

¿QUÉ PAPEL JUEGAN LAS BALDOSAS CERÁMICAS EN LA COMPRA VERDE Y EDIFICACIÓN SOSTENIBLE?



Dr. ELISEO MONFORT GIMENO

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

Licenciado en Ciencias Químicas (especialidad Química Industrial) por la Universidad de Valencia en 1987 y Doctor en Ciencias Químicas por la Universitat Jaume I de Castellón en 1995.

Desde 1988 es miembro del Instituto de Tecnología Cerámica donde básicamente ha llevado a cabo toda su actividad profesional, y desde 1989 profesor de universidad. En el ITC ha participado como investigador en más de 100 proyectos de I+D+i financiados tanto por empresas privadas, como por entidades públicas.

En este periodo ha sido coautor de 5 libros, de 80 artículos en revistas científicas de carácter nacional e internacional, ha presentado más de 100 comunicaciones a congresos nacionales e internacionales, y ha impartido más de 40 conferencias y cursos sobre distintos aspectos de la Tecnología Cerámica e Ingeniería Ambiental, en empresas, universidades y centros de investigación, tanto de España, como de

otros países de Europa, Asia y de América.

Actualmente es Responsable del Área de Medio Ambiente, Energía y Salud Laboral del Instituto de Tecnología Cerámica y Profesor Titular de Ingeniería Química en la Universitat Jaume I de Castellón.

RESUMEN

Muchos países están potenciando la compra verde como un instrumento voluntario para trasladar a la cadena de suministro de productos y servicios los criterios ambientales establecidos por las administraciones públicas (compra pública verde) o por empresas privadas. En este trabajo se analiza la situación actual a nivel mundial en compra verde, y se valora cómo este instrumento puede afectar a las baldosas cerámicas.

El escenario actual de potenciación de los aspectos ambientales, con gran proliferación de ecoetiquetas, distintivos ecológicos, certificados, etc., plantea nuevas oportunidades para las baldosas cerámicas, pero a su vez la amplitud y complejidad de las distintas opciones han generado una gran confusión, tanto en los consumidores como en la cadena de valor de las baldosas cerámicas. Por ello, en esta conferencia se revisan someramente los principales distintivos ambientales que pueden utilizarse como requisitos de las baldosas cerámicas, cuando su comercialización se realiza a través de procesos de compra verde.

Muchos de estos sistemas de comunicación ambiental (ecoetiquetas, certificación de edificios, etc.) se basan en el análisis de todo el ciclo de vida de los productos, y valoran la transparencia en la información ambiental, particularmente en construcción sostenible. Por ello, para dar respuesta a esta demanda se presentan brevemente los resultados de un estudio reciente sobre análisis de ciclo de vida de las baldosas cerámicas.

Finalmente se realiza un análisis DAFO de la situación de las baldosas cerámicas en compra verde, para dejar sobre la mesa algunas de las cuestiones más candentes en esta temática.

1. ¿QUÉ ES LA COMPRA VERDE?

Tomando como base varias fuentes bibliográficas, la compra verde se puede definir como una contratación, licitación o adquisición (en adelante compra) en la que contratante o comprador decide establecer unos requisitos a los productos, servicios, obras o contratos (en adelante productos) para reducir su impacto ambiental durante su ciclo de vida, en comparación con el impacto que causarían los productos que se adquirirían con la misma utilidad básica pero sin establecer estos requisitos. La compra verde cuando es promovida por entidades públicas se denomina compra pública verde (en adelante CPV).

1.1. Estado del arte en compra verde en países desarrollados

En muchos países desarrollados está emergiendo con fuerza legislación para integrar los criterios ambientales en las compras públicas, especialmente en Estados Unidos y en la Unión Europea. En Europa, la Comisión Europea ha iniciado una serie de medidas para incrementar el nivel de CPV en todos los estados miembros, y ha definido unos sectores de interés, entre los que se encuentran los relacionados con la construcción y edificación, tanto en la adquisición de los materiales que los constituyen, como en la fase de construcción, uso y demolición [1-2]. En Estados Unidos la Agencia de Protección Ambiental (USEPA) ha publicado guías para la implantación de procesos de compra pública en la administración, tanto federal como a otros niveles [3].

Para conocer mejor la situación en los países desarrollados se ha realizado una revisión de la literatura científica sobre la experiencia acumulada en compra verde [1-9], observándose que cada vez se va implantando en más países, aunque sin duda los que parecen disponer de mayor experiencia documentada en la aplicación práctica son, como se ha indicado, Estados Unidos y la Unión Europea. A continuación se resume la información encontrada en estas fuentes bibliográficas, sobre la situación actual, oportunidades y problemas encontrados en la compra verde relacionada con los productos de la construcción y edificación:

- La compra verde está creciendo en los países más desarrollados, aunque mucho más en el sector público que en el sector privado. En el sector público, diferentes estudios indican que entre el 40 y el 50% de las ofertas y contrataciones públicas de la Unión Europea ya incorporan criterios ambientales, en parte porque numerosas legislaciones tanto a nivel europeo, nacional, regional como local, establecen la obligación de incorporar estos criterios. Teniendo en cuenta que en la OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico que reúne a los países más industrializados) la compra pública alcanza de media sobre un 15% del producto interior bruto, se observa la importancia que puede adquirir en pocos años el disponer de algún tipo de diferenciación ambiental en los productos que ofertan las empresas, porque existen numerosas iniciativas legislativas para extender este proceso a todas las compras públicas en prácticamente todos los países desarrollados.

En el sector privado, la experiencia indica que la compra verde se establece fundamentalmente por dos motivos, cuando incorpora beneficios inmediatos tangibles (por ejemplo ahorro de energía) o como medida de prevención para evitar incurrir en problemas legales en la cadena de suministro. Aunque también existen empresas privadas, sobre todo de gran tamaño, que establecen criterios corporativos similares a los del sector público, motivados fundamentalmente por razones de imagen.

- En cuanto a la metodología, ésta se ha basado históricamente en exigir algunos requisitos a los proveedores, siendo los más frecuentes en compra verde el tener implantados sistemas de gestión medioambiental y ecoetiquetas. La ventaja de estos criterios es que son simples y fácilmente verificables, y no incrementan en exceso los costes ni los trámites en los procesos de compra. Las principales críticas son que con estos criterios las exigencias no se centran necesariamente en el control de los mayores impactos causados por los productos o servicios adquiridos, y que los procesos de compra se centran mucho en el proceso de contratación, pero después no se establece un sistema de seguimiento posterior.
- Para subsanar parte de estos problemas, en CPV en los últimos años existe una tendencia a exigir una información ambiental más completa, para lo que se suele recurrir a las declaraciones ambientales de producto realizadas a partir de un análisis de ciclo de vida. Este sistema presenta la ventaja de que ofrece información ambiental más exhaustiva, pero las principales barreras que encuentra son que esta información puede ser más difícil de procesar por el comprador o contratante, si no tiene un nivel de formación adecuado, y además, puede alargar y complicar el proceso de compra. Por otra parte, existe el riesgo de que si se establecen criterios muy rigurosos o se exige mucha información ambiental, se puede reducir el número de suministradores que pueden optar a la oferta, y puede limitar la competencia. Esto, que es un problema para el contratante, es visto como una gran ventaja para el suministrador porque el disponer de esta información, le sitúa en condiciones ventajosas frente a la competencia.

En resumen, se observa una fuerte tendencia legislativa y social a fomentar la compra verde, apoyada por los estudios teóricos que inciden en situar el punto de partida en los hábitos de consumo, dando más información ambiental al consumidor. La CPV está muy consolidada en algunos productos, y se está extendiendo con fuerza a otros, como los materiales de construcción. La experiencia acumulada es importante, y aunque existe un intenso debate sobre cuales son las mejores herramientas y metodologías para desarrollar los procesos de compra verde, estos han madurado mucho en los últimos años y actualmente se registra una gran actividad en este campo en los países desarrollados.

1.2. Estado del arte en países emergentes

En estos países los gobiernos son cada vez más conscientes que no se puede seguir con la política de “contaminar hoy y depurar mañana”, porque está llevando a situaciones ambientalmente graves e irreversibles, y a que se necesitarán grandes esfuerzos para corregir estos excesos actuales.

Desde el año 2000 en los denominados países emergentes existe un interés creciente en extender la adopción de las prácticas ambientales utilizadas por los países desarrollados para poder garantizar un desarrollo sostenible. Entre estas prácticas se encuentra la compra verde, sobre todo la CPV. Por ello se ha considerado interesante estudiar la situación en los países emergentes [10-12]:

- Existe bastante acuerdo, al menos en los ámbitos políticos, en que establecer criterios ambientales en la compra pública es un mecanismo con gran potencial para introducir mejoras ambientales. La realidad es que aunque los gobiernos de estos países han empezado a promulgar legislación para introducir la CPV, en la práctica apenas existen criterios para su aplicación, además es difícil verificarlos porque los sistemas de certificación ambiental presentan deficiencias notables, y gozan de poca credibilidad. Otro inconveniente en estos países es la percepción de que la aplicación de CPV puede ser una barrera para sus propios productos, por lo que estos criterios se suelen aplicar con más rigor a los productos importados que a los fabricados internamente.
- No obstante, existen parámetros que indican un cierto impulso de la CPV, como la existencia de empresas locales punteras que empiezan a ofrecer servicios y productos más ecológicos, abundantes estudios realizados por entidades locales que indican el enorme potencial de la CPV para reducir los problemas ambientales, el interés creciente de las empresas de estos países en obtener certificados ambientales, etc. Estos factores invitan a pensar que los procesos de CPV madurarán en unos pocos años, por lo menos en las regiones o zonas de mayor desarrollo económico y social.

2. ¿QUÉ HERRAMIENTAS DE COMUNICACIÓN AMBIENTAL SE SUELEN EXIGIR EN COMPRA VERDE?

Como se ha indicado, en compra verde se exigen requisitos ambientales a los proveedores, y una forma sencilla de mostrar su cumplimiento es disponer de algún certificado reconocido. Por ello, a continuación se revisan brevemente las principales herramientas de comunicación ambiental existentes.

2.1. Sistemas de gestión ambiental

Un sistema de gestión ambiental (SGMA) se aplican a las organizaciones no a los productos, pero hasta ahora ha sido uno de los requisitos más demandados en compra verde [8], bien de forma obligatoria, o dando una serie de bonificaciones

en el proceso de adjudicación de la compra a las empresas que disponen de un SGMA implantado. Los dos sistemas de gestión ambiental más extendidos son:

- **El SGMA según la familia de normas ISO 14000**, es el sistema más conocido a nivel internacional, y el que probablemente presenta una mayor implantación. La familia de normas que lo regula fue aprobada por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) en septiembre de 1996, por lo que tiene una vida de unos 15 años, y muchos fabricantes de baldosas cerámicas en todo el mundo lo tienen implantado y certificado.
- **El sistema comunitario de gestión y auditoría ambiental (EMAS)** es una normativa voluntaria de la Unión Europea para implantar y reconocer un SGMA. El programa EMAS ha estado disponible para la participación de empresas de sectores industriales desde 1995, posteriormente se abrió a todos los sectores económicos, incluidos los servicios públicos y privados. Este sistema, en la práctica, ha tenido menos éxito entre las empresas fabricantes de baldosas cerámicas europeas que el sistema ISO 14000, quizás porque es menos conocido a nivel internacional y los criterios son más exigentes. No obstante, el sistema EMAS tiene mucho reconocimiento a nivel europeo y se está utilizando como criterio de referencia por muchas administraciones europeas en procesos de CPV.

Recientemente, en concreto en julio de 2011, el comité ISO ha aprobado la norma ISO 14006 sobre Ecodiseño [13]. Esta norma puede complementarse con la serie ISO 14001, regulando la integración sistemática de las consideraciones ambientales en el diseño y desarrollo de los productos. Este sistema es certificable, y aunque todavía es pronto para estimar el grado de implantación que puede tener en un futuro, puede ser una opción interesante a valorar en los procesos de compra verde.

2.2. Ecoetiquetas de producto

El comité ISO ha clasificado a las ecoetiquetas en tres tipos: tipo I o ecoetiquetas certificadas; tipo II o autodeclaraciones ambientales de producto; y tipo III o declaraciones ambientales de producto [14]. A continuación se explican las principales características de los tres tipos de ecoetiquetas, que se resumen en la Tabla 1:

- **Ecoetiquetas Certificadas (Tipo I).** Son etiquetas voluntarias, que para su concesión utilizan múltiples criterios, que son verificados por una tercera parte independiente. Pueden ser establecidos por instituciones públicas o privadas y a nivel regional, nacional o internacional, y permiten distinguir dentro de una categoría de producto los que presentan un menor impacto ambiental. Para las baldosas cerámicas es posible obtener una ecoetiqueta a nivel europeo [15-17], ya que se han establecido criterios dentro de la categoría de recubrimientos rígidos para suelos, al que se han acogido un número significativo de fabricantes europeos. Los criterios son muy estrictos, y para

conseguir la ecoetiqueta se deben superar todos los umbrales establecidos, es decir, se basa en un criterio de excelencia. Aunque existen otras ecoetiquetas tipo 1 para recubrimientos cerámicos (como en Hong Kong, Japón, Nueva Zelanda, etc.), en general no son tan específicas como la implantada en la Unión Europea, con la excepción de Australia que ha establecido una ecoetiqueta para baldosas cerámicas con criterios similares a la europea [18]. Las ecoetiquetas tienen la ventaja en compra verde de que son fáciles de identificar y no requieren el uso de expertos en el proceso de compra.

- **Autodeclaraciones Ambientales de Producto (Tipo II).** Las ecoetiquetas ambientales tipo II son autodeclaraciones realizadas por fabricantes, importadores, distribuidores, minoristas, etc., con el propósito de comunicar una mejora ambiental en algún aspecto concreto. Estas etiquetas no requieren verificación por una tercera parte independiente, aunque si disponen de ella incrementan su credibilidad. Este sistema permite a las empresas autodeclarar alguna característica o cualidad del producto, como el contenido en material reciclado, o la utilización reducida de recursos o emisiones específicas.
- **Declaraciones Ambientales de Producto (DAP o Tipo III).** Las declaraciones ambientales tipo III presentan una información ambiental cuantificada sobre el ciclo de vida de los productos basada en estudios verificados independientes del Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Los estudios deben hacerse en función de determinadas directrices acordadas para cada categoría de producto, conocidas como Reglas de Categoría de Producto (RCP). Las DAP están destinadas a la comunicación entre empresas más que al consumidor final, aunque su uso no es excluyente, y no se requiere superar ningún umbral para conseguirlas, porque se basan en el principio de transparencia, no en el principio de excelencia. En teoría presentan la ventaja de que permiten establecer comparaciones entre productos que desarrollan la misma función, pero en la práctica resulta difícil comparar indicadores que miden diferentes categorías de impacto. No obstante, dado que ofrecen mucha información y de forma sistemática, se utilizan mucho en los procesos de compra verde. Las DAP son particularmente interesantes para los fabricantes de baldosas cerámicas, puesto que pueden dar información estandarizada a profesionales de la construcción, como arquitectos, proyectistas, etc., y son las únicas que permiten evaluar los impactos ambientales no sólo de las baldosas cerámicas aisladas, sino del conjunto cuando se integran en sistemas constructivos más complejos, como edificios. Por el contrario, presentan el problema de la complejidad en su interpretación, por lo que no son de gran utilidad cuando se dirigen directamente al consumidor final.

	Ecoetiquetas Certificadas (Tipo I)	Autodeclaraciones Ambientales (Tipo II)	Declaraciones Ambientales de Producto (Tipo III)
Objetivo	Indicar mejor comportamiento ambiental en una categoría de producto	Comunicar aspectos ambientales concretos	Presentar información normalizada sobre el ciclo de vida.
¿Se requiere ACV?	No	No	Si
¿Necesita ser verificada por terceros?	Si	No se requiere, pero aumenta la credibilidad	No se requiere, pero aumenta la credibilidad
Norma	ISO 14024	ISO 14021	ISO 14025/ISO 21930
Comunicación para el consumidor final	Buena	Buena	No
Utilidad en Compra verde	Buena	Regular	Buena

Tabla 1. Ecoetiquetas de productos según el comité ISO

2.3. Certificados de construcción sostenible

La construcción sostenible, tomando varias fuentes, se puede definir en términos prácticos, como aquella realizada aplicando criterios de reducción de los impactos ambientales, teniendo en cuenta la selección del suelo y de los materiales, los procesos de construcción, así como las fases de uso y de demolición del edificio, incluyendo en estas fases además criterios sociales y económicos.

Una de las herramientas con mayor éxito de comunicación en construcción sostenible es la certificación de edificios, ya que es una forma de ofrecer información con elevada credibilidad, y con criterios más o menos rigurosos pero independientes. Uno de los problemas de los certificados de construcción sostenible es que existen muchos de ámbito local. En la tabla 2 se resumen algunas de las características de estos certificados de construcción sostenible.

Metodología	Título completo
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method (Método de evaluación y certificación de la sostenibilidad de la edificación)
Método de evaluación y certificación de la sostenibilidad de la edificación, encaminado a medir, evaluar y ponderar los niveles de sostenibilidad de una edificación tanto en la fase de diseño como en las fases de ejecución y mantenimiento. BREEAM evalúa impactos en 10 categorías: gestión, salud y bienestar, energía, transporte, agua, materiales, residuos, uso ecológico del suelo, contaminación e innovación.	
LEED	Leadership in Energy Environmental Design (LEED)
Sistema de certificación ambiental cuyo objetivo es mejorar el comportamiento ambiental de los edificios en los siguientes aspectos: uso de suelo, consumo de energía, consumo de agua, emisiones de CO ₂ , calidad ambiental interior, gestión de materiales y recursos e innovación en el diseño.	

VERDE	Herramienta VERDE, Consejo español del Green Building Council
La Certificación GBC España-VERDE es una herramienta de evaluación para la certificación ambiental de edificios. La metodología está basada en una aproximación al ACV en cada etapa del proceso de edificación y parte de una adaptación al contexto español de la herramienta SBTool.	
SB TOOL	Sustainable Building Tool
Software que implementa el método de evaluación de la sostenibilidad de proyectos del Sustainable Building Challenge (originalmente Green Building Challenge).	
HQE	Haute Qualité Environnementale
Sistema de etiquetado voluntario para edificios que se basa en una serie de puntos que el edificio debe cumplir para demostrar que es un edificio con alta calidad medioambiental. El método se basa en la formalización explícita de 14 objetivos, a través de cuya maximización se busca optimizar el rendimiento ambiental del edificio. Estos objetivos se agrupan en eco construcción, eco-gestión, confort y salud.	
GREEN GLOBES	
Green Globes es una herramienta online de certificación medioambiental de edificios. Su origen es el BREEAM adaptado a Canadá y posteriormente exportada a E.E.U.U. Ligado a la herramienta ATHENA de ACV específica a edificios aplicable a Canadá y E.E.U.U. Actualmente puede incluir el ACV del montaje y de los materiales del edificio. Se está estudiando cómo integrar aún más el ACV en el proceso de certificación.	
BDM	Le pôle Bâtiments durables méditerranéens
Metodología para el diagnóstico y evaluación en fase de proyecto de la sostenibilidad, sobretodo ambiental, de un proyecto de construcción o rehabilitación, teniendo en cuenta su ciclo de vida. Se evalúan proyectos, que luego se validan en fase de proyecto, obra y uso.	
CASBEE	Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency
Herramienta de evaluación que tiene como objeto evaluar una edificación desde dos puntos de vista: la calidad de edificio y de las cargas ambientales generadas sobre el exterior.	

*Tabla 2. Certificados de construcción sostenible
(Fuente: Cátedra UNESCO del ciclo de vida y cambio climático)*

A continuación se detallan un poco más dos de los certificados más conocidos a nivel internacional:

- **Certificado BREEAM.** El certificado BREEAM surgió en 1990 como uno de los principales certificados de sostenibilidad del Reino Unido y hoy en día sigue siendo el método de certificación más extendido y reconocido del Reino Unido, aunque se ha ido ampliando por todo el mundo. La metodología propuesta evalúa los impactos en diez categorías: gestión; salud y bienestar; energía; transporte; agua; materiales; residuos; uso ecológico del suelo; contaminación e innovación. Los puntos obtenidos en cada categoría pasan por un factor de ponderación medioambiental que tiene en cuenta la importancia relativa de cada área de impacto. Los resultados de cada categoría se suman para producir una única puntuación global del edificio a partir de la cual se califica según una escala de cinco rangos, que da el grado de cumplimiento BREEAM.
- **Certificación LEED.** Las siglas LEED equivalen en castellano a “Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental”. La certificación la otorga el Consejo de la Construcción Ecológica de Estados Unidos (en inglés “US Green Building Council, USGBC”). Presentada en EEUU en 2000, la certificación LEED ha avanzado

rápidamente hasta convertirse en un estándar internacional gozando de una gran reputación a nivel mundial, siendo probablemente el sistema más extendido, teniendo edificios certificados en más de 30 países. El sistema de calificación está enfocado hacia el respeto de los principios de ahorro energético y construcción ecológica, y se usa para clasificar los edificios como “Edificios Sostenibles”. Para ello, se somete a evaluación el impacto medioambiental de un edificio durante toda su vida útil. El USGBC ha establecido una lista de especificaciones y a cada una de ellas le asigna una serie de puntos, con el fin de servir de ayuda a los arquitectos durante la fase de planificación. El sistema de evaluación depende del uso y complejidad del edificio, pero en general en función del número de puntos alcanzado se establece el grado de certificación: certificado LEED (bronce), plata, oro o platino (máxima).

¿Cuál es el papel de las baldosas cerámicas en certificados de construcción sostenible?

Las baldosas cerámicas en estos sistemas de certificación de edificios tienen las siguientes potencialidades genéricas, que les puede otorgar unas ventajas al edificio en su conjunto:

- La mayor parte de estos sistemas valoran el contenido en material reciclado y dado que en los procesos de fabricación de baldosas se reciclan aguas y residuos, pueden aumentar la valoración del edificio.
- Las baldosas cerámicas no emiten compuestos orgánicos volátiles con lo que contribuyen a una buena calidad del aire interior.
- Reducción del efecto isla de calor en edificios si el índice de reflectancia solar es elevado, que es habitual en baldosas esmaltadas de coloración clara.

Además existen algunos tipos particulares de baldosas que aportan innovaciones o nuevas funcionalidades al edificio o entorno en el que se colocan, y que pueden ser muy bien valoradas por el proyectista e incluso por estos sistemas de certificación, siendo ejemplos de ecodiseño. Entre ellas cabe resaltar algunas desarrolladas recientemente [19]:

- Baldosas de espesor reducido, lo que disminuye el consumo de materias primas, energía, así como los impactos asociados a la distribución y eliminación final.
- Baldosas con superficies con nuevas funcionalidades: propiedades antideslizantes; con efecto fotocatalítico para eliminar contaminantes ambientales y purificar el aire; con superficies fáciles de limpiar disminuyendo el consumo de agua y detergente en la fase de uso; con capacidad bactericida para limitar los riesgos biológicos; superficies que evitan cargas superficiales electrostáticas, etc.

- Baldosas con integración de elementos funcionales: placas fotovoltaicas integradas que pueden dar lugar a la generación de energía renovable o sistemas de domótica que reducen las necesidades de instalación de elementos auxiliares.
- Baldosas con soportes con funcionalidades especiales: efecto regulador de la humedad ambiental, o soportes de alta porosidad que presentan un gran aislamiento térmico y acústico.
- Innovaciones realizadas en el campo de la integración de las baldosas en el edificio: como colocación en seco o uso de baldosas en fachadas ventiladas.

El sector de baldosas cerámicas debe explorar todas estas potencialidades y desarrollos en mejoras ambientales y ponerlos en valor ante los arquitectos y el consumidor final, para ofrecer aplicaciones que pocos productos competidores pueden aportar.

3. ¿SE DISPONE DE ESTUDIOS DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LAS BALDOSAS CERÁMICAS?

Los primeros estudios documentados sobre ACV en baldosas cerámicas aparecen sobre el año 2000 [16-17] con el objetivo de establecer los criterios de la etiqueta ecológica europea para baldosas cerámicas. Además existen otros estudios de ACV realizados fundamentalmente con fines comparativos o para estudiar determinadas mejoras o tipos de productos [20-23]. No obstante, los primeros se pueden considerar un poco obsoletos porque no recogen todas las mejoras ambientales introducidas en los últimos años [24-34], mientras que los más recientes son muy específicos y no se puede considerar que representen a todo el sector de baldosas cerámicas.

Por estas razones y porque existe una demanda creciente de información ambiental sobre las baldosas cerámicas, reclamada insistentemente por los comercializadores [35], se necesitaba un estudio de ACV actualizado y sectorial. En este contexto, el GiGa (ESCI de la Universitat Pompeu Fabra) y el ITC (Instituto de Tecnología Cerámica de la Universitat Jaume I), con la colaboración y apoyo de ASCER (Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos), han desarrollado un estudio de ciclo de vida de las baldosas cerámicas a nivel sectorial siguiendo las normas ISO sobre ACV [36-37], con el fin de obtener unos valores de referencia científicamente válidos y objetivos, sobre las diferentes cargas ambientales de la baldosa cerámica. El alcance del estudio realizado se resume en la tabla 3.

Concepto	Descripción
Unidad funcional	1 m ² para recubrir paredes o suelos durante 50 años
Tipo de baldosas	Porosidad: azulejo, gres y gres porcelánico Coloración del soporte cocido: rojo y blanco Conformado: prensado y extrudido Preparación de materias primas: vía seca y vía húmeda
Representatividad	56 empresas españolas Sobre el 50% de la producción española
Ciclo considerado	De la cuna a la tumba. Fases: fabricación (incluye extracción y tratamientos de materias primas), distribución (incluye transporte, colocación y gestión de residuos de embalaje), uso y fin de vida
Exclusiones	Maquinaria y equipamiento industrial Proceso de reciclado de residuos no cerámicos Impactos de materias primas con un contenido <1% (en peso)

Tabla 3. Alcance del ACV realizado por Giga-ITC

Los datos considerados en cada fase se explican con detalle en la bibliografía [38-39], realizándose a continuación un breve resumen del inventario, por lo que si se desea profundizar puede acudir a dichas fuentes:

Fase A. Fabricación:

- Las entradas y salidas de materiales. Se han considerado los consumos de materias primas, combustible y agua, además de la generación de emisiones, residuos de proceso y su tratamiento. Los residuos procedentes de operaciones de mantenimiento o de otras actividades externas al proceso no se incluyen en el inventario por quedar fuera de los límites del sistema.
- Datos de consumos y producción de energía. En general, en el inventario se han incluido datos de consumo y producción (incluida la cogeneración) de energía eléctrica y térmica.

De las entradas de materia y energía se han considerado todos los impactos generados aguas arriba (extracción, producción y transporte) y de las salidas se han tenido en cuenta todos los impactos generados aguas abajo.

Fase B. Distribución:

- Transporte o distribución del producto. En este punto se ha tenido en cuenta el consumo de combustible por el transporte y las emisiones asociadas.
- Gestión de residuos de embalaje. La gestión de los residuos de embalaje se ha considerado diferente en función de la zona geográfica (España, Europa y el resto del mundo), tomando en cada caso los datos medios de los diferentes tipos de gestión (incineración, reciclado o depósito en vertederos).

- Colocación del producto. Se ha considerado la utilización de un adhesivo mortero en la colocación de todos los tipos de baldosas.

Fase C. Uso.

- Consumo de materiales. Se ha considerado el consumo de agua y detergente durante 50 años, según usos (doméstico, comercial o sanitario) [40].
- Impacto. El producto durante su fase de uso se considera que es inerte, no consume energía y no produce impactos significativos sobre el medio (no emite compuestos volátiles, ni solubiliza compuestos al agua, etc.)

Fase D. Fin de vida

- Consumo de energía. Teniendo en cuenta que las baldosas representan de media menos del 1% del peso total de los edificios, el consumo energético asociado a su desmantelamiento puede considerarse despreciable.
- Gestión de residuos. Una vez demolido el edificio, se ha supuesto que las baldosas son depositadas en un 83% en vertederos y el 17% restante se revaloriza en otros usos (en base a datos de gestión medios en España).

En cuanto a la fase de evaluación del impacto ambiental de la ACV las categorías de impacto ambiental y la metodología escogidas se encuentran entre las recomendadas por la guía operativa de aplicación de las normas ISO de ACV [41].

Categoría de impacto	Descripción
Agotamiento de recursos abióticos (PARA)	Tiene cuenta el consumo de recursos minerales y combustibles fósiles (en kg). El potencial de agotamiento para cada extracción de minerales y combustibles fósiles se determina en kg de Sb equivalente.
Potencial de acidificación (PA)	Tiene en cuenta las emisiones de sustancias acidificantes como HF, HCl, SO ₂ , etc. (en kg). El potencial de acidificación se determina en kg de SO ₂ equivalentes.
Potencial de eutrofización (PE)	Tiene en cuenta las emisiones de nutrientes al aire (como NO _x que dan lugar a nitratos), al agua (como fósforo) o al suelo (en kg). El potencial de eutrofización se determina en kg de fosfato (PO ₄ ³⁻) equivalente.
Potencial de calentamiento global (PCG)	Tiene en cuenta las emisiones atmosféricas de gases de efecto invernadero, incluye emisiones directas e indirectas (transporte de materias primas y productos, la emitida en la producción de la energía eléctrica consumida, etc.). El potencial de calentamiento global se mide en un horizonte temporal de 100 años en kg de CO ₂ equivalente.
Potencial de agotamiento del ozono estratosférico (PAOE)	Tiene en cuenta las emisiones de sustancias al aire que pueden agotar la capa de ozono estratosférico (en kg). El potencial de agotamiento de cada emisión en el aire se determina en kg de R11 (triclorofluormetano) equivalente.

Potencial de formación de ozono fotoquímico (PFOF)	Tiene en cuenta la emisiones de sustancias precursoras de la formación de ozono fotoquímico (Compuestos Orgánicos Volátiles, CO, NO _x , etc.) (en kg) El potencial de creación de ozono fotoquímico de cada emisión se establece en kg de etileno equivalente.
--	---

Tabla 4. Indicadores de impacto utilizados.

Además de estas categorías, en la evaluación de impactos se han incluido una serie de indicadores de flujo para ayudar a la toma de decisiones y a la interpretación de resultados. Estos indicadores son:

- **Consumo de energía primaria:** cantidad total de energía calorífica bruta consumida por el sistema, procedente tanto de recursos renovables como no renovables, teniendo en cuenta tanto los consumos directos para la fabricación del producto, como los indirectos derivados de las actividades para la obtención de la energía directa. Unidad de medida: Mega Joules (MJ).
- **Consumo de agua:** cantidad total de agua dulce consumida por el sistema. Se calcula sumando la cantidad de todos los consumos de agua que se producen a lo largo del ciclo de vida del producto. Unidad de medida: kilogramos (kg).

La información obtenida en el estudio se presenta de forma resumida en la Tabla 5. En dicha tabla se muestran los intervalos de valores obtenidos de las categorías de impacto seleccionadas y se indica la fase de mayor contribución para cada una de las categorías de impacto evaluadas (tomando valores medios). De estos resultados cabe comentar lo siguiente:

- Una categoría de impacto muy significativa es el potencial de calentamiento global, que se manifiesta también en el indicador de flujo de consumo de energía primaria. A esta categoría contribuyen mayoritariamente las emisiones de CO₂ producidas en la combustión de combustibles durante la generación eléctrica, la combustión y extracción de gas natural en el proceso de fabricación (etapas de atomización, secado y cocción) y el consumo de combustible en el transporte de materiales y productos. En esta categoría la fase que más contribuye son las emisiones de CO₂ equivalente en los procesos de combustión en la fase de fabricación (69%). Por tanto, para mejorar es necesario potenciar medidas encaminadas a reducir el consumo energético en dicha fase. Existen otros factores externos que la empresa no puede controlar, como es el mix de generación energética en el país donde se encuentra el centro de fabricación. Por otra parte en la fase de distribución, en la medida en que se minimicen las distancias de transporte de materias primas y productos, o para la misma distancia se utilice el transporte marítimo frente al transporte por carretera, se pueden reducir los impactos.

- En las otras categorías de impacto que tienen una contribución significativa, la fase de fabricación es importante en la categoría de potencial de agotamiento de recursos abióticos (debido al consumo de materias primas y combustibles no renovables), y en el potencial de acidificación (emisión de compuestos ácidos en la fabricación).
- Por otra parte, la fase de uso de las baldosas se observa que tiene un gran impacto sobre el consumo de agua, derivado de la limpieza de la baldosa durante 50 años de vida útil. El uso de detergentes conlleva que esta fase presenta la mayor contribución en las categorías de impacto de potencial de eutrofización y de potencial de formación de ozono fotoquímico. Aunque esta actividad se encuentra sujeta a los hábitos del usuario, de la ubicación de la baldosa y del escenario en la que se encuentre, se han tomado unos valores medios a partir de varios supuestos. Sin embargo, cabe destacar que la limpieza de baldosas no requiere consumo energético, frente a materiales competidores que sí requieren un gran uso de energía en esta fase. Además, dada la elevada durabilidad de las baldosas no es necesario sustituirlas durante el arco temporal considerado, a diferencia de lo que puede ocurrir con otros materiales alternativos.

Indicador	Unidades	Intervalo	Fase de mayor contribución
Agotamiento de recursos abióticos	kg Sb eq.	0.063-0.075	FABRICACIÓN (76%)
Potencial de acidificación	kg de SO ₂ eq.	0.059-0.074	FABRICACIÓN (54%)
Potencial de eutrofización	kg de PO ₄ ⁻³ eq.	0.008-0.009	USO (43%)
Potencial de calentamiento global	kg de CO ₂ eq.	12-14	FABRICACIÓN (69%)
Potencial de agotamiento de ozono	kg de R11 eq.	(1.78-1.90)10 ⁻⁶	FABRICACIÓN (84%)
Potencial de formación de ozono fotoquímico	kg de C ₂ H ₄ eq.	0.011-0.012	USO (65%)
Consumo de energía primaria	MJ	205-235	FABRICACIÓN (56%)
Consumo de agua	kg de agua	321-344	USO (62%)

Tabla 5. Perfil ambiental de las baldosas cerámicas analizadas

Una de las posibilidades interesantes que ofrecen las herramientas de ACV es poder simular escenarios para ver la repercusión que tendrían sobre las categorías de impacto más significativas. A continuación se resumen algunos de los resultados obtenidos en este análisis de sensibilidad, considerando dos de las variables más importantes, el peso de las baldosas y el consumo energético en la fase de producción:

- **Peso de las baldosas:** la variación del peso de las baldosas afecta a la cantidad de materias primas utilizadas para su fabricación, con influencia en la energía primaria requerida, emisiones atmosféricas, cantidad de material a transportar, etc. Para ello, se ha realizado un análisis que indica que para

obtener una variación significativa (superior al 10%) en las categorías de agotamiento de recursos abióticos y del potencial de calentamiento global se requiere una reducción del peso del orden del 50%.

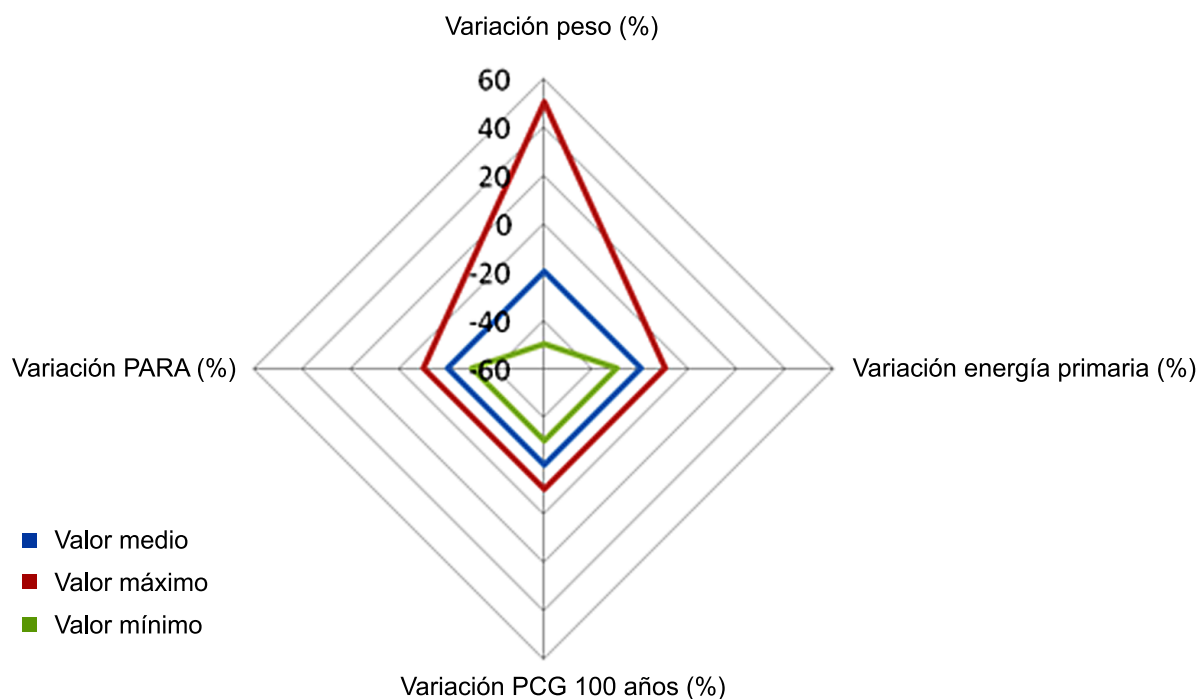


Figura 1 Variaciones en las categorías de impacto según las variaciones del peso de la baldosa de un 50% (Máximo: media + 50%, mínimo: media - 50%)

- Consumo energético:** Para determinar la significancia de la variación de energía térmica en el resultado final del ACV de la baldosa, se ha realizado una identificación de aquellas etapas del ciclo de vida donde se puede reducir el consumo energético. Teniendo en cuenta el Plan de Acción propuesto por la Comisión Europea para el año 2020, que establece la necesidad de reducir un 20% el consumo de energía por aumento de la eficiencia energética, una cuota de energías renovables de hasta el 20% y una cuota del 10% de biocombustibles y otros combustibles renovables en el transporte, se puede alcanzar una reducción de emisiones de CO₂ equivalentes en todo el ciclo de vida de la baldosa del orden del 10%. Una planta actualmente usando las Mejores Técnicas Disponibles en consumo de energía térmica directa apenas sobrepasa el 40-45% de eficiencia energética. Por tanto, para reducir estas emisiones y aumentar notablemente la eficiencia energética se requiere introducir cambios radicales, como sustituir el proceso de atomización por procesos vía seca o alternativos [42], implantar nuevos sistemas de secado y cocción [43-44], o incorporar energías renovables, etc.

4. SITUACIÓN DE LAS BALDOSAS CERÁMICAS EN COMPRA VERDE: ANÁLISIS DAFO

Finalmente se ha realizado un somero análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) de la situación de la baldosas cerámica en compra verde, que pretende servir de base para la discusión en la posterior mesa redonda.

Debilidades

- Para reducir el impacto ambiental del proceso de fabricación de baldosas cerámicas es necesario introducir cambios radicales y con riesgo, sobre todo para disminuir las emisiones de CO₂ asociadas [45].
- La baldosa no es un sistema constructivo final, sino que se integra en otros sistemas más complejos, con lo que su comportamiento ambiental en la fase de uso depende del conjunto.
- La existencia de muchas herramientas de comunicación ambiental crea confusión en fabricantes y consumidores, e incluso en los profesionales, por lo que es necesario adoptar varias estrategias para poder competir en procesos de compra verde, en función del área geográfica, o de si la compra va a ser pública o privada.
- La falta de transparencia y de proactividad en la información ambiental en algunos fabricantes y proveedores, puede ser un obstáculo puesto que si no se realizan estudios propios, los competidores los hacen tomando los datos más desfavorables para las baldosas cerámicas [21]

Amenazas

- El uso en compra verde de distintivos ambientales locales para que actúen como barreras comerciales, sin importar el efecto de la reducción real del impacto ambiental.
- La creciente atención que reciben las emisiones de CO₂ específicas, con iniciativas como la huella de carbono, que si se utiliza como el principal parámetro ambiental puede perjudicar a las baldosas cerámicas frente a otros productos alternativos, y esconder sus cualidades en otras categorías de impacto.
- La tendencia que existe en muchos distintivos ambientales a considerar sólo el ciclo de vida hasta la puerta de fábrica, excluyendo la fase de uso que es en la que las baldosas cerámicas presentan indudables ventajas frente a productos con la misma funcionalidad.

Fortalezas

- La industria de fabricación de baldosas cerámicas europea utiliza las Mejores Técnicas Disponibles en materia energética y ambiental.
- Se ha realizado una intensa labor en medio ambiente en los últimos años, por lo que se dispone de mucha información ambiental sobre los procesos de fabricación.
- Las baldosas cerámicas presentan características intrínsecas muy positivas en la fase de uso: durabilidad, facilidad de limpieza y con consumo de energía despreciable, contribución a la calidad de aire en interiores (no emite COVs), clasificación como material no combustible, etc., lo que les confiere un gran valor en construcción sostenible.
- Existen herramientas específicas (como la ecoetiqueta europea) para baldosas cerámicas que le pueden dar ventajas competitivas frente otros productos competidores.
- El sector de baldosas cerámicas tiene una intensa actividad de I+D+i que ha permitido introducir innovaciones importantes que tienen un gran interés desde el punto de vista de compra verde, como se ha destacado anteriormente.

Oportunidades

- Existe margen de mejora en reducir la categoría de impacto más significativa, que es el potencial de calentamiento global, aumentando la eficiencia energética en el proceso de fabricación actual.
- Si se desarrollan nuevos procesos de fabricación con menores consumos de energía y menor consumo de materias primas, situaría a los materiales cerámicos en una posición más ventajosa.
- La integración de la baldosa cerámica en sistemas más complejos también plantea oportunidades de innovar en este campo.
- Los procesos de compra verde están muy maduros en los países desarrollados y se están ampliando a los materiales de construcción por lo que las baldosas cerámicas deben posicionarse adecuadamente, para ello es necesaria una acción de comunicación ambiental contundente tanto a nivel individual de empresas, como a nivel sectorial para aprovechar las fortalezas de las baldosas cerámicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *Manual práctico de compra y contratación pública verde: modelos y ejemplos para su implantación por la administración pública vasca*. Bilbao: IHOBE, 2010.
- [2] *Buying green. A handbook on green public procurement*. 2nd ed. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011, p. 56.
- [3] US EPA. *Environmentally Preferable Purchasing (EPP). Green Purchasing Guides*. [en línea]. [Consulta: 2011-12-19]. < <http://www.epa.gov/epp/pubs/greenguides.htm> >
- [4] STERNER, E. "Green procurement" of buildings: a study of Swedish clients considerations. *Constr. Manage. Econ.*, 20(1), 21-30, 2002.
- [5] SWANSON, M.; WEISSMAN, A.; DAVIS, G.; SOCOLOF, M.L.; DAVIS, K. Developing priorities for greener state government purchasing: a California case study. *J. Clean. Prod.*, 13, 669-677, 2005.
- [6] BALA, A.; MUÑOZ, P.; RIERADEVALL, J.; YSERN, P. Experiences with green suppliers. The Universitat Autònoma de Barcelona. *J. Clean. Prod.*, 16, 1610-1619, 2008.
- [7] MICHELSEN, O.; DE BOER, L. Green procurement in Norway: a survey of practices at the municipal and county level. *J. Environ. Manage.*, 91, 160-167, 2009.
- [8] VARNÄS, A.; BALFORS, B.; FAITH-ELL, CH. Environmental consideration in procurement of construction contracts: current practice, problems and opportunities in green procurement in the Swedish construction industry. *J. Clean. Prod.*, 17, 1214-1222, 2009.
- [9] FET, A.M.; MICHELSEN, O.; DE BOER, L. Green public procurement in practice - the case of Norway. *Soc. Econ.*, 33(1), 183-198, 2011.
- [10] OFORI, G. Greening the construction supply chain in Singapore. *Eur. J. Purch. Supply Manage.*, 6, 195-206, 2000.
- [11] GENG, Y.; DOBERSTEIN, B. Green government procurement in developing countries: building capacity in China. *J. Environ. Manage.*, 88, 932-938, 2008.
- [12] JIANYA, G. Thoughts on how to improve the system construction of energy saving and emission reduction in China. *Energy Procedia*, 5, 793-797, 2011.
- [13] UNE-EN ISO 14006: 2011. Sistemas de gestión ambiental. Directrices para la incorporación del ecodiseño.
- [14] UNE-EN ISO 14020: 2002. Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales. Principios generales.
- [15] Decisión de la Comisión 2009/607/EC de 9 de julio de 2009 por la que se establecen los criterios ecológicos para la concesión de la etiqueta ecológica comunitaria a los revestimientos rígidos. [en línea]. [Consulta: 2011-12-19]. <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:208:0021:0038:ES:PDF>>

- [16] BALDO, G.L. The eco-label for a new group of products: hard floor coverings. *Cer Acta*, 14(5-6), 30-40, 2002.
- [17] BALDO, G.L.; ROLLINO, S.; STIMMEDER, G.; FIESCHI, M. The use of LCA to develop eco-label criteria for hard floor coverings on behalf of the European flower. *Int. J. Life Cycle Assess.*, 7(5), 269-275, 2002.
- [18] GECA 40-2008: 2008. The Australian Ecolabel Program. Good Environmental Choice Australia Standard. Hard Surfacing.
- [19] GARCÍA-TEN, J.; SÁNCHEZ, E. La industria de baldosas cerámicas: El reto de una fabricación sostenible e innovadora. En: *50 Congreso anual de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio [Cd-rom]: Programa y libro de resúmenes*. [Madrid]: SECV, 2010.
- [20] TIMELLINI, G.; FREGNI, A.; RICALDI, C. Use of local raw materials for the manufacture of ceramic floor and wall tile by companies located in the ceramic district of Sassuolo (Italy): Environmental aspects. *Cer Acta*, 11(5-6), 21-31, 1999.
- [21] NICOLETTI, G.M.; NOTARNICOLA, V.; TASSIELLI, G. Comparative Life Cycle Assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles. *J. Clean. Prod.*, 10(3), 283-296, 2002.
- [22] BOVEA, M.D.; SAURA, U.; FERRERO, J.L.; GINER, J. Cradle-to-gate study of red clay for use in the ceramic industry. *Int. J. Life Cycle Anal.*, 12(6), 439-447, 2007.
- [23] BOVEA, M.D.; DÍAZ-ALBO, E.; GALLARDO, A.; COLOMER-MENDOZA, F.J.; SERRANO, J. Environmental performance of ceramic tiles. Improvement proposals. *Mater. Des.*, 31(1), 35-41, 2010.
- [24] ENRIQUE NAVARRO, J.E. Prevención y control integrados de la contaminación en la industria de baldosas cerámicas. Mejoras técnicas disponibles (BAT). En: *Actas del V Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico*. Castellón: Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación, 1998, vol.I, p. Con 89-117.
- [25] MONFORT, E.; GARCÍA-TEN, J.; MONZÓ, M.; MESTRE, S.; JARQUE, J.C. Recycling red-fired tile scrap in red-firing floor and wall tile compositions. *Tile Brick Int.*, 16(6), 420-427, 2000.
- [26] ENRIQUE, J.E.; MONFORT, E.; BUSANI, G.; MALLOL, G. Reciclado de aguas residuales en la fabricación de baldosas cerámicas. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.*, 39(1), 149-154, 2000.
- [27] MONFORT, E.; BOU, E.; CELADES, I.; SILVA, G.; CRUZ, R.; MARTÍ, V.; PORTOLÉS, J. Valorisation of sludges for glaze production. *Ind. Céram. Verr.*, 991, 44-52, 2003.
- [28] MONFORT, E.; BOU, E.; FELÍU, C.; SILVA, G.; CRUZ, R.; PORTOLÉS, J.; MARTÍ, V. Case study of glazing waste valorisation. *Cfi Ber. DKG*, 81(1-2), 33-36, 2004.
- [29] MINGUILLÓN, M.C.; QUEROL, X.; ALASTUEY, A.; MONFORT, E.; MIRÓ, J.V. PM sources in a highly industrialised area in the process of implementing PM abatement technology. Quantification and evolution. *J. Environ. Monit.*, 9(11), 1071-1081, 2007.

- [30] MINGUILLÓN, M.C.; MONFORT, E.; QUEROL, X.; ALASTUEY, A.; CELADES, I.; MIRÓ, J.V. Effect of ceramic industrial particulate emission control on key components of ambient PM10. *J. Environ. Manage.*, 90(8), 2558-2567, 2009.
- [31] 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.
- [32] MONFORT, E.; GARCÍA-TEN, J.; CELADES, I.; GOMAR, S. Monitoring and possible reduction of HF in stack flue gases from ceramic tiles. *J. Fluorine Chem.*, 131, 6-12, 2010.
- [33] GARCÍA-TEN, J.; MONFORT, E.; GÓMEZ-TENA, M.P.; SANZ, V. Use of coatings to minimise acid emissions during ceramic tile firing. *J. Clean Prod.*, 19(9-10), 1110-1116, 2011.
- [34] MONFORT, E.; SANFELIX, V.; CELADES, I.; GOMAR, S.; MARTÍN, F.; ACEÑA, B.; PAS-CUAL, A. Diffuse PM10 emission factors associated with dust abatement technologies in the ceramic industry. *Atmos. Environ.*, 45, 7286-7292, 2011.
- [35] FASAN, P. Oportunidades medioambientales para la comercialización de baldosas cerámicas. En: *Qualicer 2008: X Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico*. Castellón: Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación, 2008, vol II., p. P.BA273-P.BA284.
- [36] UNE-EN ISO 14040:2006. Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia.
- [37] UNE-EN ISO 14044:2006. Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices.
- [38] BENVENISTE, G.; GAZULLA, C.; FULLANA, P.; CELADES, I.; ROS, T.; ZAERA, V.; GODES, B. Análisis de ciclo de vida y reglas de categoría de producto en la construcción. El caso de las baldosas cerámicas. *Inf. Constr.*, 63(522), 71-81, 2011.
- [39] 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. En: *Qualicer 2010: XI Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico*. Castellón: Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación, 2010.
- [40] PAULSEN, J. Service life prediction for floor coverings. En: LACASSE, M.A.; VANIER, D.J. (eds.). *Durability of building materials and components*. Ottawa: NRC, 1999, p. 1467-1474.
- [41] GUINÉE, J.B. *Handbook on Life Cycle Assessment. Operational guide to the ISO Standards*. Dordrecht (The Netherlands): Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [42] SHU, Z.; MONFORT, E.; GARCÍA-TEN, J.; AMORÓS, J.L.; ZHOU, J.; WANG, Y. A new cleaner process to prepare pressing-powder. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.*, 50(5), 235-244, 2011.
- [43] KU, H.S.; SIORES, E.; TAUBE, A.; BALL, J.A.R. Productivity improvement through the use of microwave technology. *Comput. Ind. Eng.*, 42, 281-290, 2002.

- [44] BARBA, A.; GAZULLA, M.F.; GÓMEZ, M.P.; JARQUE, J.C.; MESTRE, S. Microwave-assisted digestion of ceramic frits for boron and lithium determination by inductively coupled plasma spectrometry (ICP-OES). *Glass Sci. Technol.*, 75(5), 254-258, 2002.
- [45] ZABALZA, I.; VLERO, A.; ARANDA, A. Life cycle assessment of building materials; comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement. *Build. Environ.*, 46, 1133-1140, 2011.