcilla: aplicación de quemadores con 100% hidrógeno para calentar los grandes volúmenes de aire involucrados en el proceso de atomizado de arcillas a temperaturas en el entorno de los 500 °C.
- Secado de baldosas cerámicas: En el sector cerámico no se encuentran secaderos eléctricos como solución estandarizada. El procedimiento más viable técnicamente reside en resistencias eléctricas que calientan el aire a temperaturas hasta 200°C coordinado, para reducir el consumo energético, a través el aprovechamiento de gases calientes del horno que derivan al secadero.
- Cocción de baldosas cerámicas: La propuesta en esta alternativa es un horno mixto que emplee hidrógeno verde en la zona de precalentamiento (hasta 900°C) con quemadores 100% hidrógeno y energía eléctrica con resistencias en la zona de cocción (1000°C/1200°C). Para ello, se considera que un 80% de la demanda térmica se suplirá con H₂ y el 20% restante con electricidad.

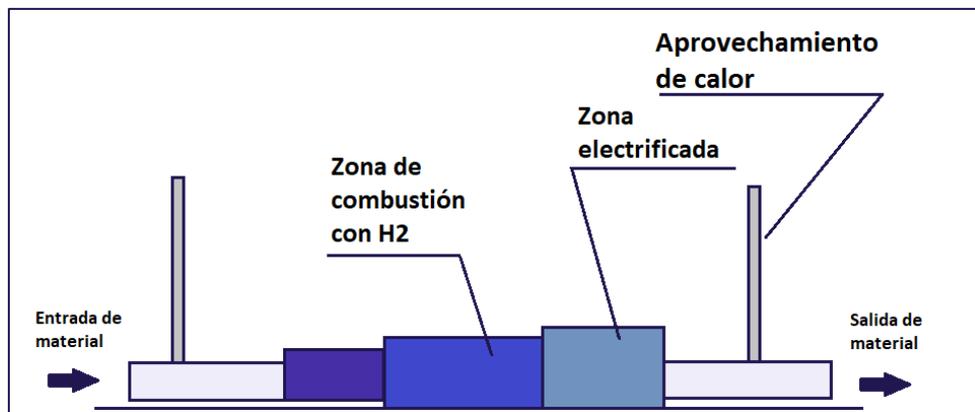


Figura 4 Esquema horno mixto que emplea combustible fósil y energía eléctrica.

4.5.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Tal y como se ha especificado, este estudio se basa en tres posibles alternativas de descarbonización, en sustitución del gas natural y que se establecen en función de su adecuación en cada etapa del proceso de fabricación del sector cerámico. A modo resumen, en la siguiente tabla, se indica la alternativa de combustible aplicable en cada caso, para facilitar la interpretación de los resultados obtenidos.

	ALTERNATIVA I: TODO HIDRÓGENO	ALTERNATIVA II: MIXTO A (MAYOR PARTE ELÉCTRICO)	ALTERNATIVA III: MIXTO B	
Proceso de atomizado	100% H ₂	100% H ₂	100% H ₂	
Proceso de cocción	100% H ₂	100% Electricidad	80% H ₂	20% Electricidad
Proceso de secado	100% H ₂	100% Electricidad	100% Electricidad	

Tabla 3 Resumen de combustible por proceso y alternativa de estudio.

En el apartado 6 RESULTADOS TÉCNICOS y en el apartado 7 RESULTADOS ECONÓMICOS se identifican los valores estimados de las necesidades energéticas, la inversión (CAPEX) en las fuentes de generación de energía y de generación de hidrógeno, inversión en infraestructura eléctrica necesaria, el coste de operación (OPEX) de las fuentes de energía y la inversión total que supondría cada una de las alternativas.

Cabe destacar, como se ha señalado anteriormente que, por falta de información disponible por parte de los fabricantes de maquinaria, no se ha determinado el coste de la inversión que supondrá la modificación o sustitución total de los equipos de proceso en cada alternativa.

Por otra parte, en las tablas de resultados se indica -para cada alternativa- el impacto sobre el coste final €/m² de producto que supondría la inversión. En el ANEXO I se encuentran las tablas con la información completa y detallada por alternativa y tipología de fuente de energía.

Como se define en este estudio, a parte del gran desafío que supone el desarrollo de la nueva infraestructura para la generación renovable necesaria para poder sustituir la demanda energética actual, el sector se enfrenta, además, a otros retos tecnológicos, puesto que los equipos actuales no son funcionales para el uso de hidrógeno o de electrificación, ya que están todavía en fase de investigación.

5. GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA NECESARIA

Como se expresa en este estudio, para cada una de las alternativas de descarbonización se analizan las opciones de generación y distribución de la energía eléctrica necesaria según las siguientes fuentes de energías:

- Parque fotovoltaico
- Parque eólico on-shore
- Fuente de energía constante (central nuclear)

Cada una de ellas tiene unas características diferentes que se tendrán en cuenta para el cálculo de la potencia necesaria, la superficie ocupada y la distribución de dicha energía.

Parque fotovoltaico

Para el cálculo de la potencia necesaria del parque fotovoltaico en función de las necesidades energéticas de la alternativa de estudio, se tendrá en cuenta las horas de sol equivalente. Según establece el Código Técnico de la Edificación (RD 314/2006¹¹) a la provincia de Castellón le corresponde una zona climática IV y para una instalación fija en dicha zona climática, según el RD 14/2010¹², las horas anuales equivalentes son de 1.632 horas.

Dado que la energía solar no es una fuente de energía constante, el suministro se tendrá que complementar con un *PPA* (contrato de suministro de energía renovable a largo plazo) o con un sistema de almacenamiento de energía eléctrica asociado.

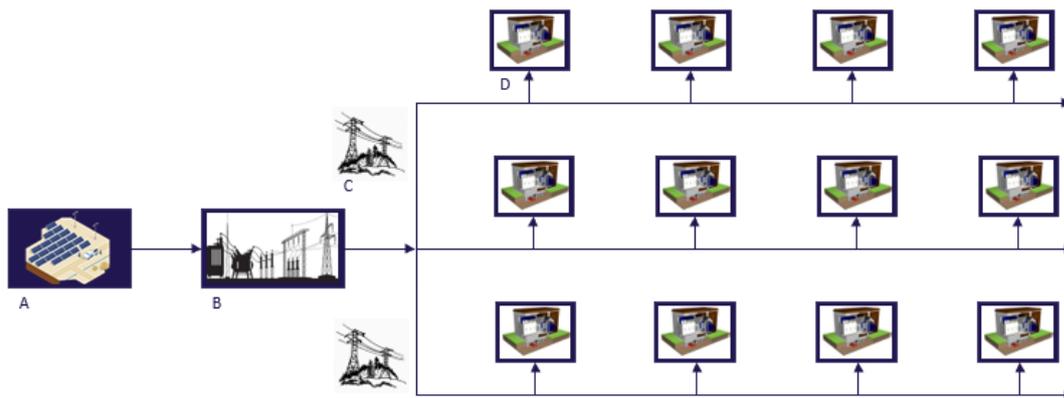
Estos sistemas de almacenamiento, llamados *BESS (Battery Energy Storage System)* capturan la energía de la fuente y la almacenan en baterías recargables hasta que su uso es necesario. Actualmente, se utilizan a pequeña escala en las redes de distribución para estabilizar sus parámetros (frecuencia y tensión), pero con un bajo rendimiento y alto coste. Sin embargo, se tendrán en cuenta para este estudio pues es la alternativa de almacenaje existente.

Se estimará la superficie necesaria en cada alternativa para la producción de la energía eléctrica utilizando como fuente de energía renovable el sol. Para distribuir esta energía, serán necesarias subestaciones junto el campo solar para elevarla de 20kV a 110 kV, distribuirla mediante nuevas líneas de alta tensión aéreas hasta nuevas subestaciones que la reducirán a 66/20 kV y desde este punto a los centros de transformación de cliente que reducen los 20 kV a 0,4 kV, tensión de trabajo estandarizada en las fábricas.

¹¹ Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación

¹² Real Decreto-ley 14/2010, de 23 de diciembre, por el que se establecen medidas urgentes para la corrección del déficit tarifario del sector eléctrico

Fuente de energía- Central solar



LEYENDA

- A – Central generadora
- B – Subestación de elevación (20/110kV)
- C – Líneas aéreas de alta tensión
- D – Subestaciones reductoras y centros de transformación

Figura 5 Esquema de distribución desde una central solar.

Parque eólico on-shore

Para el cálculo de la potencia necesaria del parque eólico en función de las necesidades energéticas según la alternativa de estudio, se tendrán en cuenta las horas de viento equivalentes, para zona de la Comunitat Valenciana. El IDAE¹³, determina un rango de horas equivalentes netas de 2075 - 2275 horas anuales. En ese mismo documento, que estima el potencial eólico de cada comunidad, para la Comunitat Valenciana considera 9 GW, actualmente hay instalados 1.243 MW¹⁴ de energía eólica.

Dado que la energía eólica tampoco es una fuente constante y estable, se incluirá en el estudio un sistema de almacenamiento similar al empleado en la energía solar, o en su defecto, un PPA.

Para el dimensionado de la superficie a cubrir, se tomará como referencia aerogeneradores de última generación on-shore, es decir, aerogeneradores de capacidad 6,60 MW. Estos aerogeneradores, actualmente, tienen unas dimensiones de rotor de 170 m por lo que cada aerogenerador necesitaría un área aproximada de 0.87 km²¹⁵.

Se estimará la superficie necesaria en cada alternativa para la producción de la energía eléctrica utilizando como fuente de energía renovable el viento. Para distribuir esta energía, será necesario mediante varias subestaciones junto el campo eólico elevarla de 20/66 kV a 110 kV, distribuirla mediante nuevas líneas de alta tensión aéreas hasta nuevas subestaciones que la reducirán a 66/20 kV y desde este punto a los centros de transformación de cliente que reducen los 20 kV a 0,4 kV, tensión de trabajo estandarizada en las fábricas.

Fuente de energía- Central eólica

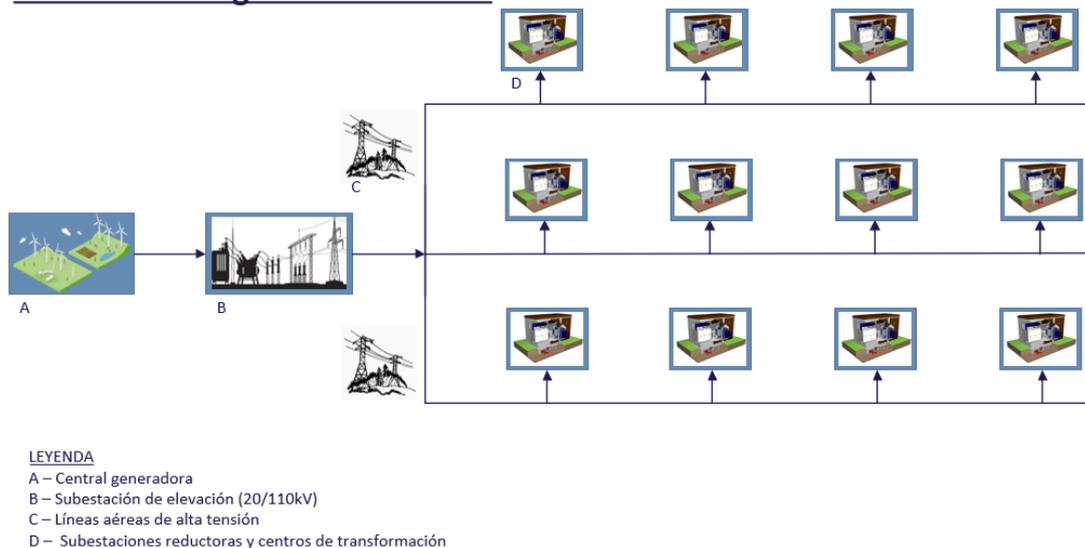


Figura 6 Esquema de distribución desde una central eólica.

¹³ Análisis del recurso. Atlas Eólico de España. Estudio Técnico per 2011-2020

¹⁴ <https://www.ree.es/es/datos/generacion/potencia-instalada>

¹⁵ Cuaderno de aplicaciones técnicas Nº12. Plantas eólicas de la empresa ABB. Pág 16

Central nuclear

La energía nuclear es una fuente de energía que causa mucha controversia por la posibilidad de fugas y los residuos que genera. Sin embargo, la Comisión Europea adoptó un Reglamento delegado que completa el Reglamento delegado del Clima, para incluir las centrales nucleares dentro de la taxonomía verde, de tal forma que, en los programas de finanzas sostenibles, esta tecnología se considera una tecnología de transición necesaria para alcanzar los objetivos de descarbonización a 2030 y 2050.

Con este reglamento aprobado, podrán recibir financiación, bajo el Reglamento de taxonomía, la construcción y explotación segura de nuevas centrales nucleares que cuente con un permiso de construcción en antes de 2045, para producir electricidad o calor, incluida la producción de hidrógeno, utilizando las mejores tecnologías disponibles siempre que cumplan con unos requisitos de seguridad y ambientales.

Para distribuir esta energía, será necesario mediante una subestación junto la central nuclear reducir de 220kV a 110 kV, distribuirla mediante nuevas líneas de alta tensión aéreas hasta nuevas subestaciones que la reducirán a 66/20 kV y desde este punto a los centros de transformación de cliente que reducen los 20 kV a 0,4 kV, tensión de trabajo estandarizada en las fábricas.

Por último, se estimará la superficie necesaria en cada alternativa para la producción de la energía eléctrica utilizando como fuente de energía la energía nuclear.

Fuente de energía- Central Nuclear

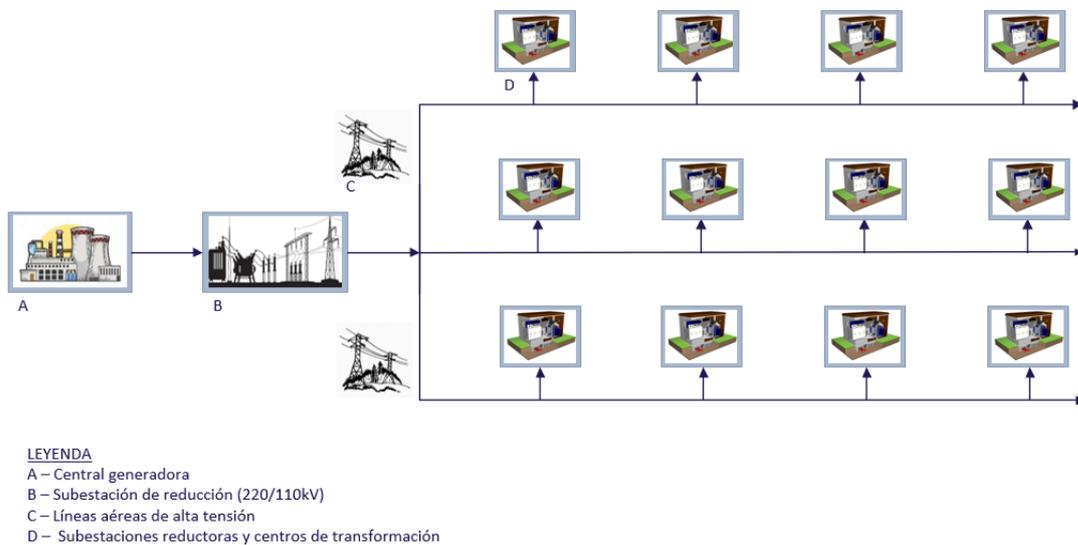


Figura 7 Esquema de distribución desde una central nuclear.

6. RESULTADOS TÉCNICOS

6.1 CUANTIFICACIÓN NECESIDADES ENERGÉTICAS

A continuación, se determinarán según las diferentes alternativas de estudio la energía necesaria para la sustitución del combustible de gas natural en el sector cerámico.

6.1.1 ALTERNATIVA I: TODO HIDRÓGENO

En primer lugar, se calculan las cantidades de H₂ necesario para sustituir por completo la demanda de gas natural que consume el sector cerámico español de baldosas cerámicas. Partiendo de las necesidades de hidrógeno verde, se ha estimado la demanda de energía eléctrica renovable que sería necesaria para alimentar el proceso de electrólisis.

ESTIMACIÓN NECESIDAD H ₂ (para una producción estimada de 425 Mm ²)			
Proceso	Consumo H ₂ (kgH ₂ /año)	Demanda de energía eléctrica para electrólisis (GWh/año)	Potencia del conjunto de electrolizadores (GW)
Proceso de atomizado	146.742.359	7.337	0,93
Proceso de secado	44.044.062	2.202	0,28
Proceso de cocción	172.913.727	8.646	1,09
Total sector cerámico	363.700.148	18.185	2,30
<i>*Para el cálculo de los electrolizadores necesarios se ha considerado un consumo específico de 50 kWh/kgH₂</i>			

Tabla 4 Necesidades sector cerámico H₂.

Esta estimación de la demanda de energía eléctrica para alimentar a los electrolizadores se traduce en la instalación de la siguiente potencia eléctrica según tipología de fuente de generación:

ESTIMACIÓN POTENCIA ELÉCTRICA NECESARIA SI SE SUSTITUYE POR HIDRÓGENO			
Potencia necesaria para	Energía Solar (GW)	Energía Eólica (GW)	Energía Nuclear (GW)
Sector cerámico	13,72-16,55	8,50-10,80	2,42

Tabla 5 Estimación potencia por fuente energía para el sector cerámico Alternativa I.

Se observa en la tabla un rango de la potencia a instalar en las fuentes de energía renovables. Esta variación corresponde si se implementa o no, un sistema de almacenamiento energético (BESS para 3 días).

Una vez determinada la potencia que debería disponer cada una de las fuentes de energía propuestas, se realiza la estimación del área ocupada en el apartado 6.2.

6.1.2 ALTERNATIVA II: MIXTO A

Para esta alternativa, se hace una estimación de la demanda eléctrica que supondría la total electrificación de los hornos y los secaderos del sector. Para el proceso de atomizado, como ya se ha comentado anteriormente, dada la ineficiencia de la tecnología de electrificación aplicable, se ha decidido mantener el empleo de hidrógeno renovable (utilizando la cantidad estimada en la alternativa I).

Para el cálculo del consumo energético de los hornos se han empleado datos empíricos de un horno eléctrico del sector, ajustándolos a las necesidades de producción correspondientes a este estudio. Por ello, se estima una producción total de 425.000.000 $m^2/año$ y una producción diaria por horno de 12.000 $m^2/día$.

Sin embargo, para el secadero no se disponen de datos empíricos, por ello se hace una estimación del consumo eléctrico en función del consumo térmico actual.

ESTIMACIÓN DEMANDA ELÉCTRICA		
Producción	425.000.000	$m^2/año$
Energía anual proceso cocción + secado	8.138	GWh/año
Energía anual proceso atomizado (empleando H ₂)	7.337	GWh/año
TOTAL	15.475	GWh/año

Tabla 6 Estimación demanda eléctrica para la electrificación del sector cerámico.

Por ello, suponiendo que se dispone de la tecnología de proceso necesaria para la utilización de la energía eléctrica como fuente exclusiva de alimentación para los procesos de cocción y secado, se necesitaría la siguiente potencia instalada:

ESTIMACIÓN POTENCIA ELÉCTRICA NECESARIA POR FUENTE DE ENERGÍA PROCESOS ELECTRIFICADOS			
Proceso	Energía Solar (GW)	Energía Eólica (GW)	Energía Nuclear (GW)
Procesos de Cocción + Secado	6,14-7,40	3,80-4,83	1,08

Tabla 7 Estimación potencia fuente energía para electrificación.

Mientras que para el proceso de atomizado usando como único combustible el hidrógeno se necesitaría la siguiente potencia de electrolizadores e instalada en fuentes de generación:

ESTIMACIÓN NECESIDAD H ₂ (para una producción estimada de 425 Mm ²)			
Proceso	Consumo H ₂ (kgH ₂ /año)	Demanda de energía eléctrica para electrólisis (GWh/año)	Potencia del conjunto de electrolizadores (GW)
Proceso de atomizado	146.742.359	7.337	0,93
<i>*Para el cálculo de los electrolizadores necesarios se ha considerado un consumo específico de 50 kWh/kgH₂</i>			
ESTIMACIÓN POTENCIA ELÉCTRICA DEMANDADA POR FUENTE DE ENERGÍA PROCESOS CON HIDRÓGENO			
Proceso	Energía Solar (GW)	Energía Eólica (GW)	Energía Nuclear (GW)
Proceso de atomizado	5,54-6,68	3,43-4,35	0,98

Tabla 8 Estimación potencia fuente energía para electrolizadores.

ESTIMACIÓN POTENCIA ELÉCTRICA DEMANDADA POR PROCESOS CON HIDRÓGENO Y PROCESOS ELECTRIFICADOS			
Proceso	Energía Solar (GW)	Energía Eólica (GW)	Energía Nuclear (GW)
Proceso de atomizado (utilización de H ₂)	5,54-6,68	3,43-4,35	0,98
Proceso de cocción (electrificación equipos)	4,89-5,90	3,03-3,85	0,86
Proceso de secado (electrificación equipos)	1,25-1,50	0,77-0,98	0,22
TOTAL	11,68-14,08	7,23-9,19	2,06

Tabla 9 Estimación potencia por fuente energía para el sector cerámico Alternativa II.

Se observa en la tabla un rango de la potencia a instalar en las fuentes de energía renovables. Esta variación corresponde a la implantación o no de sistemas de almacenamiento energético (BESS para 3 días).

Una vez determinada la potencia que debería disponer cada una de las fuentes de energía propuestas, se realiza la estimación del área ocupada en el apartado 6.2.

6.1.3 ALTERNATIVA III: MIXTO B

Con las necesidades de hidrógeno ya estimadas para la ALTERNATIVA I se estima la necesidad energética para la producción de dicho hidrógeno para el proceso de atomizado y parte para el proceso de cocción, ya que en esta alternativa se alimentará el proceso de atomizado con hidrógeno como combustible y el horno será mixto donde aproximadamente un 80% de la energía necesaria será hidrógeno y el resto, junto con el proceso de secado, se electrificará.

ESTIMACIÓN DEMANDA ELÉCTRICA PARA LOS ELECTROLIZADORES (para una producción estimada de 425 Mm ²)			
	Consumo (GWh/año)	Consumo H ₂ (kgH ₂ /año)	Potencia del conjunto de electrolizadores (GW)
Proceso de atomización	7.337	146.742.359	0,93
Proceso de cocción 80% H ₂	6.917	138.330.981	0,87
Proceso de cocción 20% kWe	-		-
Proceso de secado	-		-
TOTAL	14.254	285.073.340	1,80

**Para el cálculo de los electrolizadores necesarios se ha considerado un consumo específico de 50 kWh/kgH₂*

Tabla 10 Estimación necesidad eléctrica para electrolizadores según proceso.

ESTIMACIÓN DEMANDA ELÉCTRICA PARA LOS EQUIPOS		
Producción	425.000.000	m ² /año
Energía anual proceso de atomización	-	GWh/año
Energía anual proceso de cocción 80% H ₂	-	GWh/año
Energía anual proceso de cocción 20% kWe	1.297	GWh/año
Energía anual proceso de secado	1.652	GWh/año
TOTAL	2.949	GWh/año

Tabla 11 Estimación necesidad eléctrica para electrificación según proceso.

ESTIMACIÓN DEMANDA ELÉCTRICA		
Producción	425.000.000	m ² /año
Energía anual sector cerámico	17.203	GWh/año

Tabla 12 Estimación necesidad eléctrica para Alternativa III.

Esta estimación de la demanda eléctrica para los electrolizadores como se ha hecho en otros apartados se traduce en la siguiente potencia necesaria:

ESTIMACIÓN POTENCIA ELÉCTRICA DEMANDADA POR FUENTE DE ENERGÍA PROCESOS CON HIDRÓGENO			
Proceso	Energía Solar (GW)	Energía Eólica (GW)	Energía Nuclear (GW)
Proceso de atomización	5,54-6,68	3,43-4,35	0,98
Proceso de cocción 80% H ₂	5,22-6,29	3,23-4,11	0,92
Proceso de cocción 20% kWe	-	-	-
Proceso de secado	-	-	-

Tabla 13 Estimación potencia por fuente de energía H₂ según proceso.

A continuación, se realiza el cálculo de las necesidades de generación eléctrica que implicaría la electrificación del proceso de secado y parte del proceso de cocción, con los siguientes resultados:

ESTIMACIÓN POTENCIA ELÉCTRICA DEMANDADA POR FUENTE DE ENERGÍA PROCESOS ELECTRIFICADOS			
Proceso	Energía Solar (GW)	Energía Eólica (GW)	Energía Nuclear (GW)
Proceso de atomización	-	-	-
Proceso de cocción 80% H ₂	-	-	-
Proceso de cocción 20% electrificación	0,98-1,18	0,61-0,77	0,17
Proceso de secado	1,25-1,50	0,77-0,98	0,22

Tabla 14 Estimación potencia por fuente de energía para electrificar según proceso.

Por lo que el resumen completo empleando para cada proceso la fuente correspondiente sería:

ESTIMACIÓN POTENCIA ELÉCTRICA DEMANDADA POR FUENTE DE ENERGÍA MIXTA PROCESOS CON HIDRÓGENO Y PROCESOS ELECTRIFICADOS HIDRÓGENO (CON HORNO MIXTO)			
Proceso	Energía Solar (GW)	Energía Eólica (GW)	Energía Nuclear (GW)
TOTAL sector cerámico	12,98-15,65	8,04-10,21	2,29

Tabla 15 Estimación potencia por fuente energía para el sector cerámico Alternativa III.

6.2 CUANTIFICACIÓN DE LA SUPERFICIE OCUPADA

La comparativa de la superficie ocupada se realizará en función de la fuente de energía generadora seleccionada. Esta comparativa se realiza sin tener en cuenta la superficie ocupada por la instalación necesaria para el sistema de almacenamiento, pues se desconoce el tamaño y área necesarias para estos nuevos equipos.

Dado que el distrito cerámico (*clúster*) de la provincia de Castellón se encuentra entre las ciudades de Castellón, Alcora, Onda y Vila-real, se ha establecido un área entre estas donde situar la fuente generadora que supla de energía las nuevas necesidades del sector.

Únicamente se hace esta cuantificación para que de manera visual se observe la magnitud de la infraestructura eléctrica que implica esta descarbonización. En el caso de que se ejecutara se debería estudiar la ubicación idónea para las fuentes de energía.

COMPARATIVA OCUPACIÓN FUENTES DE ENERGÍAS			
Superficie (hm ²)	Campo Solar	Campo Eólico	Central Nuclear
Alternativa I	13.453	111.628	127
Alternativa II	11.448	94.991	108
Alternativa III	12.726	105.598	120
Radio implicado (km)	Campo Solar	Campo Eólico	Central Nuclear
Alternativa I	6,54	18,85	0,64
Alternativa II	6,04	17,39	0,59
Alternativa III	6,36	18,33	0,62

Centrales nucleares

Tabla 16 Comparativo ocupación energías.

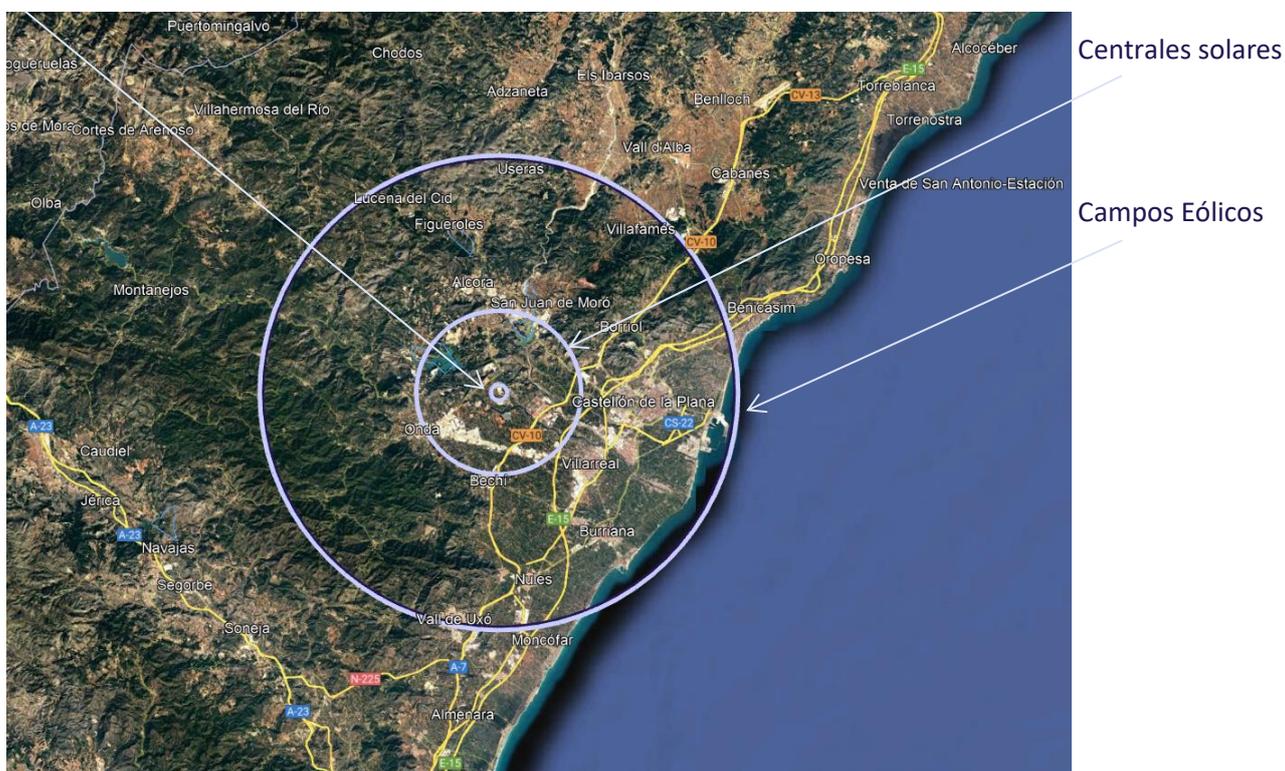


Figura 8 Ocupación superficie por fuente de energía.

7. RESULTADOS ECONÓMICOS

En este apartado se detalla en una tabla por alternativa (Tabla 18-Tabla 20), un resumen de la inversión económica estimada para la neutralización en emisiones que debería afrontar el sector cerámico.

Este resumen incluye la energía eléctrica necesaria para los procesos estudiados del sector cerámico, la potencia de cada central generadora, la inversión de la infraestructura eléctrica y de electrólisis necesaria, los costes de operación de las centrales de generación y la inversión final asociada. Tras ese resumen, en cada tabla hay un desglose que proporciona el ratio (€/m²) que tiene en cuenta los años de funcionamiento, inversión y mantenimiento.

AÑOS DE FUNCIONAMIENTO/VIDA ÚTIL/AMORTIZACIÓN			
FOTOVOLTAICA	EÓLICA	NUCLEAR	SUBESTACIONES
20	20	60	60
REDES	CENTROS DE TRANSFORMACIÓN	EHG	BESS
60	60	20	15

Tabla 17 Años de funcionamiento por tipología de infraestructura

Cabe destacar, que a este coste de la infraestructura eléctrica necesaria se debe incluir el coste de los nuevos equipos productivos, coste que actualmente no se puede definir por falta de datos por parte de los proveedores de maquinaria. En el apartado ANEXO I se encuentran las tablas desglosadas.

Sin embargo, es imprescindible remarcar que la viabilidad de las alternativas propuestas en el sector no dependerá exclusivamente del coste de producción de dicha fuente de energía sino también del desarrollo de la nueva tecnología del proceso industrial, pues es uno de los puntos clave en esta descarbonización.

7.1 ALTERNATIVA I: TODO HIDRÓGENO

		ALTERNATIVA I				
		Todo SECTOR H ₂				
		Solar SIN BESS	Solar CON BESS (3 Días)	Nuclear	Eólica SIN BESS	Eólica CON BESS (3 Días)
Energía eléctrica necesaria	<i>GWh/año</i>	18.185				
Potencia central	<i>GWp</i>	13,73	16,55	2,42	8,50	10,79
CAPEX TOTAL	<i>M€</i>	14.038	36.208	21.121	21.389	41.412
OPEX (5% Inversión)	<i>M€ / año</i>	702	1.810	1.056	1.069	2.071
Total inversión anual	<i>M€ / año</i>	1.420	4.085	1.690	2.215	4.593
Total inversión	<i>M€</i>	31.703	71.640	74.565	45.147	81.613
Coste Fuente de energía /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	1,80	2,17	2,67	3,78	4,58
Coste BESS /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	-	5,84	-	-	4,75
Coste Subestación /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	0,15	0,18	0,03	0,09	0,12
Coste líneas media tensión /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Coste centros transformación tensión /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	0,13	0,16	0,02	0,08	0,10
Coste electrolizador /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
TOTAL IE	<i>€/m² producido</i>	3,34	9,61	3,98	5,21	10,81
+ Coste nueva maquinaria/m ²	<i>€/m² producido</i>	C _{mH2}	C _{mH2}	C _{mH2}	C _{mH2}	C _{mH2}

Tabla 18 Resumen económico Alternativa I.

7.2 ALTERNATIVA II: MIXTO A

		ALTERNATIVA II				
		ATOMIZADOR H2 + HORNOS y SECADEROS kWe				
		Solar SIN BESS	Solar CON BESS (3 Días)	Nuclear	Eólica SIN BESS	Eólica CON BESS (3 Días)
Energía eléctrica necesaria	<i>GWh/año</i>	15.475				
Potencia central	<i>GWp</i>	11,68	14,08	2,06	7,23	9,19
CAPEX TOTAL	<i>M€</i>	9.750	28.616	15.778	16.006	33.045
OPEX (% Inversión)	<i>M€ / año</i>	488	1.431	789	800	1.652
Total inversión anual	<i>M€ / año</i>	976	3.244	1.206	1.653	3.676
Total inversión	<i>M€</i>	22.635	56.619	59.108	34.075	65.106
Coste Fuente de energía /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	1,53	1,85	2,27	3,22	3,90
Coste BESS /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	-	4,97	-	-	4,04
Coste Subestación /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	0,13	0,15	0,02	0,08	0,10
Coste líneas media tensión /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Coste centros transformación tensión /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	0,11	0,13	0,02	0,07	0,09
Coste electrolizador /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
TOTAL IE	<i>€/m² producido</i>	2,30	7,63	2,84	3,89	8,65
+ Coste nueva maquinaria/m2	<i>€/m² producido</i>	C _{mH2} + C _{mkWe}	C _{mH2} + C _{mkWe}	C _{mH2} + C _{mkWe}	C _{mH2} + C _{mkWe}	C _{mH2} + C _{mkWe}

Tabla 19 Resumen económico Alternativa II.

7.3 ALTERNATIVA III: MIXTO B

		ALTERNATIVA III				
		ATOMIZADORES H ₂ + HORNOS 80% H ₂ y 20% kWe + SECADEROS kWe				
		Solar SIN BESS	Solar CON BESS (3 Días)	Nuclear	Eólica SIN BESS	Eólica CON BESS (3 Días)
Energía eléctrica necesaria	<i>GWh/año</i>	17.203				
Potencia central	<i>GWp</i>	12,98	15,65	2,29	8,04	10,21
CAPEX TOTAL	<i>M€</i>	12.484	33.456	19.184	19.438	38.380
OPEX (% Inversión)	<i>M€ / año</i>	624	1.673	959	972	1.919
Total inversión anual	<i>M€ / año</i>	1.259	3.780	1.515	2.012	4.261
Total inversión	<i>M€</i>	28.417	66.196	68.963	41.134	75.631
Coste Fuente de energía /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	1,70	2,06	2,53	3,58	4,33
Coste BESS /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	-	5,53	-	-	4,49
Coste Subestación /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	0,14	0,17	0,03	0,09	0,11
Coste líneas media tensión /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Coste centros transformación tensión /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	0,12	0,15	0,02	0,08	0,10
Coste electrolizador /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
TOTAL IE	<i>€/m² producido</i>	2,96	8,89	3,56	4,73	10,03
+ Coste nueva maquinaria/m ²	<i>€/m² producido</i>	C _{mH2} + C _{mkWe}	C _{mH2} + C _{mkWe}	C _{mH2} + C _{mkWe}	C _{mH2} + C _{mkWe}	C _{mH2} + C _{mkWe}

Tabla 20 Resumen económico Alternativa III.

8. CONCLUSIONES

El presente estudio tiene como objetivo principal estimar las necesidades energéticas y las inversiones necesarias para la implantación, en el sector cerámico, de alternativas de descarbonización que permitan alcanzar la neutralidad climática, basadas en la sustitución de gas natural por hidrógeno renovable y/o por electricidad, en aquellas etapas de proceso donde la electrificación es posible.

Se han estudiado tres alternativas, la primera de ellas basada en el uso de hidrógeno renovable, y las otras dos, están basadas en el uso de hidrógeno renovable en algunas etapas de proceso y electricidad directa en otras.

Para estos tres escenarios de descarbonización se han analizado tres alternativas de suministro de electricidad libre de emisiones de CO₂ para satisfacer la demanda eléctrica en cada caso, incluyendo capacidad de almacenamiento para los casos de generación renovable.

A continuación, se recogen las principales conclusiones del mismo.

Necesidades energéticas e impacto económico

El estudio se ha realizado tomando una producción anual de referencia de 425.000.000 m² que puede ser similar a la producción esperada para 2023, lo cual supone una reducción del 15% respecto año anterior. Para esta producción se estima que la demanda de gas natural del sector será de 12,12 TWh.

En la siguiente tabla se recogen las principales magnitudes energéticas y de inversión que requiere cada una de las alternativas de descarbonización estudiadas:

- *Alternativa I - hidrógeno renovable en atomización, cocción y secado*
- *Alternativa II – hidrogeno renovable en atomización, y electrificación de cocción y secado*
- *Alternativa III – hidrógeno renovable en atomización, electrificación de secado, y cocción mixta (80% H2 y 20% eléctrico)*

	Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III
Kg de H2 renovable	363.700.149	146.742.359	285.073.340
Potencia electrólisis (GW)	2,30	0,93	1 ,80
Energía Eléctrica renovable (GWh/año)	18.185	15.475	17.203
Potencia generación renovable (GW)	10,79 - 16,55	9,19 - 14,08	10,21 - 15,65
Inversión (M€)	71.640 – 81.613	56.619– 65.106	66.196 – 75.631
Ocupación superficie de fuentes renovables (km ²)	134 – 1.116	114 – 949	127 – 1.055

Tabla 21 Principales magnitudes energéticas y de inversión para las alternativas de estudio

El estudio de las diferentes opciones de generación de energía eléctrica es lo que provoca que en la tabla haya rangos para algunas magnitudes.

Respecto a las posibilidades de suministro eléctrico estudiadas para abastecer la demanda de cada una de las alternativas de descarbonización, en el estudio se han analizado tres posibilidades:

- Generación renovable a través de fotovoltaica
- Generación renovable a través de eólica
- Generación libre de gases de efecto invernadero a través de nuclear.

En los casos de generación renovable se ha considerado la opción de almacenamiento de 3 días, para que permita dar estabilidad al sistema para un funcionamiento en continuo, acorde a las necesidades de las empresas de fabricación de baldosas cerámicas.

La inversión estimada en infraestructura de generación y distribución, incluye la inversión (CAPEX) en las fuentes de generación de energía eléctrica y de generación hidrógeno, la inversión en infraestructura eléctrica necesaria para su distribución, el coste de operación (OPEX) de las fuentes de generación de energía eléctrica y el almacenamiento para las fuentes renovables.

Sin embargo, esta inversión estimada no incluye el coste de inversión (CAPEX) en nuevos equipos de proceso adaptados al combustible por falta de información disponible por parte de los proveedores de maquinaria, ya que estos equipos no están disponibles a nivel comercial. Tampoco se considera el coste de operación (OPEX) de estos equipos, por tanto, la diferencia sería un coste adicional a tener en cuenta por los fabricantes de baldosas cerámicas.

Además, la estimación de inversión realizada tampoco incluye los hidroductos para la distribución del hidrógeno, puesto que se ha supuesto generación in-situ.

En términos de necesidades energéticas, la Alternativa I que prevé la sustitución de todo el gas natural por hidrógeno renovable, es la que más demanda energética necesita.

La siguiente gráfica indica la inversión total en infraestructuras eléctricas (generación y distribución) que sería necesario desarrollar para cada alternativa y por fuente de generación eléctrica, para poder satisfacer las necesidades arriba indicadas.

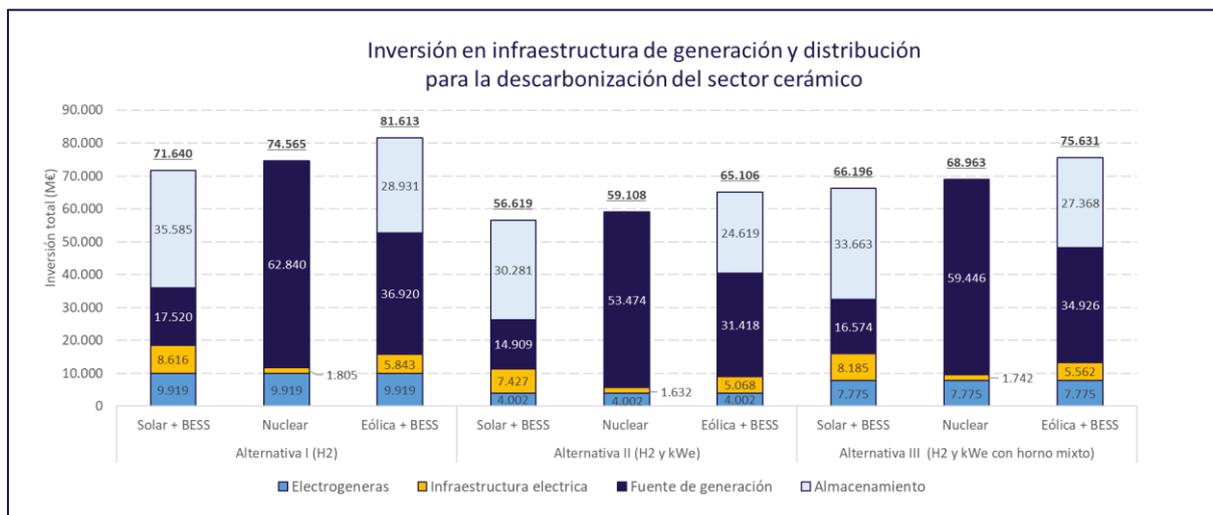


Figura 9 Gráfico Inversión en infraestructura para la descarbonización.

Si, además, se analiza el impacto económico en términos anuales (teniendo en cuenta la vida útil o años de amortización de las infraestructuras), la siguiente gráfica muestra la inversión anual por tecnología, distinguiendo entre fuentes de generación.

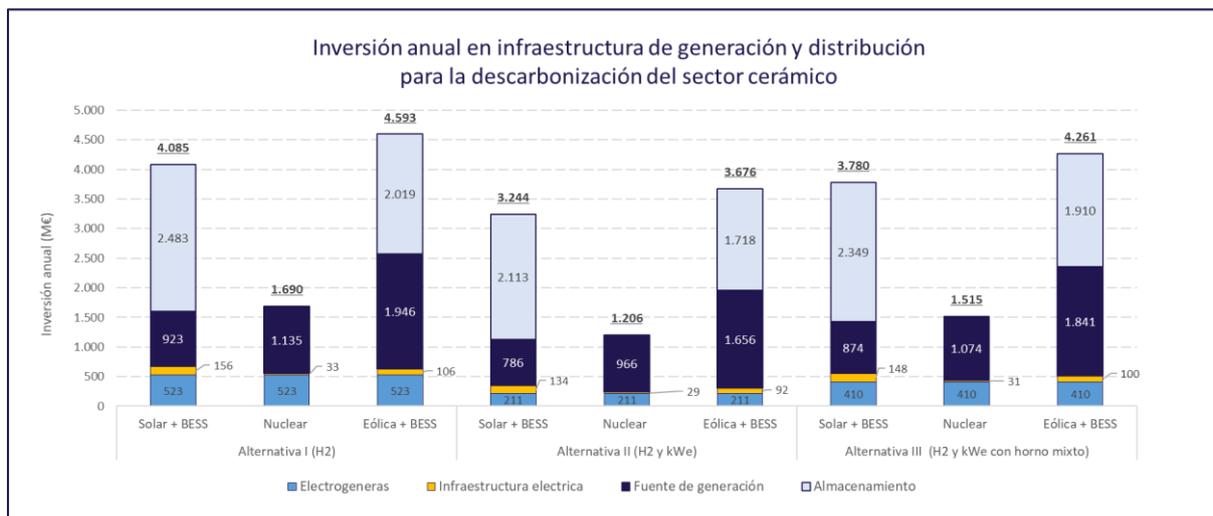


Figura 10 Gráfico Inversión anual en infraestructura para la descarbonización.

En lo que se refiere a la fuente de generación (solar, eólica y nuclear), la tecnología nuclear supone el menor coste de inversión anual, fundamentalmente porque las centrales nucleares tienen un periodo de vida útil mucho más largo (60 años), frente a los 20 años de vida útil de una fotovoltaica y eólica. Por otra parte, para el caso de la tecnología nuclear no sería necesario el almacenamiento energético, al ser una fuente de generación constante.

En España, el PNIEC 2021-2030 contempla el cierre ordenado y paulatino de las centrales nucleares españolas en el horizonte temporal 2027-2035. No obstante, en este estudio se ha contemplado también esta tecnología, al ser libre de emisiones de CO₂, para poder comparar la eficiencia en costes que supone frente a las otras alternativas analizadas y el papel que podría desempeñar a la hora de facilitar el cumplimiento con los objetivos climáticos establecidos en los horizontes temporales intermedios hasta 2050.

Otro aspecto destacable es el peso relevante que representa el coste de los sistemas de almacenamiento sobre los costes totales de inversión, debido a que las tecnologías actuales no son todavía funcionales a gran escala, por sus elevados costes de inversión y de mantenimiento y su corta vida de uso.

A continuación, se analiza la repercusión que las nuevas inversiones tendrían sobre el coste final de producto acabado (€/m²), considerando una producción anual de 425 millones de m². A modo comparativo, se incluye una referencia del precio medio de exportación en 2022.

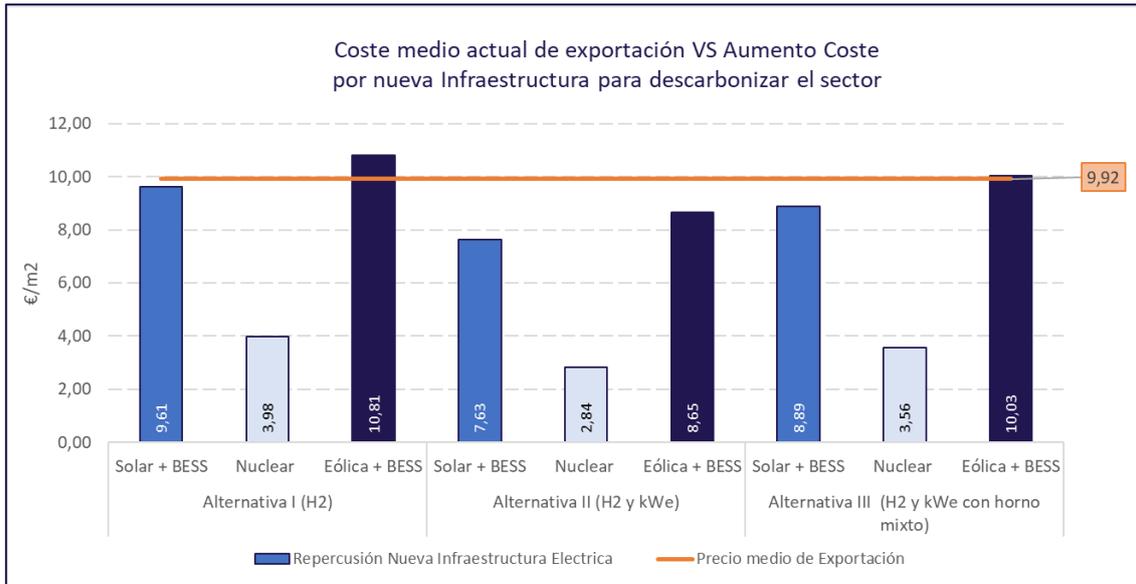


Figura 11 Gráfico resumen coste nuevas infraestructuras por alternativa.

Como se puede observar de la gráfica anterior, el coste medio de la inversión en descarbonización (€/m^2) es similar, incluso en algún caso mayor, que el coste medio de exportación, para las alternativas analizadas. Esto significa que para poder mantener la competitividad actual, las empresas tendrán que repercutir este coste sobre sus precios finales de venta, teniendo que al menos duplicar el precio medio de venta actual, lo cual es inviable y dejaría a la industria cerámica española completamente fuera de mercado, siendo imposible competir con terceros países con costes de producción muy inferiores y que no están sujetos al cumplimiento de los objetivos ambientales ni sociales.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que habría costes adicionales derivados de la adecuación tecnológica de los equipos de proceso y la diferencia entre el precio del combustible actual, y el nuevo.

Solo la inversión anual requerida en descarbonización del sector supondría entre un 70 y 80% de la facturación o ingresos totales del sector en 2022.

Limitaciones: inversiones, capacidad generación y superficie ocupación

El 30 de junio de 2023 se publicó el borrador de actualización del PNIEC (Plan Nacional Integrado de Energía y Clima). En el que se establecen unos nuevos valores objetivos de cara al 2030. Se observa como este borrador del PNIEC va en consonancia con las alternativas propuestas en este estudio.

A su vez, la Comunitat Valenciana (CV) también desarrolló un plan para 2020-2030 como estrategia para el aumento de la capacidad de fuentes de energía renovables (EVCCE 2030). Sin embargo, y a pesar de que, como se puede ver en la Tabla 22, los objetivos establecidos para 2030 tienden a duplicar la capacidad actual, los objetivos de despliegue de renovables previsto en estos planes, concretamente en la CV, no son suficientes para cubrir las necesidades de descarbonización del sector cerámico.

Para facilitar dicha comparativa, en la siguiente tabla se incluyen los valores propuestos en el PNIEC y en el plan estratégico de la CV, frente a la situación actual y las necesidades de capacidad renovable que supondría la alternativa I (uso exclusivo del hidrógeno renovable), puesto que es

la alternativa que requeriría de una mayor cantidad de recursos energéticos respecto a las dos opciones mixtas analizadas.

COMPARATIVO: SITUACIÓN ACTUAL / PLANES ESTRATÉGICOS / DESCARBONIZACIÓN SECTOR						
	Unidades	Situación Actual 2023	Borrador PNIEC 2030	Situación actual 2023	EVCCE 2030	Necesidades Alternativa I
		España		Comunitat Valenciana		Sector cerámico
Capacidad de generación eléctrica	GW	122,34	-	8,31	12,95	-
Eólica (on-shore y off-shore)	GW	30,38	62,00	1,24	4,50	10,80
Solar	GW	24,90	76,00	0,48	2,55	16,55
Central nuclear	GW	7,11	3,00	1,06	0,00	2,42
Almacenamiento eléctrico	GW	8,30	22,00	-	No se hace mención	2,80
Generación H2	GW	0,50	11,00	-	1,00	2,30
Generación de BIOGÁS Y BIOMETANO	TWh/año	3,16	20,00	0,25	2,34 (Biogás)	10,72 (Biometano)
Emissiones GEI	Mt _{CO2 equi}	309,80	194,60	8,00	-	0,00

Tabla 22 Comparativa Situación actual, planes estratégicos y necesidades sector cerámico.

Si se observan los valores de capacidad instalada de generación solar, las necesidades del sector para poder sustituir el gas natural por hidrógeno renovable suponen un 21,77% del objetivo establecido a nivel nacional y el 649% de los previstos en la CV. De forma similar, para el caso de la energía eólica, las necesidades del sector representan el 17,41% y el 240% respecto a las previstas a nivel nacional y autonómico respectivamente.

A continuación, se representan gráficamente los datos de la tabla anterior donde se observa la diferencia entre los objetivos del PNIEC y del EVCCE, frente a las necesidades de descarbonización sectoriales a través de hidrógeno renovable.

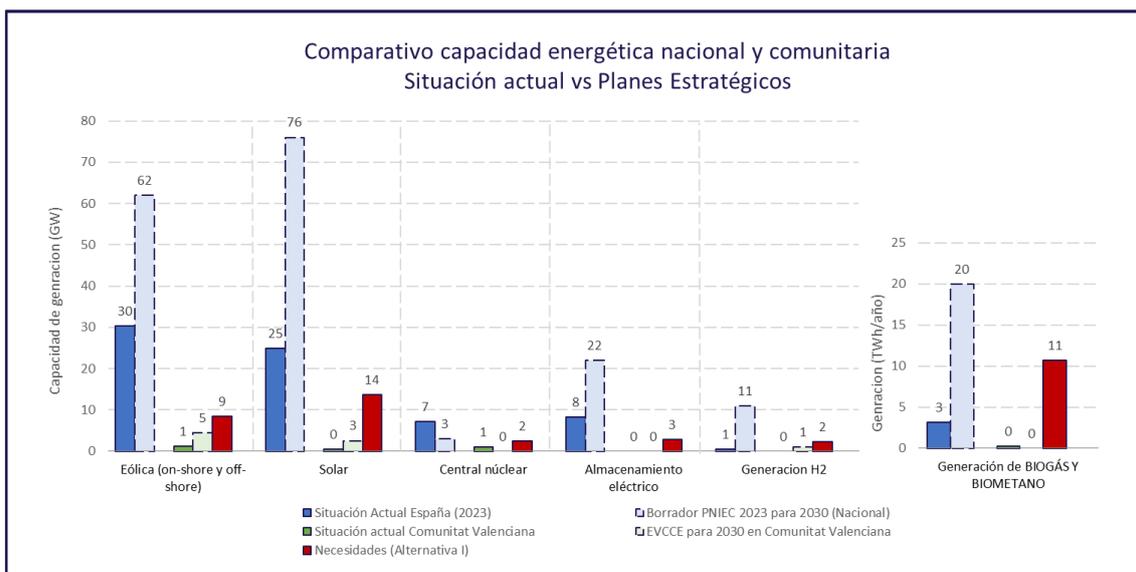


Figura 12 Gráfica comparativa situación actual y planes estratégicos

Según el borrador del PNIEC 2023, se estima que para alcanzar los objetivos establecidos en el mismo es necesaria una inversión acumulada de 294.000 millones € hasta 2030 (el 85% corresponde a financiación privada y el 15% financiación pública). Estas inversiones se reparten entre **renovables (40%)**, ahorro y eficiencia energética (29%), **redes (18%)** y electrificación (12 %) y otras (1%).

En la siguiente tabla, Tabla 23, se comparan las inversiones previstas en el borrador del PNIEC en renovables y redes con las inversiones máximas y mínimas estimadas para las alternativas de estudio. En el ámbito de **renovables** se incluyen las centrales de generación eléctrica, los sistemas de almacenamiento energético y las centrales de generación de hidrógeno; mientras que en el ámbito de **redes** se incluyen las subestaciones, líneas y centros de transformación necesarios para el transporte y distribución de la energía eléctrica a los diferentes puntos de consumo.

	Inversión estimada PNIEC	Estimación de inversión mínima	% respecto PNIEC	Estimación de inversión máxima	% respecto PNIEC
Renovables	117.600 M€	49.192 M€	42%	75.770 M€	64%
Redes	52.900 M€	1.632 M€	3%	8.616 M€	16%

Tabla 23 Comparativa entre inversiones necesarias descarbonización sector y PNIEC

La comparativa muestra como solo las inversiones en renovables que serían necesarias para la descarbonización del sector cerámico representan más de la mitad (64%) de las inversiones totales previstas en el borrador del PNIEC a 2030.

En lo que se refiere a la capacidad de generación de electricidad, como se menciona en el apartado 6 de resultados, para poder sustituir la demanda de gas natural actual por hidrógeno como combustible, y según la fuente de generación utilizada, sería necesario instalar 16,55 GW en potencia fotovoltaica o 10,8 GW en potencia eólica. Si se comparan estos valores con la capacidad actual instalada en la CV (0,48 GW fotovoltaica y de 1,24 GW eólica) o con los valores previstos en el Plan Estratégico de la CV en 2023 (2,55 GW para la fotovoltaica y de 4,5 GW para la eólica) el objetivo de capacidad instalada es claramente insuficiente para atender las necesidades del sector (solo cubriría el 15,41% de la capacidad solar necesaria y el 41,67% de la eólica).

En cuanto a objetivos de generación de hidrógeno renovable para 2030, el borrador del PNIEC 2023 prevé la instalación de 11 GW en electrólisis. Según las estimaciones realizadas en este estudio, sólo para generar el hidrógeno renovable necesario para sustituir el consumo actual de gas natural del sector cerámico, se requeriría de 2,3 GW de electrólisis, lo que supone un 20% de la capacidad española en 2030.

En cuanto a la superficie necesaria para el desarrollo de las infraestructuras de generación, si se toma como referencia la alternativa I de uso de hidrógeno renovable, según la fuente de energía, la superficie necesaria sería;

- Parque solar – 134 km² (radio de 6,5 km)
- Parque eólico – 1.116 km² (radio de 18,9 km)

A modo comparativo, esta ocupación supone:

	% de ocupación			Nº campos fútbol
	Provincia Castellón (6.612 Km ²)	Castellón ciudad (111,33 km ²)	Alcora, Nules, Onda y Villarreal (308,89 km ²)	
Parque solar	2%	121%	44%	18.846
Parque eólico	17%	1000%	361%	156.373

Tabla 24 Comparativa entre superficies necesarias y superficie disponible

Consumo de agua

Un aspecto no suficientemente señalado en los estudios que proponen el hidrógeno como fuente de energía, es el consumo de agua.

Con la tecnología actual, en el proceso de electrólisis se consume aproximadamente 12 litros de agua para generar 1 kg de hidrógeno (10 litros de agua desionizada y 2 litros rechazados en proceso de purificación). Para la producción del hidrógeno necesario para sustituir todo el consumo de gas natural del sector, se necesitaría, según las alternativas de estudio:

Consumo adicional de agua	
Alternativa I	4,36 hm ³ /año
Alternativa II	1,76 hm ³ /año
Alternativa III	3,42 hm ³ /año

Tabla 25 Consumo adicional de agua para la sustitución del gas natural del sector cerámico

Se estima que, el agua evaporada por los atomizadores hoy en día es de entorno 5 hm³/año. Por lo que incluso se podría llegar a doblar el agua evaporada por los atomizadores si se sustituyera por hidrógeno el gas natural. Se observa en la misma tabla, que a mayor electrificación del sector cerámico, menor consumo de agua implicaría.

CONCLUSIONES FINALES Y DESAFÍOS FUTUROS

- El sector necesitaría hasta 364 millones de kilos de hidrógeno renovable y 2,3 GW de potencia de electrólisis, que supondría hasta el 20% de la potencia de electrólisis que se prevé implantar en España en 2030.
- La demanda de electricidad necesaria para sustituir a la totalidad del gas natural consumido por el sector cerámico es de hasta 18.200 GWh al año, lo cual implica un incremento de hasta el 50% respecto a la demanda térmica de referencia.
- La potencia de generación fotovoltaica necesaria para producir la demanda estimada de electricidad es de hasta 16,55 GW frente a los 2,55 GW previstos en la Comunitat Valenciana a 2030 (15,41% de las necesidades sectoriales).
- La potencia de generación eólica necesaria para producir la demanda estimada de electricidad es de hasta 10,8 GW frente a los 4,50 GW previstos en la Comunitat Valenciana a 2030 (41,67% de las necesidades sectoriales).
- La estimación de inversión¹⁶ necesaria para la transformación del sector al uso de hidrógeno renovable o su electrificación supondrá entre 56.619 millones de euros y 81.613 millones de euros, que supone entre 10 y 15 veces la facturación anual del sector, sin incluir el coste de la modificación de los equipos de proceso.
- En términos anuales la inversión supondría tener más que duplicar el precio medio de exportación (€/m²).
- En cuanto a necesidades de ocupación, las nuevas infraestructuras de generación eléctrica renovable abarcarían una superficie de 134,5 km² en el caso del parque fotovoltaico y de 1.116,3 km² para el eólico. Esto supondría tener que ocupar el 44% y el 361%, respectivamente, del área del clúster cerámico (municipios Alcora, Nules, Onda y Villarreal).
- La transformación al uso de hidrógeno como combustible supondría casi duplicar el consumo global de agua del sector de baldosas cerámicas.

¹⁶ La inversión incluye coste de las fuentes de generación de energía eléctrica y de generación de hidrógeno, así como el coste de la operación de estos, el coste de las nuevas infraestructuras eléctricas necesarias y del almacenamiento. No incluye el coste de inversión en nuevos equipos de proceso, ni el coste de operación de estos, ni tampoco el coste de hidroductos para la distribución del hidrógeno, se ha supuesto generación in-situ.

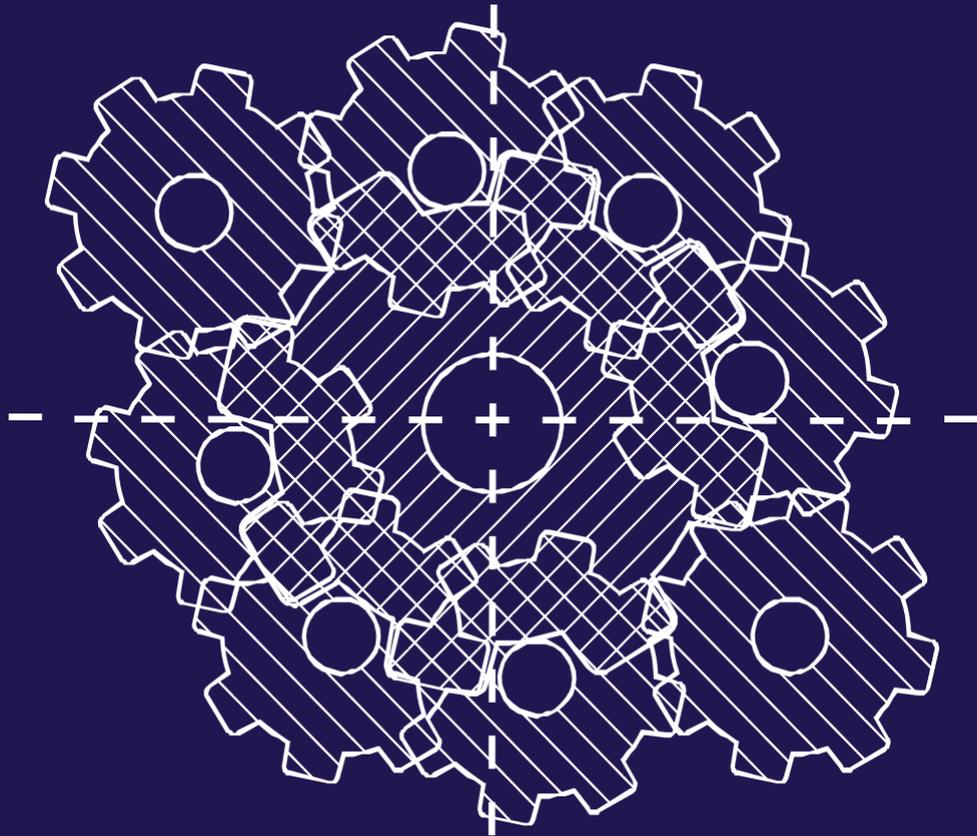
9. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Emisiones de CO2 por los principales países emisores. Fuente: Global Carbon Atlas....	3
Figura 2 Consumo energético por provincias. Fuente: IVACE año 2020.....	4
Figura 3 Gráfica de tecnologías en el sector cerámico. Estimación propia.....	6
Figura 4 Esquema horno mixto que emplea combustible fósil y energía eléctrica.	13
Figura 5 Esquema de distribución desde una central solar.	16
Figura 6 Esquema de distribución desde una central eólica.....	17
Figura 7 Esquema de distribución desde una central nuclear.	18
Figura 8 Ocupación superficie por fuente de energía.....	23
Figura 9 Gráfico Inversión en infraestructura para la descarbonización.	29
Figura 10 Gráfico Inversión anual en infraestructura para la descarbonización.	30
Figura 11 Gráfico resumen coste nuevas infraestructuras por alternativa.	31
Figura 12 Gráfica comparativa situación actual y planes estratégicos	32
Figura 13 Mapa con las centrales de carbón operativas, nuevas y en construcción a nivel mundial. Fuente: CarbonBrief.org.....	46

10. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Consumo energético sector cerámico 2019-2022. Fuente ASCER.	4
Tabla 2 Consumo térmico por proceso de fabricación de baldosas. Estimación propia para 2023.	8
Tabla 3 Resumen de combustible por proceso y alternativa de estudio.....	14
Tabla 4 Necesidades sector cerámico H ₂	19
Tabla 5 Estimación potencia por fuente energía para el sector cerámico Alternativa I.....	19
Tabla 6 Estimación demanda eléctrica para la electrificación del sector cerámico.	20
Tabla 7 Estimación potencia fuente energía para electrificación.....	20
Tabla 8 Estimación potencia fuente energía para electrolizadores.....	20
Tabla 9 Estimación potencia por fuente energía para el sector cerámico Alternativa II.	21
Tabla 10 Estimación necesidad eléctrica para electrolizadores según proceso.	21
Tabla 11 Estimación necesidad eléctrica para electrificación según proceso.	21
Tabla 12 Estimación necesidad eléctrica para Alternativa III.....	21
Tabla 13 Estimación potencia por fuente de energía H ₂ según proceso.....	22
Tabla 14 Estimación potencia por fuente de energía para electrificar según proceso.....	22
Tabla 15 Estimación potencia por fuente energía para el sector cerámico Alternativa III.	22
Tabla 16 Comparativo ocupación energías.	23
Tabla 17 Años de funcionamiento por tipología de infraestructura.....	24
Tabla 18 Resumen económico Alternativa I.....	25
Tabla 19 Resumen económico Alternativa II.....	26
Tabla 20 Resumen económico Alternativa III.....	27
Tabla 21 Principales magnitudes energéticas y de inversión para las alternativas de estudio .	28
Tabla 22 Comparativa Situación actual, planes estratégicos y necesidades sector cerámico...	32
Tabla 23 Comparativa entre inversiones necesarias descarbonización sector y PNIEC	33

Tabla 24 Comparativa entre superficies necesarias y superficie disponible	34
Tabla 25 Consumo adicional de agua para la sustitución del gas natural del sector cerámico ..	34
Tabla 26 Resumen alternativas sin BESS.....	39
Tabla 27 Resumen alternativas con 16h BESS.....	40
Tabla 28 Resumen alternativas con 3 días de BESS.	41
Tabla 29 Inversión necesaria en plantas de biometano para el sector cerámico. Fuente: SEDIGAS.	43
Tabla 30 Resumen de las centrales existentes a nivel mundial y su generación eléctrica. Fuente: Global Energy Monitor.	44
Tabla 31 Ranking de las campos solares a nivel mundial. Fuente: Global Energy Monitor.....	44
Tabla 32 Ranking de las centrales eólicas a nivel mundial. Fuente: Global Energy Monitor.....	45
Tabla 33 Ranking de las centrales nucleares a nivel mundial. Fuente: Global Energy Monitor.	45
Tabla 34 Ranking de las centrales de carbón existentes a nivel mundial. Fuente: Global Energy Monitor.	46
Tabla 35 Ranking de las centrales de gas existentes a nivel mundial. Fuente: Global Energy Monitor.	47



11. ANEXOS



Ingeniería
Arquitectura
Gestión industrial



ANEXO I: RESUMEN CÁLCULOS POR ALTERNATIVA DE ESTUDIO

11.1.1 RESUMEN SIN BESS

En esta tabla resumen no se tienen en cuenta los sistemas de almacenamiento de energía para las fuentes renovables.

		Alternativa I			Alternativa II			Alternativa III		
		Todo SECTOR H ₂			ATOMIZADORES H ₂ + HORNOS y SECADEROS kWe			ATOMIZADORES H ₂ + HORNOS 80% H ₂ y 20% kWe y SECADEROS kWe		
		Solar	Nuclear	Eólica	Solar	Nuclear	Eólica	Solar	Nuclear	Eólica
Potencia central	<i>GWp</i>	13,72	2,42	8,50	11,68	2,06	7,23	12,98	2,29	8,04
Superficie	<i>km²</i>	134,5	1,3	1.116,3	114,5	1,1	949,9	127,3	1,2	1.056,0
CAPEX TOTAL	<i>M€</i>	14.038	21.121	21.389	9.750	15.778	16.006	12.484	19.184	19.438
Años Amortización Fuente	<i>año</i>	20	60	20	20	60	20	20	60	20
Años Amortización IE	<i>año</i>	60	60	60	60	60	60	60	60	60
CAPEX / año amortización	<i>M€ / año</i>	718	634	1.146	488	417	853	635	556	1.040
OPEX (% Inversión)	<i>M€ / año</i>	702	1.056	1.069	488	789	800	624	959	972
Total inversión	<i>M€</i>	31.703	74.565	45.147	22.635	59.108	34.075	28.417	68.963	41.134
Total Inversión Anual	<i>M€ / año</i>	1.420	1.690	2.215	976	1.206	1.653	1.259	1.515	2.012
Energía/año	<i>MWh / año</i>	18.185.007	18.185.007	18.185.007	15.474.669	15.474.669	15.474.669	17.202.764	17.202.764	17.202.764
Coste Energía	<i>€ / MWh</i>	78	93	122	63	78	107	73	88	117
Coste Fuente de energía /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	1,80	2,67	3,78	1,53	2,27	3,22	1,70	2,53	3,58
Coste BESS /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00
Coste Subestación /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	0,15	0,03	0,09	0,13	0,02	0,08	0,14	0,03	0,09
Coste líneas media tensión /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Coste centros transformación tensión /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	0,13	0,02	0,08	0,11	0,02	0,07	0,12	0,02	0,08
Coste electrolizador /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	1,23	1,23	1,23	0,50	0,50	0,50	0,96	0,96	0,96
TOTAL	<i>€/m² producido</i>	3,34	3,98	5,21	2,30	2,84	3,89	2,96	3,56	4,73
+ Coste nueva maquinaria/m2	<i>€/m² producido</i>	C_{mH2}	C_{mH2}	C_{mH2}	C_{mH2} + C_{mkWe}	C_{mH2} + C_{mkWe}	C_{mH2} + C_{mkWe}	C_{mH2} + C_{mkWe}	C_{mH2} + C_{mkWe}	C_{mH2} + C_{mkWe}

Tabla 26 Resumen alternativas sin BESS.

11.1.2 RESUMEN CON BESS (16 horas)

En esta tabla resumen, se tiene en cuenta que los sistemas de almacenamiento de energía para las fuentes renovables suplirán una falta de energía de 16 horas. Es decir, cubrirán una noche, unas horas de tormenta, paradas cortas de mantenimiento... pero no supliría el flujo constante de energía que necesita el sector cerámico de la provincia.

		Alternativa I			Alternativa II			Alternativa III		
		Todo SECTOR H ₂			ATOMIZADORES H ₂ + HORNOS y SECADEROS kWe			ATOMIZADORES H ₂ + HORNOS 80% H ₂ y 20% kWe y SECADEROS kWe		
		Solar	Nuclear	Eólica	Solar	Nuclear	Eólica	Solar	Nuclear	Eólica
Potencia central	GWp	16,55	2,42	10,79	14,08	2,06	9,19	15,65	2,29	10,21
Superficie	km ²	162,2	1,3	1.116,3	138,0	1,1	949,9	153,5	1,2	1.056,0
CAPEX TOTAL	M€	20.392	21.121	28.554	15.157	15.778	22.103	18.495	19.184	26.216
Años Amortización Fuente	año	20	60	20	20	60	20	20	60	20
Años Amortización IE	año	60	60	60	60	60	60	60	60	60
CAPEX / año amortización	M€ / año	1.134	634	1.595	843	417	1.235	1.028	556	1.465
OPEX (% Inversión)	M€ / año	1.020	1.056	1.428	758	789	1.105	925	959	1.311
Total Inversión	M€	43.963	74.565	59.111	33.067	59.108	45.958	40.014	68.963	54.345
Total Inversión Anual	M€ / año	2.154	1.690	3.023	1.600	1.206	2.340	1.953	1.515	2.776
Energía/año	MWh / año	18.185.007	18.185.007	18.185.007	15.474.669	15.474.669	15.474.669	17.202.764	17.202.764	17.202.764
Coste Energía	€ / MWh	118	93	166	103	78	151	114	88	161
Coste Fuente de energía /m ² producido	€/m ² producido	2,17	2,67	4,58	1,85	2,27	3,90	2,06	2,53	4,33
Coste BESS /m ² producido	€/m ² producido	1,30	-	1,06	1,10	-	0,90	1,23	-	1,00
Coste Subestación /m ² producido	€/m ² producido	0,18	0,03	0,12	0,15	0,02	0,10	0,17	0,03	0,11
Coste líneas media tensión /m ² producido	€/m ² producido	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Coste centros transformación tensión /m ² producido	€/m ² producido	0,16	0,02	0,10	0,13	0,02	0,09	0,15	0,02	0,10
Coste electrolizador /m ² producido	€/m ² producido	1,23	1,23	1,23	0,50	0,50	0,50	0,96	0,96	0,96
TOTAL	€/m² producido	5,07	3,98	7,11	3,77	2,84	5,51	4,60	3,56	6,53
Coste nueva maquinaria/m2	€/m² producido	C_{mH2}	C_{mH2}	C_{mH2}	C_{mH2} + C_{mkWe}	C_{mH2} + C_{mkWe}	C_{mH2} + C_{mkWe}	C_{mH2} + C_{mkWe}	C_{mH2} + C_{mkWe}	C_{mH2} + C_{mkWe}

Tabla 27 Resumen alternativas con 16h BESS

Días necesarios de BESS	0,67
-------------------------	------

11.1.3 RESUMEN CON BESS (3 DÍAS)

En esta tabla resumen, se tiene en cuenta que los sistemas de almacenamiento de energía para las fuentes renovables son imprescindibles y suplirán una falta de energía de 3 días. Es decir, cubriría paradas de mantenimiento, días de tormenta... por lo que en principio y con esas limitaciones, permitiría el flujo de energía constante pero limitado a un corto periodo de tiempo. Como se ha especificado en este estudio, esta tecnología no es 100% funcional para grandes aplicaciones por lo que se tendría que acabar de desarrollar en los próximos años.

		Alternativa I			Alternativa II			Alternativa III		
		Todo SECTOR H ₂			ATOMIZADORES H ₂ + HORNOS y SECADEROS kWe			ATOMIZADORES H ₂ + HORNOS 80% H ₂ y 20% kWe y SECADEROS kWe		
		Solar	Nuclear	Eólica	Solar	Nuclear	Eólica	Solar	Nuclear	Eólica
Potencia central	<i>GWp</i>	16,55	2,42	10,79	14,08	2,06	9,19	15,65	2,29	10,21
Superficie	<i>km²</i>	162,2	1,3	1.116,3	138,0	1,1	949,9	153,5	1,2	1.056,0
CAPEX TOTAL	<i>M€</i>	36.208	21.121	41.412	28.616	15.778	33.045	33.456	19.184	38.380
Años Amortización Fuente	<i>año</i>	20	60	20	20	60	20	20	60	20
Años Amortización IE	<i>año</i>	60	60	60	60	60	60	60	60	60
CAPEX / año amortización	<i>M€ / año</i>	2.275	634	2.523	1.813	417	2.024	2.108	556	2.342
OPEX (% Inversión)	<i>M€ / año</i>	1.810	1.056	2.071	1.431	789	1.652	1.673	959	1.919
Total inversión	<i>M€</i>	71.640	74.565	81.613	56.619	59.108	65.106	66.196	68.963	75.631
Total Inversión Anual	<i>M€ / año</i>	4.085	1.690	4.593	3.244	1.206	3.676	3.780	1.515	4.261
Energía/año	<i>MWh / año</i>	18.185.007	18.185.007	18.185.007	15.474.669	15.474.669	15.474.669	17.202.764	17.202.764	17.202.764
Coste Energía	<i>€ / MWh</i>	225	93	253	210	78	238	220	88	248
Coste Fuente de energía /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	2,17	2,67	4,58	1,85	2,27	3,90	2,06	2,53	4,33
Coste BESS /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	5,84	-	4,75	4,97	-	4,04	5,53	-	4,49
Coste Subestación /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	0,18	0,03	0,12	0,15	0,02	0,10	0,17	0,03	0,11
Coste líneas media tensión /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Coste centros transformación tensión /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	0,16	0,02	0,10	0,13	0,02	0,09	0,15	0,02	0,10
Coste electrolizador /m ² producido	<i>€/m² producido</i>	1,23	1,23	1,23	0,50	0,50	0,50	0,96	0,96	0,96
TOTAL	<i>€/m² producido</i>	9,61	3,98	10,81	7,63	2,84	8,65	8,89	3,56	10,03
Coste nueva maquinaria/m²	<i>€/m² producido</i>	C_{mH2}	C_{mH2}	C_{mH2}	C_{mH2} + C_{mkWe}	C_{mH2} + C_{mkWe}	C_{mH2} + C_{mkWe}	C_{mH2} + C_{mkWe}	C_{mH2} + C_{mkWe}	C_{mH2} + C_{mkWe}

Tabla 28 Resumen alternativas con 3 días de BESS.

Días necesarios de BESS	3,00
-------------------------	------

ANEXO II: ALTERNATIVA IV- SUSTITUCIÓN POR BIOMETANO

Tal y como se ha expuesto en las alternativas precedentes, el sustituir el gas natural por hidrógeno verde o electrificar el sector requiere de mucha energía eléctrica que actualmente no se genera y de unas técnicas y tecnologías que actualmente no están disponibles.

Por ello, la cuarta alternativa que se nombra en este estudio es la posible sustitución del gas natural por biometano¹⁷, gas que se produce a partir del procesado del gas de síntesis generado en la gasificación de la biomasa o a partir de la depuración del biogás generado por digestión anaerobia. Es decir, el biometano es un biogás sometido a un proceso de limpieza el cual lo hace compatible con el gas natural actual.

Las ventajas de este gas son:

- Mismas utilidades que el gas natural que permitiría la utilización de los equipos actuales
- Posible transporte y almacenaje con el sistema gasista actual, mezclado con gas natural o sólo biogás, por lo que no requiere de modificaciones, reduciendo los niveles de dependencia energética global.
- Es una energía renovable, con ciclos infinitos, siempre que se realicen los procesos de la manera correcta y de forma sostenible.
- Mejora y reduce los sistemas de gestión de residuos agrícolas, ganaderos y urbanos contribuyendo a fijar empleo rural, debido a la necesidad de puestos de trabajo en las plantas.
- Es una energía neutra en emisiones de CO₂ e incluso sumidero. No solo abate las emisiones asociadas al sector energético, sino también a las asociadas a la gestión de residuos.

Según un informe de SEDIGAS¹⁸ el potencial español para la producción a largo plazo de biometano es de 162,8 TWh/año. Mientras que para la Comunitat Valenciana es de 5,11 TWh/año. Sin embargo, dado que el sistema gasístico actual es compatible con este tipo de combustible podría transportarse desde otras comunidades y, por tanto, serviría para cubrir la demanda actual del sector cerámico. Sin embargo, ese potencial cubriría únicamente el 45% de la demanda actual de gas natural, por lo que difícilmente el sector cerámico podría descarbonizarse por completo con el uso de este biometano.

En ese mismo informe, se establece la inversión necesaria para que el desarrollo de plantas de biometano en España llegue a su máximo potencial. Lo que implicaría unos 40.495 millones de euros invertidos en la construcción de plantas de biometano para conseguir el potencial total español para este gas verde.

¹⁷Artículo NEDGIA (<https://www.nedgia.es/blog-gas-natural/biogas-y-el-biometano-diferencias-y-aplicaciones/>.)

¹⁸Informe SEDIGAS 2023: (<https://estudio-biometano.sedigas.es/wp-content/uploads/2023/03/sedigas-informe-potencial-biometano-2023.pdf>)

CONSUMO ENERGÉTICO SECTOR CERÁMICO		
	TWh/año	Inversión necesaria por cambio a biometano (Millones €)
Gas natural (estimación sector cerámico en 2023)	12,12	3.260

Tabla 29 Inversión necesaria en plantas de biometano para el sector cerámico. Fuente: SEDIGAS.

Incluyendo tres tipologías de plantas diferentes:

- Instalaciones donde se traten residuos agropecuarios, agroindustriales, lodos y FORSU.
- Instalaciones donde se trate la biomasa procedente de los cultivos intermedios.
- Instalaciones donde se trate la biomasa forestal residual. Se valoriza mediante un proceso de gasificación.

Cuyos tamaños variaran entre:

- Instalaciones donde se traten residuos: 40 GWh/año.
- Instalaciones donde se tratan cultivos intermedios: 100 GWh/año.
- Instalaciones de gasificación: 75, 100, 150 y 200 GWh/año.

Sin embargo, en la Hoja de ruta del Biogás¹⁹ el gobierno español, no es tan ambicioso como el informe de SEDIGAS. En esta hoja de ruta se prevé una producción anual en 2030 de 10,4 TWh de biogás con unas líneas de ayudas de 150 millones de euros y una reducción en emisiones a la atmosfera de 2,1 millones de toneladas de CO₂ equivalentes anualmente.

Mientras, que con el Plan REPowerEU y la situación actual de dependencia de los combustibles fósiles de la UE con Rusia, se desea incentivar la generación de este combustible por lo que en el borrador de la actualización del PNIEC en 2023 se aumenta la previsión de producción en cerca de 20 TWh anuales.

Sin embargo, la situación actual del biogás y biometano según datos del IDAE²⁰, en España hay 146 instalaciones de biogás con una producción energética de 2,74 TWh.

De las plantas operativas:

- 46 están asociadas a vertederos
- 34 a estaciones de depuración de aguas residuales
- 13 al sector agropecuario
- 7 al sector del papel
- resto al sector químico, el alimentario y otros.
- 1 instalación (en Madrid) convierte el biogás en biometano, con las mismas propiedades que el gas fósil, y lo inyecta en la red de gasoductos.

Mientras que en el resto de Europa, hay cerca de 19.000 instalaciones y 725 inyectan biometano a la red gasista.

¹⁹ Hoja de ruta del BIOGÁS 2022: https://energia.gob.es/es-es/Novedades/Documents/00HR_Biogas_V6.pdf

²⁰ Informe IDAE BIOGAS actual: (<https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/biogas>)

ANEXO III: RECOPIACIÓN CENTRALES GENERADORAS DE ENERGÍA

En este ANEXO, se cuantifican las diferentes centrales solares, eólicas, nucleares, de carbón, de gas y de petróleo operativas, actualmente, a nivel mundial y en el caso de las energías renovables las centrales en desarrollo, es decir, en proceso de autorización y/o construcción. Donde se observa, como China y Estados Unidos emplean actualmente como combustible principal el carbón y el gas natural, aunque se observa una tendencia hacia la energía renovable.

A continuación, se exponen de manera resumida el número de centrales a nivel mundial por tecnología de generación de energía, así como la energía generada en 2021:

Tecnología	Número de centrales a nivel mundial	Energía generada mundial (TWh/año) (Año 2021)	Porcentajes respecto al total
Central de gas	7.418	6.098	22,2%
Central de carbón	2.215	10.994	40,0%
Nuclear	401	2.736	10,0%
Energías renovables			
Solar	7.026	1.023	3,7%
Eólica	14.822	1.814	6,6%
Hidroeléctrica	2.573	4.123	15,0%
Bioenergía	575	646	2,4%
TOTAL		27.434	100%

Tabla 30 Resumen de las centrales existentes a nivel mundial y su generación eléctrica. Fuente: Global Energy Monitor.

Solar

En 2023 a nivel mundial se está apostando por esta tecnología renovable, en la siguiente tabla, se observa como la construcción de nuevos campos solares (planeados y en construcción) está en auge y el número de centrales en desarrollo es elevado.

TOP países con campos solares	País	Unidades en funcionamiento (Centrales)	Unidades en desarrollo	Capacidad instalada (MW)	Capacidad futura (MW)
1	China	3.797	2.134	227.761	378.622
2	Estados Unidos	746	748	50.147	115.678
3	India	464	141	3.782	57.291
4	España	285	724	19.785	97.277
5	Japón	212	35	8.434	2.648
6	Vietnam	147	72	12.300	11.763
7	Brasil	132	964	5.402	57.000
8	México	117	32	12.149	5.264
9	Alemania	101	62	3.968	6.171
10	Australia	83	172	7.840	72.878
11	Reino unido	76	359	2.568	20.434
12	Ucrania	59	0	2.503	0
13	Chile	58	78	6.129	16.698
14	Francia	46	23	2.109	1.892
Otros		703	2.425	69.067	340.680
TOTAL MUNDIAL		7.026	7.969	433.944	1.184.296

Tabla 31 Ranking de los campos solares a nivel mundial²¹. Fuente: Global Energy Monitor.

²¹ Global Solar Power Tracker, Global Energy Monitor, publicación de mayo de 2023

Eólica

De igual modo que la energía solar, la energía eólica está en auge a nivel mundial. En la siguiente tabla, se observa el número creciente de los campos eólicos previstos para los próximos años.

TOP países con campos eólicos	País	Unidades en funcionamiento (Centrales)	Unidades en desarrollo	Capacidad instalada (MW)	Capacidad futura (MW)
1	China	4.244	2.235	310.274	371.075
2	Alemania	1.921	316	43.843	19.258
3	Francia	1.190	388	21.336	18.513
4	Estados Unidos	1.121	260	138.374	88.907
5	España	950	637	28.294	40.668
6	Brasil	749	548	21.493	160.185
7	India	584	105	28.169	19.082
8	Reino Unido	445	332	26.606	128.411
9	Italia	332	70	9.723	41.776
10	Turquía	312	83	11.288	4.492
11	Polonia	224	61	7.496	18.963
12	Suecia	220	111	11.868	103.206
13	Portugal	196	13	4.946	4.362
14	Canadá	190	52	14.117	8.858
Otros		2.144	2.144	2.721	108.477
TOTAL MUNDIAL		14.822	14.822	7.932	786.304

Tabla 32 Ranking de las centrales eólicas a nivel mundial²². Fuente: Global Energy Monitor.

Central Nuclear

En el caso de las centrales nucleares hay disparidad entre los países que están proponiendo el cierre de las centrales que tienen operativas y los países que están construyendo o proyectando nuevas.

TOP países con centrales nucleares	PAÍS	Unidades en funcionamiento	Nuevas unidades a futuro	Capacidad (MW)
1	Estados Unidos	92	12	99.975
2	China	57	103	58.264
3	Francia	56	1	64.040
4	Rusia	37	30	29.576
5	Corea del Sur	25	5	25.602
6	India	22	32	7.380
7	Canadá	19	1	14.629
8	Ucrania	15	0	13.835
9	Japón	10	1	9.801
10	Reino Unido	9	6	6.534
11	España	7	0	7.408
Otros		69	62	58.853
TOTAL MUNDIAL		418	253	395.897

Tabla 33 Ranking de las centrales nucleares a nivel mundial²³. Fuente: Global Energy Monitor.

²² Global Wind Power Tracker, Global Energy Monitor, publicación de mayo de 2023

²³ Global Nuclear Power Tracker, Global Energy Monitor, publicación de enero de 2023

Centrales de carbón

Es una de las fuentes de energía fósiles que se está limitando en la unión europea ya que generan gran cantidad de emisiones de CO₂. Es por lo que no se tiene en cuenta como fuente de generación de energía eléctrica en este estudio pues el objetivo principal del mismo es la neutralidad en emisiones para el sector cerámico en el 2050.

Aproximadamente se emite 1 kg de CO₂ equivalente por cada kWh de electricidad producido al quemar carbón. Es decir, grandes potencias mundiales como China que genera alrededor de 4.700 TWh anualmente emite, únicamente en la generación de esa energía, 4.700 Mt de CO₂ equivalente de manera anual.



Figura 13 Mapa con las centrales de carbón operativas, nuevas y en construcción a nivel mundial²⁴. Fuente: CarbonBrief.org.

TOP países con centrales de carbón	País	Unidades en funcionamiento (2022)	Capacidad (MW)
1	China	1.142	1.108.908
2	India	282	235.853
3	Estados Unidos	210	205.381
4	Japón	93	54.629
5	Indonesia	91	45.347
6	Rusia	68	38.277
7	Alemania	58	40.362
8	Polonia	42	29.130
9	Turquía	34	20.453
10	Vietnam	25	25.837
11	Filipinas	26	12.082
12	Republica Checa	25	7.445
13	Corea del sur	24	39.094
-	España	7 (fase de cierre)	2.946
Otros		310	229.297
TOTAL MUNDIAL		2.435	2.095.041

Tabla 34 Ranking de las centrales de carbón existentes a nivel mundial²⁵. Fuente: Global Energy Monitor.

²⁴ <https://www.carbonbrief.org/mapped-worlds-coal-power-plants>

²⁵ Global Coal Plant Tracker, Global Energy Monitor, publicación de julio de 2023

Centrales de gas y petróleo

Otra de las fuentes de energía fósiles que se están limitando en la unión europea son las centrales de gas natural por su alta generación de CO₂, inferior a las emisiones generadas por las centrales de carbón. Por ello, dado el grado de emisión de CO₂ de esta fuente de energía fósil, es por lo que no se tiene en cuenta como fuente de generación de energía eléctrica en este estudio.

TOP países con centrales de gas y petróleo	PAÍS	Unidades en desarrollo	Unidades en funcionamiento (Centrales)	Capacidad instalada (MW)
1	Estados Unidos	62	980	535.312
2	China	224	238	121.149
3	Rusia	41	201	111.043
4	Japón	5	89	106.619
5	Arabia Saudí	5	78	91.876
6	Irán	50	87	71.569
7	Italia	22	115	49.388
8	México	21	94	47.658
9	Reino Unido	18	71	34.843
10	Alemania	22	167	32.331
11	España	0	86	30.395
12	India	5	74	27.939
13	Canadá	14	81	25.306
14	Bangladesh	41	92	18.636
Otros		556	1.586	738.792
TOTAL MUNDIAL		1.086	4.039	2.042.856

Tabla 35 Ranking de las centrales de gas existentes a nivel mundial²⁶. Fuente: Global Energy Monitor.

²⁶ Global Oil and Gas Plant Tracker, Global Energy Monitor, publicación de agosto de 2023

IAG | Estudio comparativo necesidades energéticas sector cerámico

Plaza Cardona Vives, nº 9, 1º
12001 Castellón

www.iagingenieros.es
iag@iagingenieros.es
telf. 964 722 125