

La evolución energética del sector español de baldosas cerámicas

E. MONFORT⁽¹⁾, A. MEZQUITA⁽¹⁾, E. VAQUER⁽¹⁾, G. MALLOL⁽¹⁾, D. GABALDÓN-ESTEVAN⁽²⁾

⁽¹⁾Instituto de Tecnología Cerámica (ITC). Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas (AICE) Universitat Jaume I. Castellón. España.

⁽²⁾Departament de Sociologia i Antropologia Social, Universitat de València. España.

El presente texto analiza cómo ha ido evolucionando el consumo y la eficiencia energética de la industria española de baldosas cerámicas durante el siglo XX, y explora las posibilidades que se le plantean en el siglo XXI. Durante el pasado siglo este sector industrial acometió tres transiciones radicales al pasar de los combustibles tradicionales de biomasa a los hidrocarburos líquidos (fuelóleo y gasóleo), y posteriormente a los gaseosos, principalmente gas natural. Aunque la información que permite evaluar de manera fiable la eficiencia energética real en las plantas de fabricación no es fácil de obtener, los datos disponibles indican que se ha llegado a una elevada eficiencia con las tecnologías productivas actualmente utilizadas. Por tanto no se prevén cambios importantes en este aspecto, aunque siguen realizándose esfuerzos encaminados a reducir el consumo de energía en el proceso productivo. Sin embargo, los impactos y las regulaciones medioambientales, y nuevas posibles fuentes energéticas basadas en biomasa agrícola pueden abrir paso a nuevas vías de suministro energético en el sector cerámico español de baldosas.

Palabras clave: industria cerámica, eficiencia energética, consumo energético, emisiones de dióxido de carbono, biomasa.

Path-dependency and path-making in the energy system in the spanish ceramic tile cluster

This paper analyses how energy consumption and energy efficiency evolved in the Spanish ceramic tile industry in the 20th century and explores the emerging possibilities in the 21st century. In the last century, the tile industry undertook three radical transitions by switching from traditional biomass fuels to liquid hydrocarbon fuels (fuel oil and gas oil), and subsequently to gas fuels, mainly involving natural gas. Although it is difficult to obtain the information that enable the real energy efficiency in manufacturing plants to be reliably evaluated, the available data indicate that a high degree of efficiency has been achieved with current manufacturing technologies. Consequently, significant developments in this sense are not expected, even though efforts are still being made to reduce energy consumption in the production process. However, environmental regulations and impacts, and the emerging new energy sources based on agricultural biomass could open up new avenues for energy supply in the Spanish ceramic tile cluster.

Keywords: ceramic industry, energy efficiency, energy consumption, carbon dioxide emissions, biomass.

1. INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética se enmarca dentro del debate de la sostenibilidad industrial en el seno de la Unión Europea, y afecta especialmente a las llamadas industrias manufactureras tradicionales (1)(2), entre las que se encuentra la fabricación de baldosas cerámicas, que se caracteriza por tener un elevado consumo energético y productos finales con un valor añadido relativamente bajo. Este debate de la sostenibilidad industrial, que tiene su origen en el aumento de la conciencia pública sobre la limitada capacidad del medio ambiente para asimilar el impacto de actividad humana, está recibiendo atención por parte de académicos, políticos y empresas (3)(4)(5)(6)(7) y marca la estrategia de la Comisión Europea sobre política industrial¹, que tiene como objetivo impulsar el crecimiento de unas industrias que han de ser cada vez más eficientes

en su uso de los recursos, lo que las obliga a reevaluar sus actividades, procesos e impactos, en particular los relativos a la energía. Consciente de todo ello, el sector cerámico español de baldosas tiene en su agenda medioambiental la mejora de la eficiencia energética (8).

En este contexto, el análisis de la innovación medioambiental cobra especial relevancia (9). La innovación medioambiental puede entenderse como "todos los cambios en la cartera de productos o en los procesos de producción que abordan los objetivos de sostenibilidad, como la gestión de residuos, la eco-eficiencia, la reducción de emisiones, el reciclado, eco-diseño o cualquier otra acción implementada por las empresas a reducir su huella ecológica" (10). Se pone de relieve que la innovación medioambiental es la forma en que las empresas integran la preocupación por el medio ambiente en sus estrategias, consolidando su ventaja competitiva.

El sector cerámico español de baldosas concentra el 90 % de la producción cerámica nacional en unos pocos municipios de

¹ COM(2010) 614 Una política industrial integrada para la era de la globalización: poner la competitividad y la sostenibilidad en el punto de mira http://www.ceoe.org/resources/image/com_2010_614_final.pdf

la provincia de Castellón (11) dónde se ha configurado como un Sistema Distrital de Innovación (1)(12). El estudio del proceso de elaboración de las baldosas cerámicas permite observar cómo ha ido evolucionado con la introducción de diferentes innovaciones medioambientales. Las principales innovaciones en proceso, como el paso de la bicocción tradicional a la bicocción rápida y de ésta a la monococción, el desarrollo de nuevos productos como el gres porcelánico y las baldosas de reducido espesor, la mejora en las capacidades de prensado o el incremento de las temperaturas máximas de cocción, no sólo han mejorado la calidad y gama de los productos sino que también han aumentado su eficiencia energética de manera notable. Así, las innovaciones implantadas en el proceso productivo, incluidas las adaptaciones a los diferentes combustibles, han permitido la reducción de los costes energéticos y de las emisiones de dióxido de carbono, así como la disminución de las emisiones de contaminantes ácidos, como el azufre.

No obstante, el sector cerámico español de baldosas, dada la naturaleza de su actividad y el estado de desarrollo tecnológico actual de la industria, consume grandes cantidades de energía a lo largo de su cadena de valor (13). Las principales fases en cuanto a consumo de energía son: la extracción de las materias primas naturales de las minas, su transporte a las plantas de procesamiento, el proceso de fabricación, el almacenamiento y la distribución del producto final. En este trabajo se aborda la evolución de la optimización energética en el proceso de fabricación.

Dentro del proceso de fabricación, el secado por atomización y la cocción son las fases que más energía consumen y hacia dónde se han dirigido buena parte de los esfuerzos para mejorar la eficiencia industrial y reducir sus impactos ambientales (14)(15)(16)(17)(18)(19)(20)(21)(22). El proceso de fabricación es intensivo en el uso de la energía, especialmente

en energía térmica (23). Desde la década de 1980, cuando se construyó el gasoducto que transporta el gas natural a la provincia de Castellón, las empresas han usado principalmente este combustible gaseoso en su proceso productivo.

Actualmente, se considera que el sector cerámico español está utilizando las técnicas más eficientes desde el punto de vista energético (24). Aunque todavía hay algunas medidas de ahorro energético que podrían aplicarse, sin alguna innovación que implique un cambio tecnológico importante, no parecen vislumbrarse nuevas reducciones significativas en el consumo de energía. Así las cosas, la evolución de los costes de la energía, la regulación específica de los sistemas de cogeneración y el aumento de la regulación en la UE de las emisiones de dióxido de carbono podrían acabar limitando el desarrollo a corto plazo del sector cerámico español.

El presente texto analiza cómo ha ido evolucionando desde el punto de vista del consumo y la eficiencia energética la industria española de baldosas cerámicas durante el siglo XX, y explora las posibilidades que se le plantean en el siglo XXI. Para ello en la sección 2 se presenta la evolución de la producción sectorial y de los consumos energéticos (térmico y eléctrico), y en la sección 3 se plantean algunos de los retos de futuro que se le presentan al sector español de baldosas cerámicas en el ámbito del consumo y la eficiencia energética.

2. ANÁLISIS DEL SECTOR

2.1. Evolución de la producción de baldosas cerámicas

La evolución de la producción de baldosas cerámicas desde el año 1969 hasta el año 2012 se muestra en la figura 1.

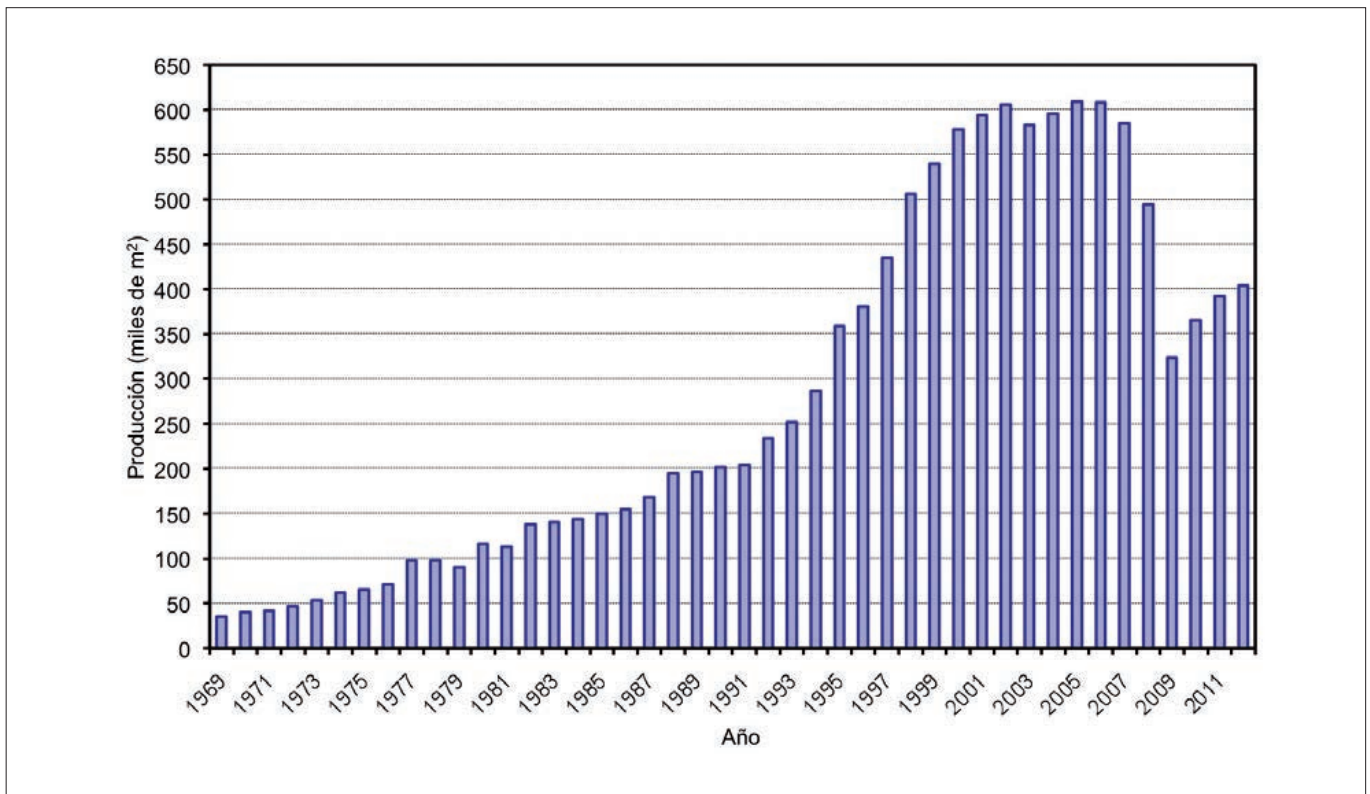


Figura 1. Evolución de la producción de baldosas cerámicas.

Fuente: ASCER.

TABLA 1. EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE LAS VENTAS DE BALDOSAS CERÁMICAS EN LOS ÚLTIMOS 6 AÑOS (FUENTE: ASCER).

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Producción (Mm²)	584,7	495,2	324,4	366,0	392,0	404,0
Ventas nacionales (M€)	1871,0	1460,3	918,0	801,0	705,0	575,0
Ventas nacionales (% del total)	44,9	39,8	35,4	31,4	27,1	21,6
Exportación (M€)	2295,0	2210,9	1673,2	1746,8	1892,0	2082,0
Exportación (% del total)	55,1	60,2	64,6	68,6	72,9	78,4

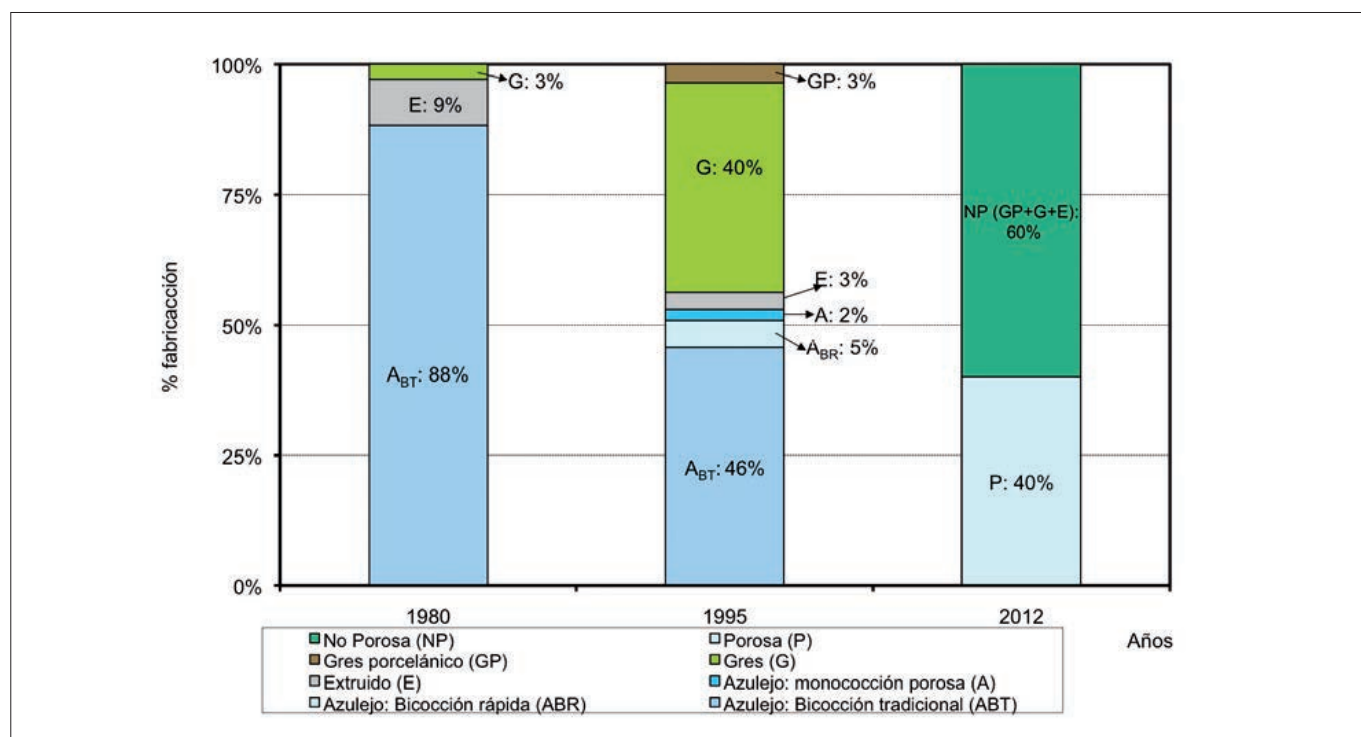


Figura 2. Evolución de la producción de baldosas cerámicas
Fuente: ASCER y elaboración propia.

Se aprecia cómo ha ido creciendo en los últimos 40 años, hasta alcanzar un máximo de alrededor de 600 millones de m² en el periodo 2002 – 2007.

Debido a la crisis financiera global, y a la brusca reducción del ritmo constructivo nacional en particular, se produjo una fuerte caída de la producción en apenas dos años, alcanzándose un mínimo de 324 millones de m² en 2009. A partir de entonces, la producción empezó a aumentar paulatinamente, hasta alcanzar un valor de unos 400 millones de m² en el año 2012. Este incremento productivo no se debe a la recuperación del sector de la construcción en España, que sigue en niveles de mínima actividad, sino a que las empresas han aumentado considerablemente las exportaciones. En la tabla 1 se muestra la evolución durante los últimos seis años de la producción y las ventas, tanto nacionales como en exportación, de baldosas cerámicas.

A lo largo de los últimos años los productos fabricados han ido cambiando, a medida que lo han hecho las tecnologías de producción. En la figura 2 se ha representado la distribución de la producción por productos en los años 1980, 1995 y 2012.

En el año 1980 el combustible mayoritario empleado en la cocción era el fuelóleo, la producción de azulejo era la mayoritaria del sector, suponiendo un 88 % de la producción total, y el proceso de fabricación por el cual se fabricaba era

por bicocción tradicional, que consistía en una cocción inicial de los soportes de bizcocho en hornos túnel, para después decorarlos y cocer, ya conjuntamente, el bizcocho decorado en una segunda cocción que se llevaba a cabo en hornos de canales.

A lo largo de la década de los 80, la bicocción tradicional fue sustituyéndose paulatinamente por la bicocción rápida y por la monococción. La llegada del gaseoducto de gas natural a la provincia de Castellón impulsó el cambio tecnológico en los hornos, y empezaron a utilizarse los hornos de rodillos, utilizando este combustible gaseoso como fuente de calor. En estos hornos los gases de combustión entran en contacto directo con el producto, por lo que se requiere que el combustible genere unos gases de combustión que estén exentos de sustancias que puedan provocar defectos en el producto final. Estas características técnicas las cumple el gas natural, de modo que su uso se fue generalizando en el sector.

En el año 1995, se observa como la producción de azulejos por bicocción tradicional se había reducido hasta un 46 %, y empezaba a realizarse la fabricación de azulejos por bicocción rápida (5 %), en la que se realizaban igualmente dos cocciones (soporte y soporte decorado) pero en hornos monoestrato de rodillos. Asimismo, se empezaban a

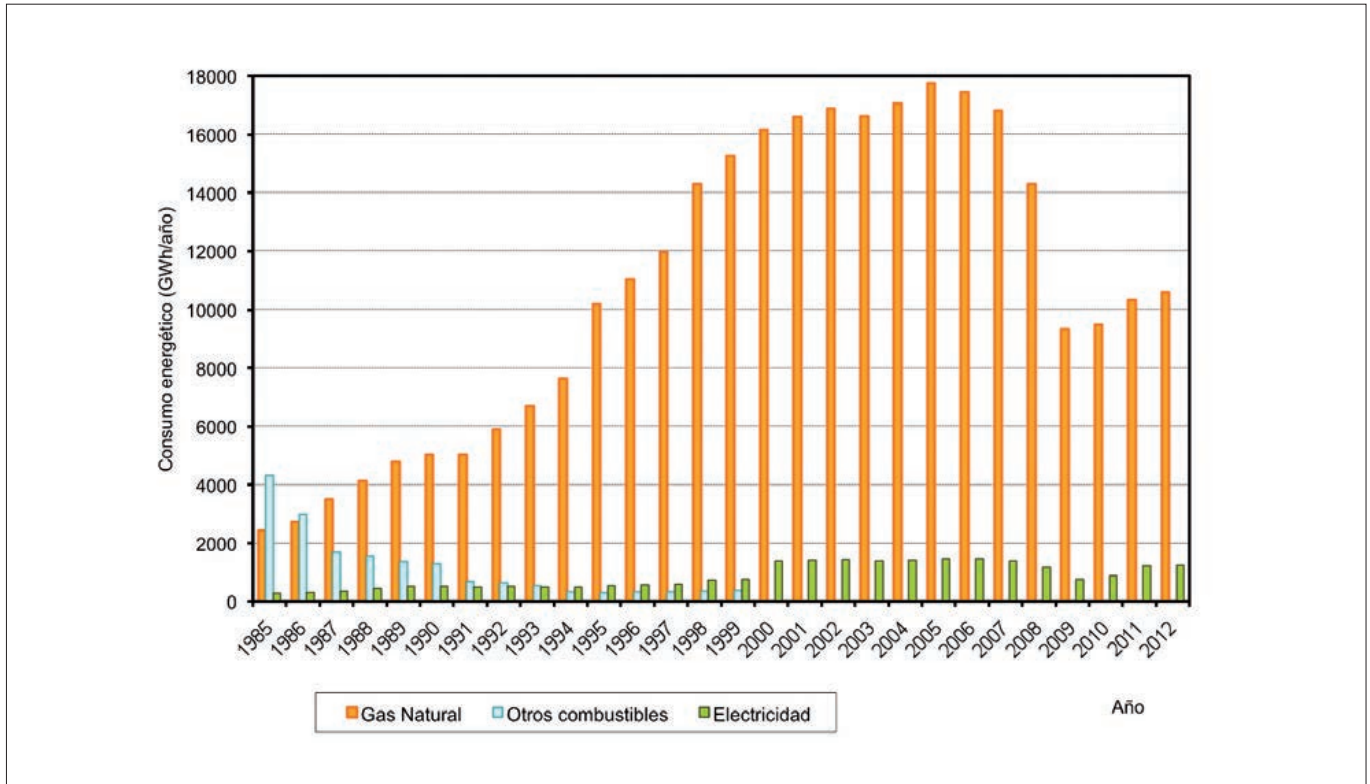


Figura 3. Evolución del consumo energético (1985 – 2012).
Fuente: ASCER y elaboración propia.

fabricar también azulejos por monococción (2 %), pero la producción de baldosas porosas (azulejos) suponía sólo un 53 % del total de la producción, pues la fabricación de productos gresificados era ya del 43 %. El cambio observado en la distribución de los productos fabricados se debió fundamentalmente al empleo cada vez mayor de los nuevos hornos de rodillos y al uso del gas natural, que permitían obtener productos gresificados por monococción de elevada calidad. Como se ha indicado, se empezaban a fabricar también productos porosos por monococción (25), pero su fabricación era aún pequeña (2 %), frente a la cantidad que se fabricaba por bicocción (51 %).

En 1995, el producto gresificado mayoritario era el gres esmaltado (suponía un 93 % de la producción de baldosas con baja porosidad), pero se inició la producción de gres porcelánico, producto de muy baja porosidad. Durante el año 1995, la producción de baldosas extrudidas era del 3 %, valor que se ha mantenido bastante estable hasta la actualidad. La cocción de estas baldosas se desarrollaba en hornos continuos de gas natural, aunque por sus características técnicas seguían empleándose fundamentalmente hornos túnel.

En el año 2012, desaparece totalmente la producción de azulejos por bicocción tradicional, y se estima que la producción de azulejos obtenidos por bicocción rápida supone sólo el 3 % de la producción. El proceso de cocción de baldosas cerámicas prensadas mayoritariamente empleado es la monococción en hornos de rodillos de gas natural, obteniéndose de este modo el 97 % de la producción. En 2012, aproximadamente un 40 % de la producción es de azulejo poroso y el restante 60 % lo constituyen los productos no porosos que engloban gres porcelánico, gres esmaltado y baldosas extrudidas.

2.2. Evolución del consumo energético en el proceso de fabricación

Durante el proceso de fabricación de baldosas cerámicas se consume una elevada cantidad de energía, principalmente energía térmica. En la figura 3 se observa la evolución del consumo de gas natural, de otros combustibles líquidos y sólidos y del consumo de electricidad en el proceso de fabricación de baldosas cerámicas desde el año 1985 hasta 2012. El consumo eléctrico mostrado en la figura 3 corresponde al requerido por el proceso de fabricación, independientemente de su origen, que puede ser la red eléctrica general o los sistemas de cogeneración propios.

La demanda energética total va ligada a la evolución de la producción (véase figura 1). Sin embargo, a medida que se han ido produciendo cambios tecnológicos en el proceso productivo, ha ido cambiando la demanda de los distintos combustibles. Así, el consumo de combustibles líquidos y sólidos fue en descenso en la década de los 80, en favor del gas natural, cuyo empleo en los nuevos hornos de rodillos se fue generalizando rápidamente cuando el sector tuvo acceso al gas natural canalizado.

El consumo de energía eléctrica aumentó ligeramente desde 1985 hasta el año 2000, debido al aumento de la producción sectorial. No obstante, a partir de este año el incremento es más notable, seguramente causado por la automatización de algunas de las etapas del proceso de fabricación, lo que se traduce en un mayor consumo de electricidad. Al igual que ocurre con el consumo de gas natural, se observa un notable descenso del consumo eléctrico los años 2008 y 2009, motivado por la brusca reducción de la producción.

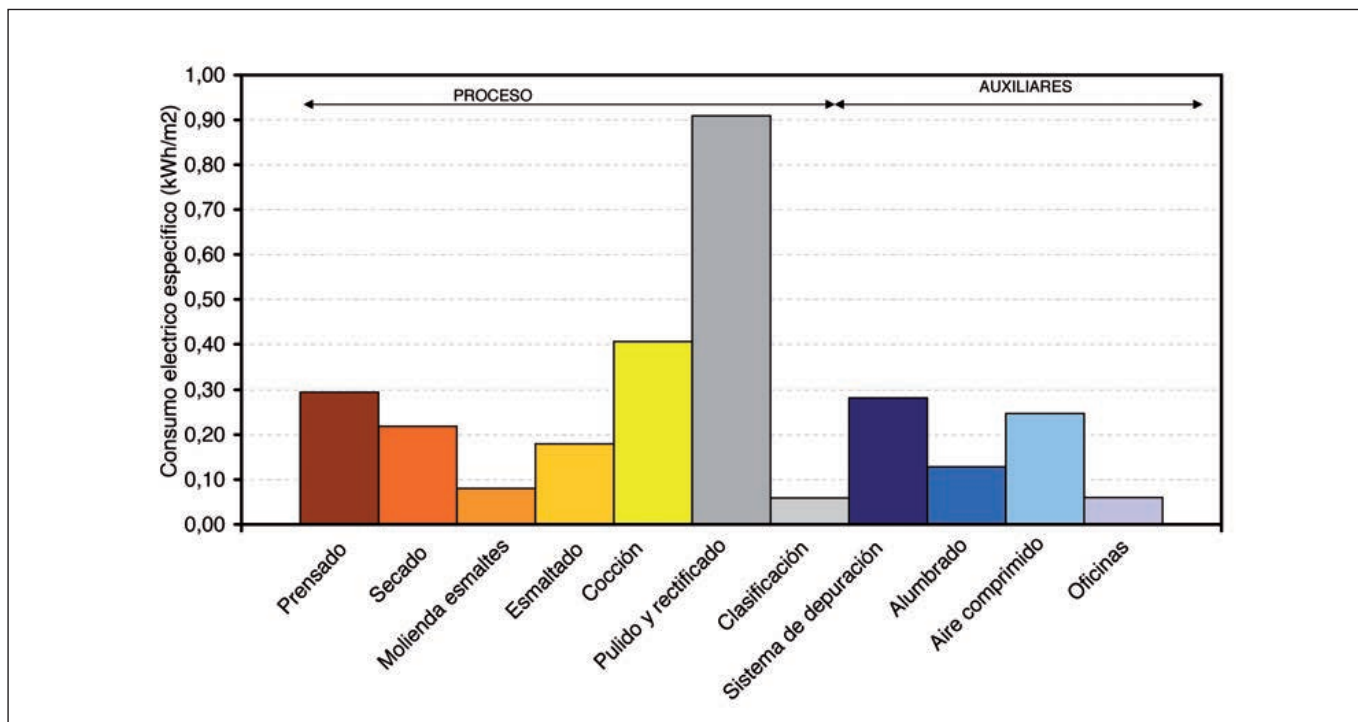


Figura 4. Distribución del consumo eléctrico específico por etapas (26).

Uno de los cambios más importantes que ha sufrido el sector desde el punto de vista del consumo de energía ha sido el empleo de sistemas de cogeneración. Actualmente, debido al empleo generalizado de las turbinas de cogeneración en el proceso de secado de las suspensiones cerámicas, el sector cerámico en global es excedentario en energía eléctrica, es decir, toda la energía eléctrica que consumen los procesos de fabricación la producen los sistemas de cogeneración, existiendo todavía un excedente que se vierte a la red eléctrica.

En el año 2012 el consumo de energía térmica supuso el 88 % de la demanda total de energía sectorial, siendo el 12 % restante consumo eléctrico.

En todas las etapas del proceso de fabricación de baldosas cerámicas se produce, en mayor o menor medida, un consumo de energía eléctrica. Estas etapas son: molienda, secado de las suspensiones cerámicas, prensado, secado de los soportes cerámicos, esmaltado y decoración, cocción, pulido, corte y/o rectificado, clasificación y embalaje. De todas las etapas las de mayor consumo eléctrico son las de prensado y cocción (26), excepto en aquellos productos que se someten a tratamientos de pulido y/o rectificado, donde esta etapa de proceso suele ser la de mayor consumo eléctrico.

En la figura 4 se ha representado la distribución del consumo eléctrico específico por etapas.

Sin embargo el consumo de energía térmica se produce principalmente en tres etapas: secado de suspensiones cerámicas por atomización, el secado de soportes cerámicos y la etapa de cocción, siendo la etapa de cocción que mayor consumo tiene. En mucha menor medida se produce un consumo de energía térmica en las etapas de secado de los productos rectificados y en la etapa de clasificación.

En la figura 5 se observa la distribución del consumo térmico por etapas (26).

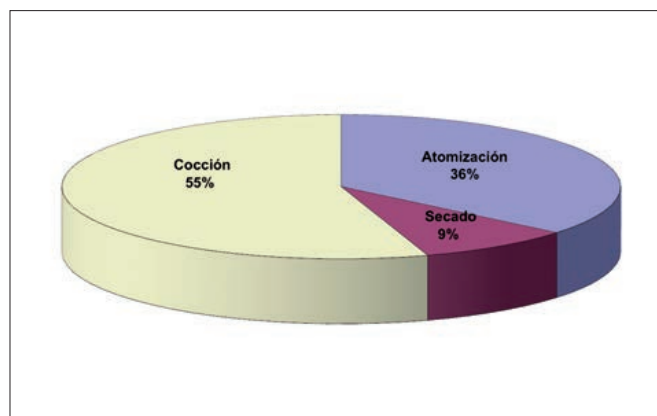


Figura 5. Distribución del consumo térmico por etapas (26).

2.2.1. CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA

En la figura 6 se ha representado la evolución del consumo específico de energía térmica durante los últimos 26 años. El gráfico muestra cómo los cambios tecnológicos implantados en el sector han ido aumentando la eficiencia energética del proceso y reduciendo paulatinamente el consumo específico de energía térmica.

Como ya se ha comentado, en los años 80 la mayor fuente de calor para el proceso provenía de la combustión de fuelóleo y gasóleo e incluso de leña. Los hornos empleados eran hornos túnel y de canales, muflados para evitar el contacto directo de los gases calientes con las piezas, lo que limitaba su eficiencia energética, ocasionando un consumo de energía por unidad de producto elevado.

La llegada del gas natural a la provincia de Castellón a mediados de los años 80 cambió el escenario energético,

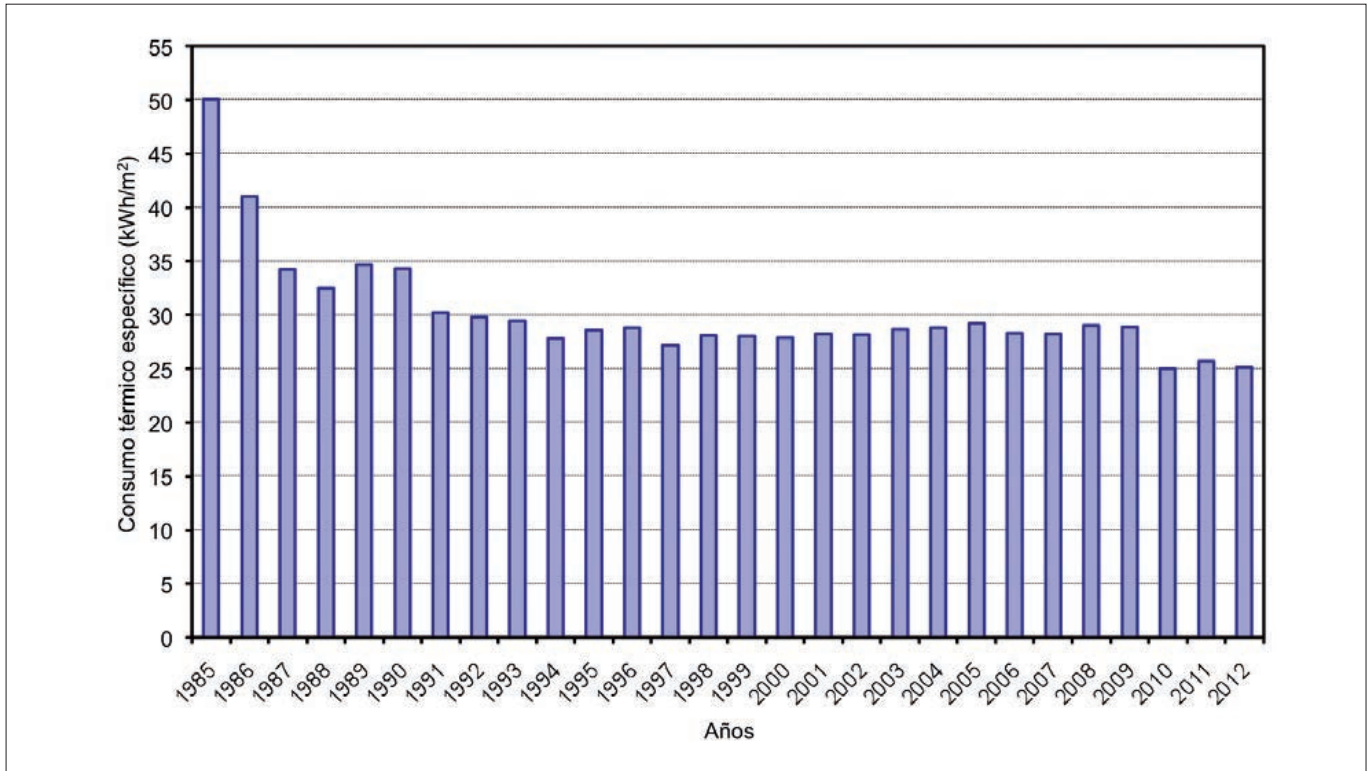


Figura 6. Evolución del consumo térmico específico (1985 – 2012).

pasando a ser el gas natural el combustible más utilizado, y propiciando el empleo de hornos monoestrato de rodillos con mucho mejor rendimiento energético en el proceso de cocción.

Como consecuencia del cambio tecnológico en los hornos, que a su vez facilitó el empleo mayoritario del proceso de monococción en lugar de la bicocción, el consumo específico térmico se redujo drásticamente, aproximadamente un 40 %, en 10 años.

Desde el inicio de la década de los 90, este parámetro se ha mantenido más o menos constante, entre 25 y 30 kWh/m² de producto cocido, pues aunque se han implantado medidas de ahorro y eficiencia energética en el proceso productivo, su impacto es menor comparado con el que tuvo el cambio de tecnología en la etapa de cocción, y además se ha compensado en parte por la introducción de productos de mayores tamaños, espesores y temperaturas de cocción (productos gresificados).

2.2.2. CONSUMO ELÉCTRICO

Uno de los cambios más importantes, desde el punto de vista del consumo de energía eléctrica es el empleo de los sistemas de cogeneración en la industria cerámica. La primera instalación de cogeneración en la provincia de Castellón se instaló en 1989 (27), y a partir de ese momento se extendió su empleo en el sector. En 2013, el sector de fabricación de baldosas cerámicas cuenta con 80 instalaciones de cogeneración cuya potencia instalada asciende a 330 MW.

Un sistema de cogeneración es una instalación en la cual se produce, de manera conjunta, energía térmica y energía eléctrica. El principal objetivo de emplear sistemas de cogeneración en las instalaciones industriales no es reducir el consumo de energía térmica, que localmente aumenta,

sino realizar un uso más eficiente de la misma, ya que en un sistema de cogeneración se aprovecha al máximo la energía química contenida en el combustible.

En efecto, en un sistema de cogeneración los gases de combustión se emplean para generar electricidad, y posteriormente se aprovechan en los procesos productivos, obteniéndose una eficiencia global en torno al 90 %, muy superior al de las centrales térmicas convencionales con eficiencias del orden del 35-55 %.

Además, el empleo de sistemas de cogeneración reduce las pérdidas eléctricas por transporte y distribución de la misma, e independiza el proceso productivo de los cortes eléctricos producidos ocasionalmente en la red eléctrica general. Se evitan de este modo cortes de suministro que ocasionan un elevado coste para las instalaciones.

Los sistemas de cogeneración más utilizados en la fabricación de baldosas cerámicas son:

- Turbina de gas, cuyos gases de escape constituyen el aire de secado en los secaderos por atomización de las suspensiones cerámicas
- Motores alternativos de combustión interna, cuyos gases de salida se utilizan en el secado de las baldosas recién prensadas.

La energía eléctrica generada puede ser autoconsumida en la propia instalación generadora o bien puede venderse a la red eléctrica, a la vez que se adquiere de la red la necesaria para completar la demanda de la instalación.

Este proceso de compra/venta y autoconsumo de la energía eléctrica producida mediante un proceso de cogeneración está regulado legalmente y ha ido cambiando a lo largo de los últimos años.

Así por ejemplo según el RD 2818/98 (28) las instalaciones productoras de energía eléctrica en régimen especial estaban obligadas a autoconsumir un mínimo de un 60 % de la energía eléctrica producida. Sin embargo, con la publicación del RD 661/2007 (29) este panorama cambió y las empresas no tienen restricciones de autoconsumo. El problema es que este marco legal puede sufrir modificaciones importantes para promover o desincentivar la cogeneración, lo que crea inseguridad a medio y largo plazo.

En la actualidad el consumo eléctrico específico medio asciende a 3,2 kWh/m², del cual se estima que el 85 % procede de la energía suministrada por la red eléctrica mientras que el 15 % restante procede del autoconsumo.

2.3. Evolución de las emisiones de dióxido de carbono

Las emisiones de dióxido de carbono en la fabricación de baldosas cerámicas se dividen en dos grupos (30):

- Emisiones de combustión: son las emisiones producidas durante la reacción exotérmica de combustión entre el combustible y oxígeno, en las etapas de atomización, secado y cocción, principalmente, y en la cogeneración.
- Emisiones de proceso: emisiones que se producen como resultado de las reacciones de descomposición de los carbonatos presentes en las materias primas durante la etapa de cocción.

La cantidad de carbonatos presente en las materias primas es función del tipo de composición cerámica. Así, las composiciones de azulejo suelen tener un contenido en carbonatos situado entre el 10 y 15 % en peso, mientras que el contenido en carbonatos de las composiciones de gres no suele ser mayor del 5 %. Las composiciones de gres porcelánico presentan un contenido en carbonatos menor de 0,5 %.

En la figura 7 se ha representado de manera gráfica la distribución de las emisiones de dióxido de carbono durante el proceso de fabricación de baldosas cerámicas.

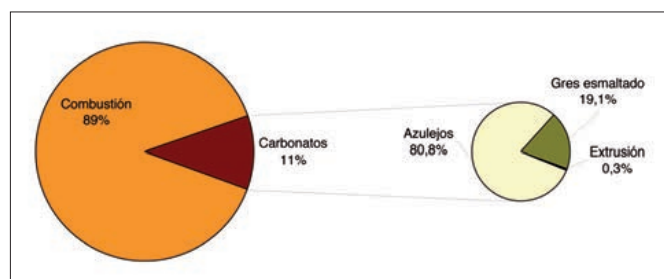


Figura 7. Distribución de las emisiones de dióxido de carbono en la fabricación de baldosas cerámicas (2012).

Como puede observarse en la figura anterior, aproximadamente el 89 % de las emisiones de dióxido de carbono se deben a la combustión del gas natural. El 11 % restante se deben a la descomposición de los carbonatos presentes en las materias primas durante la etapa de cocción. Dentro de las emisiones procedentes de la descomposición de los carbonatos destacan las correspondientes a los azulejos, con una contribución de un 81 %, por ser estas composiciones las poseen mayor contenido en carbonatos.

En la figura 8 se ha representado la evolución de las emisiones específicas de dióxido de carbono en el sector cerámico.

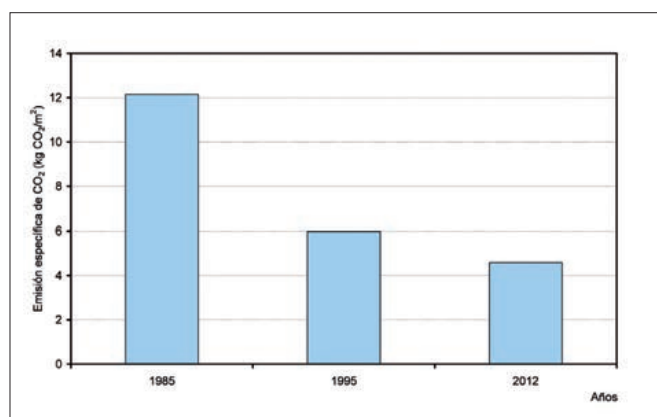


Figura 8. Evolución de las emisiones específicas de dióxido de carbono, años 1985, 1995 y 2012.

Las emisiones de dióxido de carbono se han reducido un 58 % desde el año 1985 hasta 2012. Esto se debe fundamentalmente a los cambios tecnológicos experimentados por el sector cerámico en los últimos años. En efecto, si se comparan los datos de la figura 8 con los representados en la figura 6, se observa como la reducción en las emisiones de dióxido de carbono están íntimamente ligadas a la evolución del consumo energético, ambos unidos a los cambios tecnológicos producidos en sector.

Puesto que aproximadamente el 90 % de las emisiones de dióxido de carbono se deben a la combustión de combustibles fósiles, el cambio de fuelóleo y gasóleo, a gas natural, combustible con un factor de emisión considerablemente menor, contribuyó de manera importante a la reducción observada en la figura 8.

Desde el año 1995 hasta 2012, las emisiones se han reducido un 14 %, debido, principalmente, a las acciones de ahorro energético implantadas en el proceso productivo.

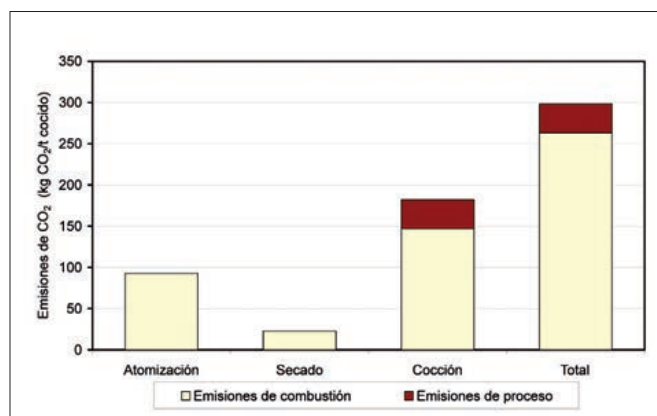


Figura 9. Emisiones específicas de dióxido de carbono por etapas (26).

En la figura 9 se ha representado la emisión específica de dióxido de carbono por etapas. En ella se observa que las etapas con mayor consumo de energía térmica (ver figura 5) poseen mayores emisiones de dióxido de carbono. Además

se constata, que la etapa de cocción es la única etapa con emisiones de proceso, derivadas de los carbonatos presentes en las materias primas.

3. ASPECTOS DE FUTURO

Actualmente se considera que el proceso de fabricación de baldosas cerámicas emplea las mejores técnicas disponibles (31).

En cuanto al proceso de fabricación, la tendencia a medio plazo, es la optimización de los consumos con mejoras en equipos, control y medidas de ahorro energético (31), aunque las acciones en este sentido están bastante limitadas, dado que ya se han realizado esfuerzos en esta línea en los últimos años. Una reducción drástica de emisiones sólo sería posible con cambios tecnológicos importantes en los equipos de secado, cocción y/o con la sustitución de las fuentes de energía.

La entrada en vigor de la nueva directiva europea relativa al comercio de emisiones (Directiva 2009/29/CE) (32), ha supuesto para el sector la regulación de prácticamente todas las instalaciones, pues se han modificado los umbrales de producción que determinan si una instalación está afectada o no. En la primera fase del periodo 2013-2020, el sector ha sido declarado como sector en riesgo de fuga de carbono, y por lo tanto le han sido asignadas gratuitamente el 100 % de las emisiones (en base al proceso de benchmarking), pero esta situación podría modificarse, y teniendo en cuenta el incremento provocado del coste de los derechos de CO₂, supondría un sobre coste adicional para este sector industrial, con la consecuente pérdida de competitividad.

Si además, a la cuestión del comercio de emisiones se suma la nueva tasa al gas natural implantada por el gobierno español en 2013 (33), así como la modificación del régimen económico de las instalaciones de cogeneración (a fecha Octubre de 2013 en negociación), el resultado es un aumento de las dificultades a un sector cuya eficiencia energética es ya elevada, dado que viene realizando esfuerzos notables en adaptar su proceso productivo a las mejores tecnologías disponibles.

El nuevo marco legal, marcado tanto por la Unión Europea como por las autoridades nacionales, reduce la capacidad económica de las empresas, por lo que se considera necesario seguir trabajando para reducir los costes de fabricación, mediante la implantación de acciones de ahorro energético que permitan realizar un uso aún más eficiente de la energía y reducir las emisiones de dióxido de carbono. El gran reto actual de la industria cerámica es continuar reduciendo los consumos energéticos mediante la implantación de las tecnologías que han demostrado su eficacia en la reducción de los consumos energéticos (conocidas como "widespread technologies"), sin perder de vista la implementación en el proceso de otras tecnologías más novedosas (denominadas "breakthrough technologies"), como son las fuentes de energía renovables o la mayor electrificación del proceso productivo.

A este respecto, cabe destacar también la publicación, por parte de la Comisión Europea, de la Hoja de Ruta hacia una economía hipocarbónica (37). En este documento se indican los objetivos de reducción de emisiones marcados por la Unión Europea para los sectores industriales, entre los que se encuentra el sector cerámico. El objetivo es reducir las emisiones de CO₂ entre un 83 % y un 87 % en el año

2050, valores que ciertamente son muy ambiciosos, y que exigen cambios radicales en las tecnologías y en el propio concepto de producto, así como en las fuentes de energía disponibles.

Por tanto, es el momento de iniciar una nueva adaptación tecnológica del sector cerámico, al que podría incorporarse el empleo de la biomasa, combustible de origen fósil y cuyas emisiones no contabilizan a efectos del comercio de emisiones.

La manera más apropiada, a priori, de utilizar biomasa como fuente energética en el proceso de fabricación de baldosas cerámicas es en forma de gas, bien a través de la gasificación de la biomasa para obtener syngas (o gas pobre), o bien a través de la fermentación anaerobia, para la obtención de biogás. Ambos productos gaseosos, syngas y biogás, tienen un poder calorífico inferior al del gas natural, y requieren de grandes cantidades de biomasa para obtener caudales elevados. No obstante, podrían utilizarse mezclados en baja proporción con gas natural, para reducir la factura energética y de CO₂ del sector.

En la zona cerámica de Castellón existe un importante potencial de biomasa susceptible de ser empleada en el sector cerámico, aproximadamente 70000 toneladas anuales de residuos de poda, son susceptibles de ser aprovechadas como biomasa (35). También podrían utilizarse otros residuos agrícolas, forestales, ganaderos y residuos sólidos urbanos de origen orgánico.

No obstante, la obtención de un gas combustible a partir de biomasa, o de los mencionados residuos, es un proceso industrial en sí mismo, que requiere de unas instalaciones específicas. La aplicación más habitual del uso de biomasa como combustible en estado gaseoso consiste en la formación de biogás, a partir de un proceso de digestión de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Este biogás se va generando en unos reactores, en los que la materia orgánica se va degradando por la acción de microorganismos. La composición del biogás generado, y en consecuencia su poder calorífico, depende de la composición de la materia orgánica introducida y de las condiciones de trabajo en los reactores, pero en cualquier caso siempre es más bajo que el del gas natural.

El elevado consumo de gas natural de los hornos cerámicos, hacen que previsiblemente fuese muy difícil cubrir toda su demanda con biogás, puesto que con las tecnologías disponibles la relación del volumen de gas obtenido por unidad de biomasa es relativamente baja.

La rentabilidad de estas instalaciones estará ligada, entre otros aspectos, a la disponibilidad de biomasa o de residuos cerca del emplazamiento de los digestores, para evitar que el coste del transporte de los residuos orgánicos sea muy elevado, así como al precio del gas natural.

La producción de gas de síntesis requiere, asimismo, de un reactor específico, que trabaja a elevada temperatura, lo que dificulta la rentabilidad de la operación.

En ambos casos, biogás o gas de síntesis, el combustible que se obtiene tiene un poder calorífico inferior al del gas natural, y su uso en la industria cerámica, al menos en una primera fase, difícilmente puede plantearse como una sustitución completa del gas natural a nivel sectorial, sino como una fuente energética complementaria. No obstante, su uso requeriría de estudios de combustión, para establecer los equipos y condiciones de operación más apropiadas para cada combustible y/o sus mezclas, así como estudios para establecer las posibles limitaciones técnicas, etc.

Otra posibilidad de uso de la biomasa o de residuos como aporte de calor al proceso productivo es la incineración, y utilizar los gases de combustión para calentar un fluido intermedio, que ceda el calor al proceso en intercambiadores de calor. Esta opción presenta la ventaja de que se podría dar uso a residuos orgánicos que se produzcan en áreas cercanas, aunque el uso de residuos puede presentar mayores problemas de aceptación social.

Además del empleo de biomasa y residuos, pueden y deben explorarse otras opciones como la incorporación de secaderos y hornos eléctricos al proceso, pero esta opción sólo reducirá las emisiones a nivel global si la electricidad procede de fuentes de energía renovables. A este respecto, cabe indicar que se han realizado algunos interesantes estudios, aunque preliminares, analizando como afectaría a las emisiones del sector el uso de hornos y secaderos eléctricos, en función del origen de la electricidad (36). En este trabajo se concluye que si se consideran el Análisis del Ciclo de Vida de las diferentes tecnologías, las menores emisiones globales se obtienen cuando la energía renovable es fundamentalmente de origen eólico.

No obstante, el empleo de secaderos y hornos eléctricos aunque requiere del desarrollo de tecnologías específicas, no debe presentar grandes dificultades técnicas, y de hecho abre muchas posibilidades de desarrollo de nuevos equipos y tecnologías. La principal barrera para su implantación, a juicio de los autores, no es tecnológica sino económica, por la relación de costes entre la energía eléctrica y la energía térmica, que no es previsible que se modifique a corto o medio plazo.

En resumen, para reducir el consumo energético, diversificar las fuentes de energía, y minimizar las emisiones de dióxido de carbono, el sector cerámico debe seguir implantando las mejores tecnologías disponibles en la actualidad, sin perder de vista nuevos retos tecnológicos. No obstante, el objetivo para 2050 marcado en la hoja de ruta publicada por la Unión Europea parece difícil de alcanzar, pues en el mejor de los casos supuestos, utilizando las mejores tecnologías disponibles, y suponiendo hornos y secaderos eléctricos, con electricidad de origen renovable (50 % eólica) la reducción de emisiones respecto a los valores actuales se estima en torno a un 57 % (31), lejos del 83 % establecido como objetivo por la Unión Europea.

4. CONCLUSIONES

Incrementar tanto la eficiencia energética, como las fuentes de energía renovables y la I+D en nuevas tecnologías son los aspectos clave a considerar cuando se debate sobre la sostenibilidad energética industrial y por ende de sostenibilidad industrial. Desde que se hiciera público el informe Brundtland, en 1987, se viene produciendo un aumento de la conciencia pública sobre los límites ecológicos al desarrollo, incluido el calentamiento global. A esta mayor concienciación se suman cambios en las políticas públicas en materia de medioambiente e industria, un aumento sostenido de los precios de la energía, y la extensión de planteamientos sistémicos como la ecología industrial, que conciben la actividad industrial de un modo holístico. Todos estos cambios están provocando que se conviertan en una prioridad para la actividad industrial la eficiencia energética y la búsqueda de alternativas energéticas más sostenibles.

El sector cerámico español de fabricación de baldosas cerámicas consume gran cantidad de energía en sus procesos industriales. No obstante, este sector ha ido incorporando importantes innovaciones tecnológicas a medida que han ido apareciendo que han sido determinantes tanto en la mejora de la variedad y calidad de los productos, como en la reducción del consumo energético y las emisiones de dióxido de carbono.

Actualmente, el sector está utilizando las mejores técnicas disponibles, y el potencial de aumento de la eficiencia energética y de reducción de las emisiones de CO₂ no es muy elevado, con la tecnología actual de fabricación, pues las acciones de ahorro energético se limitan a la optimización de los equipos disponibles.

El contexto político actual no hace sino poner trabas a un sector que ha realizado un gran esfuerzo en adaptar su proceso a las tecnologías más eficientes. Una reducción sustancial del consumo energético y de las emisiones, como las indicadas en la hoja de ruta publicada por la Comisión europea, sólo sería posible con nueva revolución tecnológica en el sector, en la que deben tener cabida las energías renovables y los secaderos y hornos eléctricos, siempre que la electricidad proceda de fuentes renovables.

Entre las energías renovables a incorporar al proceso, cabe destacar el empleo de biomasa o residuos, que puede tener una procedencia diversa (forestal, agrícola, ganadera, RSU), y que permite su tratamiento de diferentes maneras (gasificación o fermentación), para su empleo como combustible. Esta opción permitiría la diversificación energética, la reutilización de residuos además podría facilitar la creación de nuevos modelos de negocio en el entorno rural. Como contrapartida, citar que no podría llegar a sustituirse todo el gas natural que actualmente emplea el sector, por tratarse de un volumen muy elevado.

Finalmente señalar, que el uso de equipos eléctricos para secado y cocción es el que debe ofrecer a largo plazo mayores posibilidades técnicas y ambientales, pero esta opción debe estar enmarcada en un escenario global de generación de energía eléctrica mayoritariamente con sistemas hipocarbónicos y de costes reducidos.

BIBLIOGRAFÍA

- GABALDÓN-ESTEVAN, D.; CRIADO, E.; MONFORT, E. The green factor in the European manufacturing industry: case study of the Spanish ceramic tile industry. *Journal of Cleaner Production* 70, 242-250, 2014.
- MINGUILLÓN, M. C.; MONFORT, E.; ESCRIG, A.; CELADES, I.; GUERRA, L.; STEML, A.; QUEROL, X. Air comparison between two European ceramic tile clusters. *Atmospheric environment*, 74, 311-319, 2013.
- ZENG S.X.; MENG X.H.; YIN H.T.; TAM C.M.; SUN L. Impact of cleaner production on business performance. *Journal of Cleaner Production*, 18 (10-11) 975-983, 2010.
- KIVIMAA P.; MICKWITZ P. Public policy as a part of transforming energy systems: framing bioenergy in Finnish energy policy. *Journal of Cleaner Production*, 19 (16) 1812-1821, 2011.
- LÓPEZ-GAMERO MD.; MOLINA-AZORÍN J.F.; CLAVER-CORTÉS E. The potential of environmental regulation to change managerial perception, environmental management, competitiveness and financial performance. *Journal of Cleaner Production*, 18 (10-11) 963-974, 2010.
- WEBER KM.; ROHRACHER H. Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change: Combining insights from innovation systems and multi-level perspective in a comprehensive 'failures' framework. *Research Policy*, 41 (6) 1037-1047, 2012.
- TADDEO R.; SIMBOLI A.; MORGANTE A. Implementing eco-industrial parks in existing clusters. Findings from a historical Italian chemical site. *Journal of Cleaner Production*, 33, 22-29, 2012.

8. GABALDÓN-ESTEVAN, D.; HEKKERT M.P. How Does the Innovation System in the Spanish Tile Sector Function? *Bol. Soc. Esp. Ceram. V. 52* (3) 151-158, 2013.
9. MARKARD J.; RAVEN R.; TRUFFER B. Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects, *Research Policy* 41 (6) 955-967, 2012.
10. DE MARCHI, V. Environmental innovation and R&D cooperation: Empirical evidence from Spanish manufacturing firms, *Research Policy* 41 614-623, 2012.
11. MOLINA-MORALES, F.X.; MARTINEZ-FERNANDEZ, M.T. Factors that identify industrial districts: an application in Spanish manufacturing firms, *Environment and Planning A*, 36 (1) 111-126, 2004.
12. GABALDÓN-ESTEVAN, D.; FERNÁNDEZ DE LUCIO, I.; MOLINA MORALES, F.X. Sistemas Distrituales de Innovación. *ARBOR-Ciencia, pensamiento y cultura*, 188 (753) 63-73, 2012.
13. BENVENISTE, G.; GAZULLA, C.; FULLANA, P.; CELADES, I.; ROS, T.; MOLINER, R.; ZAERA, V.; GODES, B. Análisis del ciclo de vida sectorial de la baldosa cerámica. *Técnica Cerámica*, 384, 384-393, 2010.
14. IBÁÑEZ-FORÉS V.; BOVEA M.D.; AZAPAGIC A. Assessing the sustainability of Best Available Techniques (BAT): methodology and application in the ceramic tiles industry, *Journal of Cleaner Production*, 2013. Available online 4 February 2013, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.020>
15. SHU, Z.; GARCIA-TEN, J.; MONFORT, E.; AMOROS, J.L.; ZHOU, J.; WANG Y. X. Cleaner production of porcelain tile powders. Granule and green compact characterization. *Ceramics International*. 38, 517-526, 2012.
16. SHU, Z.; GARCIA-TEN, J.; MONFORT, E.; AMOROS, J.L.; ZHOU, J.; WANG Y. X. Cleaner production of porcelain tile powders. Fired compact properties. *International*. 38, 1479-1487, 2012.
17. MONFORT, E.; GARCIA-TEN, J.; CELADES, I.; GAZULLA, M^a. F.; GOMAR, S. Evolution of fluorine emissions during the fast firing of ceramic tile. *Applied Clay Science*, 28, 250-258, 2008.
18. MONFORT, E.; GARCIA-TEN, J.; CELADES, I.; GOMAR, S. Monitoring and possible reduction of HF in stack flue gases from ceramic tiles fired under different conditions. *Journal of Fluorine Chemistry*, 131, 6-12, 2010.
19. CELADES, I.; MOLINER, R.; ROS-DOSDÁ, T.; MONFORT, E.; ZAERA, V. Environmental development of the Spanish ceramic tile manufacturing sector over the period 1992-2007. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr. Vol 51, 2*, 111-118, 2012.
20. MEZQUITA, A.; BOIX, J.; MONFORT, E.; MALLOL, G. Energy saving in ceramic tile kilns: cooling gas heat recovery. *Applied Thermal Engineering*, 65, 102-110, 2014.
21. MEZQUITA, A.; MONFORT, E.; VAQUER, E.; FERRER, S.; ARNAL, M.A.; TOLEDO, J.; CUESTA, M.A. Optimización energética en la fabricación de baldosas cerámicas mediante el uso de aceite térmico. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr., Vol. 51, 4*, 183-190, 2012.
22. MEZQUITA, A.; MONFORT, E.; VAQUER, E.; FERRER, S.; PITARCH, J.M.; ARNAL, M.A.; COBO, F. *Cfi Ber. DKG 85*, Vol. 91 (5), E37-E40, 2014.
23. MONFORT, E.; MEZQUITA, A.; GRANEL, R.; VAQUER, E.; ESCRIG, A.; MIRALLES, A.; ZAERA, V. Análisis de consumos energéticos y emisiones de dióxido de carbono en la fabricación de baldosas cerámicas. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr., 49* (4) 303-310, 2010.
24. MEZQUITA, A.; MONFORT, E.; ZAERA, V. Sector azulejero y comercio de emisiones: reducción de emisiones de CO₂, benchmarking europeo. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr., 48*(4), 211-222, 2009.
25. ENRIQUE, J.E.; MALLOL, G.; SALVÁ, E.; (1996a) Evolución de los consumos de energía térmica y eléctrica en el sector de baldosas cerámicas. *Técnica Cerámica*, 246, 466-477.
26. MONFORT, E.; MEZQUITA, A.; GRANEL, R.; VAQUER, E. Estudio energético sector de baldosas cerámicas de la Comunidad Valenciana. Informe sectorial de consumos energéticos y emisiones de dióxido de carbono en el proceso de fabricación de baldosas cerámicas. *Agencia Valenciana de la Energía – AVEN. Depósito legal: V-2450-2011*.
27. ESCARDINO, A. El esfuerzo en innovación cerámica de la Comunidad Valenciana para reducir las emisiones de dióxido de carbono. EN: *Símpoio internacional sobre el cambio climático, desde la ciencia a la sociedad*. Valencia: Generalitat Valenciana, 2005. pp. 121-133.
28. RD 2818/1998, de 23 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración.
29. RD 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
30. Decisión 2007/589/CE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establecen las directrices para el seguimiento y la notificación de emisiones de gases de efecto invernadero
31. MONFORT, E.; MEZQUITA, A.; GRANEL, R.; VAQUER, E. Guía de ahorro energético en el sector de baldosas cerámica de la Comunidad Valenciana. *Agencia Valenciana de la Energía – AVEN. Depósito legal: V-2078-2011*.
32. Directiva 2009/29/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de Abril de 2009, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE, para perfeccionar y ampliar el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.
33. Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética.
34. COM(2011) 112. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050. Bruselas, Marzo 2011.
35. "Plan de mejora de la calidad del aire de la zona ES1003: Mijares – Penyalgosa (A. Costera) y aglomeración ES1015: Castelló. Zona cerámica de Castelló". Instituto de Ciencias de la Tierra "Jaume Almera", CSIC. Instituto de Tecnología Cerámica, Universitat Jaume I. Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo. Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge, Generalitat Valenciana.
36. MONFORT, E.; MEZQUITA, A.; VAQUER, E.; FERRER, S.; ROS, T. European ceramic industry towards a hypocarbonic economy. 13th CONFERENCE AND EXHIBITION OF THE EUROPEAN CERAMIC SOCIETY. European Ceramic Society. Limoges (France) (June 2013).

Recibido: 19/11/2013

Recibida versión corregida: 07/04/2014

Aceptado: 21/04/2014