

EVALUACIÓN AMBIENTAL DE BALDOSAS CERÁMICAS MEDIANTE TÉCNICAS DE ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA. PROPUESTA DE MEJORAS

Bovea, M.D. ^(P); Díaz-Albo, E ; Serrano, J.; Bruscas, G.M.

Abstract

The objective of this work is to carry out a "from cradle-to-gate" environmental evaluation of ceramic tiles, with the aim of identifying the steps/processes/materials mainly contributing to its environmental impact.

Production of 1 m² of ceramic tile has been taken as the functional unit, and an inventory of the life cycle of every unitary material/process involved in its production has been made. In order to generate this inventory, companies located at Castellón, belonging to the ceramic sector, have participated. Those companies cover the whole tile life cycle, from red clay extraction to tile final production.

Additionally, impact categories of the CML2001 method have been completed with other impact categories enabling the quantification of the main environmental problems specific of the tile sector. As a result, the tile forming (pressing), pre-heat and firing stages have been identified as those contributing most negatively to the different impact categories considered in the study. For them an improvement proposal has been made, whose viability has been analysed from an environmental, economic and legal perspective.

Keywords: life cycle assessment, LCA, ceramic tile, environmental evaluation, environmental improvement

Resumen

El objeto de esta comunicación es realizar una evaluación ambiental "desde la cuna hasta la puerta del cliente" de pavimento/revestimiento cerámico, con el fin de identificar las etapas/procesos/materiales que contribuyen mayoritariamente a su impacto ambiental.

Tomando como unidad funcional la producción de 1m² de baldosa cerámica, se ha realizado un inventario del ciclo de vida de todas aquellos materiales/procesos unitarios que intervienen en su producción. Para la realización de este inventario se ha contado con la colaboración de empresas del sector cerámico ubicadas en la provincia de Castellón que abarcan el ciclo de vida de la baldosa, desde la extracción de la arcilla roja, pasando por el atomizado de la arcilla, la producción de frita y hasta la producción propia de la baldosa.

Las categorías de impacto del método CML2001 se han completado con otras categorías de impacto que permiten cuantificar los principales problemas ambientales del sector cerámico. De esta forma, se han identificado las etapas de prensado, presecadero y cocción como las que contribuyen de forma más negativa a las diferentes categorías de impacto consideradas en el estudio. Para ellas se ha realizado una propuesta de mejoras, cuya viabilidad se ha analizado desde una perspectiva ambiental, económica y legal.

Palabras clave: análisis del ciclo de vida, ACV, baldosa cerámica, evaluación ambiental, mejora ambiental

1. Introducción

La legislación, cada vez más restrictiva en materia de medio ambiente, está provocando importantes cambios en los diferentes sectores industriales, y por tanto, también en el sector azulejero, objeto de estudio en esta comunicación. El sector azulejero español presenta una elevada concentración en la provincia de Castellón, ya que aproximadamente el 94% de la producción nacional tiene origen en esta provincia, donde se encuentran ubicadas el 76% de las empresas del sector [1], siendo la mayoría de ellas PYMES.

A los cambios derivados de la implantación de la Ley de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC) [2], es necesario unir los beneficios que pueden derivarse de la incorporación del aspecto ambiental en el diseño de productos, tal como promueve a nivel europeo la Política de Productos Integrada [3] y la Directiva de Productos de Construcción [4].

El objeto de esta comunicación es realizar una evaluación ambiental “desde la cuna hasta la puerta del cliente” de pavimento/revestimiento cerámico, con el fin de identificar las etapas/procesos/materiales que contribuyen mayoritariamente a su impacto ambiental y realizar una propuesta de mejoras. La metodología de Análisis del Ciclo de Vida (ACV) [5, 6] constituye el mejor marco para identificar y evaluar los posibles impactos ambientales de los productos.

2. Descripción del proceso de fabricación de la baldosa cerámica

El proceso de fabricación de la baldosa cerámica, abarca las etapas mostradas en la Fig 1.

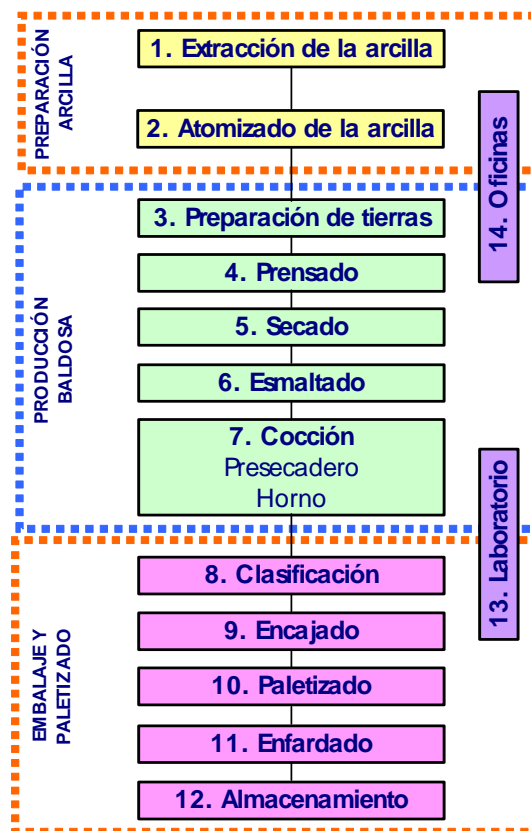


Fig 1. Etapas del ciclo de vida consideradas en el estudio.

La fase de **Preparación de la arcilla**, incluye los procesos de **Extracción de la arcilla (1)** de las canteras para la elaboración posterior del *soporte* de la baldosa y el proceso de **Atomizado de la arcilla (2)**, que consiste en la preparación de la pasta arcillosa teniendo en cuenta principalmente la granulometría y la humedad de la tierra que se está pulverizando, consiguiendo de esta forma las características y propiedades requeridas.

La siguiente fase es la de **Producción de la baldosa**. La primera etapa es la **Recepción de las tierras (3)**, donde la tierra atomizada se carga en silos para pasar posteriormente a la etapa de **Prensado (4)**, proceso en el que se conforma la pieza cerámica. Se lleva a cabo mediante prensas hidráulicas que comprimen mecánicamente el atomizado en moldes de geometría regular. Una vez conformada la pieza cerámica (*soporte*) se somete a una etapa de **Secado (5)** con el fin de reducir el contenido en humedad hasta niveles suficientemente bajos para que las fases de esmaltado y cocción se desarrollen adecuadamente. En la etapa de **Esmaltado (6)** se aplican sobre la pieza seca los esmaltes correspondientes para decorar cada producto. La etapa de **Cocción (7)** engloba dos subprocesos encargados de definir las principales características de la baldosa: El presecado al que se someten las piezas cerámicas para eliminar la humedad adquirida en el proceso de esmaltado y la cocción, donde se somete a la pieza cerámica a un ciclo térmico en unos hornos monoestrato, donde las piezas entran por encima de rodillos y el calor necesario para su cocción es aportado por quemadores de gas natural-aire.

La fase final es el **Embalaje y Paletizado** de la baldosa. Esta fase se ha dividido en las siguientes etapas: **Clasificación (8)**, que mediante un primer control visual y un segundo automático, divide las piezas por categorías (calidades) listas para encajar; **Encajado (9)**, que consiste en ir agrupando las baldosas y, mediante un proceso automático, se van encerrando en cajas de cartón; **Paletizado (10)**, que mediante cintas transportadoras llevan las cajas del seleccionador al robot paletizador, que se encarga de ubicarlas en diferentes palets de acuerdo a su clasificación; **Enfardado (11)**, que asegura las cargas sobre el palet mediante la utilización de film plástico; y un **Almacenamiento (12)** final, que no es más que un depósito temporal del producto acabado, previo a su venta.

A estos procesos, hay que añadirles unos procesos auxiliares como el **Laboratorio (13)** y las **Oficinas (14)**.

3. Aplicación de la metodología de Análisis del Ciclo de Vida

3.1 Etapa I: Definición de objetivos y alcance

El objeto de este estudio es realizar la evaluación ambiental “desde la cuna hasta la puerta del cliente” de la baldosa cerámica, con el fin de identificar cuáles son las etapas/procesos/materiales que contribuyen mayoritariamente a su impacto ambiental. Para cada uno de estos puntos críticos identificados, se propondrán mejoras, cuya viabilidad se analizará desde la perspectiva ambiental, económica y legal.

El alcance del estudio se muestra en la Figura 1, donde se detallan las etapas en que se ha dividido el proceso de producción de la baldosa cerámica.

La unidad funcional es la unidad a la cual van referidos todos los datos de este estudio. Se ha considerado 1m² de baldosa cerámica producida y clasificada es decir, preparada para la venta.

3.2 Etapa II: Análisis de inventario

A partir de los datos recopilados directamente de varias empresas del sector cerámico ubicadas en la provincia de Castellón, se ha realizado un inventario propio de las principales

materias primas y procesos que intervienen en la producción de la baldosa cerámica. El detalle de las fuentes y datos de inventario pueden consultarse en [7, 8].

3.3 Etapa III: Evaluación del impacto

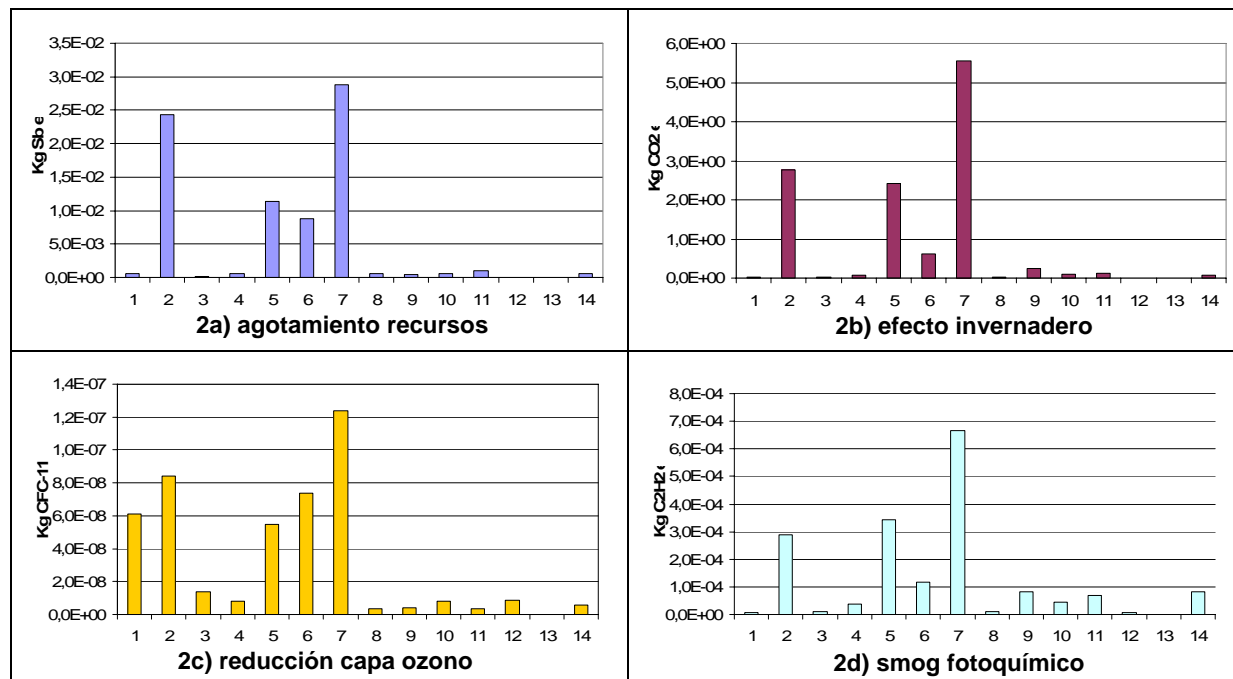
Una vez modelados en el software SimaPro [9] cada uno de los subprocesos descritos anteriormente, se pasa a realizar la evaluación del impacto siguiendo las indicaciones de la norma UNE-EN ISO 14040-44 [5, 6].

Se han obtenido indicadores ambientales para las categorías de impacto que se muestran en la Tabla 1. Las primeras seis categorías de impacto corresponden a las propuestas por el método CML [10]. Se han considerado tres nuevas categorías de impacto (partículas PM10, fluoruros (HF) y ruido), que permiten cuantificar los aspectos característicos de la problemática ambiental del sector azulejero.

Categoría de impacto	Unidad	Total
Agotamiento de recursos naturales	kg Sb eq	7,78E-2
Efecto invernadero	kg CO2 eq	12,00
Destrucción de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	4,53E-07
Smog fotoquímico	kg C2H2	1,77E-3
Acidificación	kg SO2 eq	2,99E-2
Eutrofización	kg PO4 eq	2,41E-3
Partículas_PM10	Kg PM10	1,77E-3
Ruido	dBA	89,8
HF	Kg HF	8,43E-4

Tabla 1. Categorías de impacto y unidades consideradas. Indicador global.

La Tabla 1 muestra los indicadores absolutos para cada una de las categorías de impacto. Gráficamente, la Figuras 2 muestra la contribución de cada proceso unitario en que se ha dividido el proceso de fabricación de la baldosa, a cada categoría de impacto.



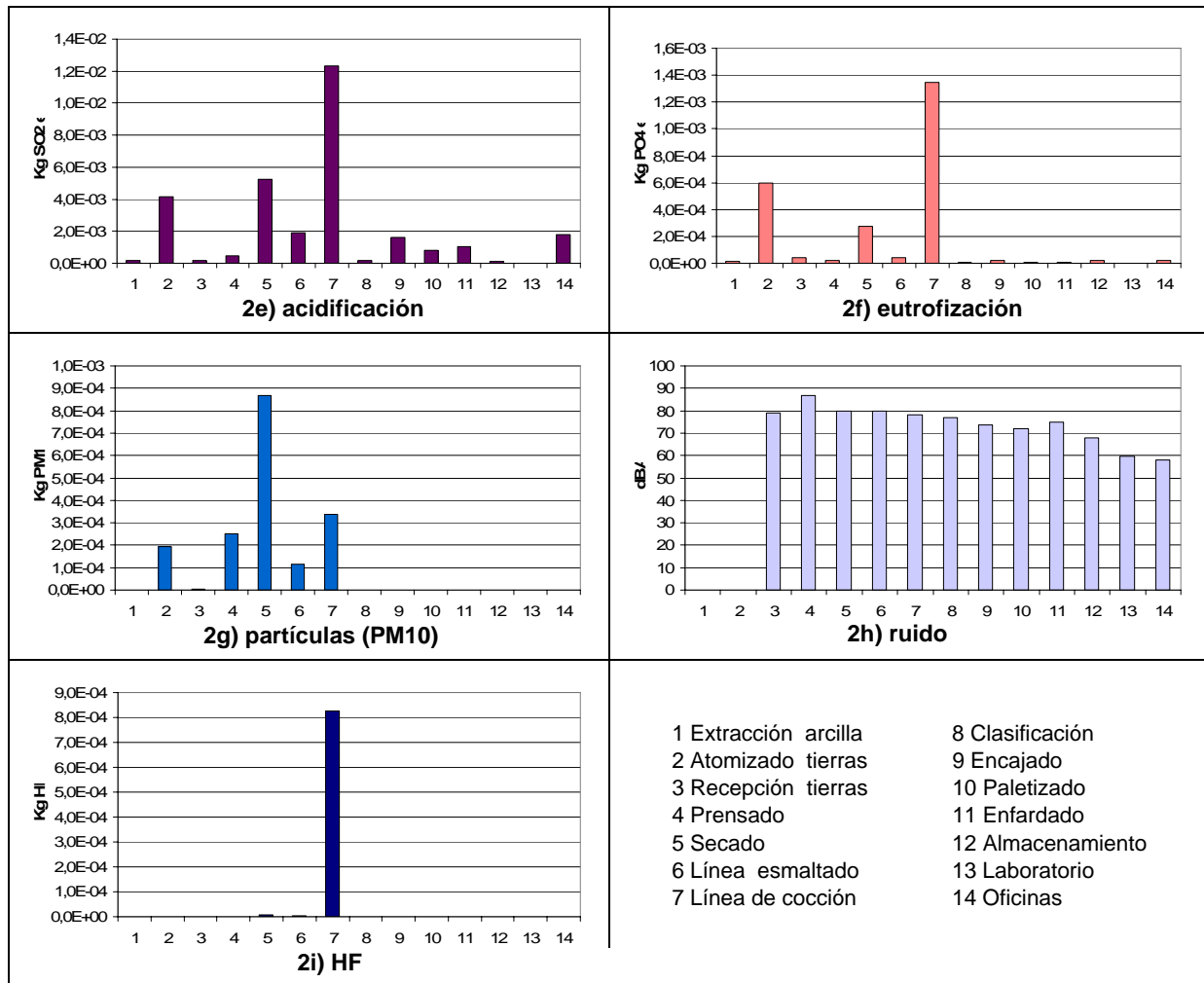


Figura 2. Contribución de cada proceso unitario a cada categoría de impacto.

3.4 Etapa IV: Interpretación de resultados

Las gráficas de la Figura 2 muestran claramente que el proceso unitario que contribuye mayoritariamente a todas las categorías de impacto, excepto partículas PM10 y ruido, es el proceso 7 que corresponde a la línea de cocción. Si se observan los valores del inventario, se puede comprobar que el proceso 7 es el que representa un mayor consumo de combustible por metro cuadrado de baldosa clasificada y vendida. Este hecho explica sus impactos asociados: en el caso de recursos porque implica un gasto de combustible fósil no renovable (el gas natural) y en el resto de categorías de impacto, debido a las emisiones producidas en su combustión.

En cuanto a las categorías de partículas PM10 y ruido, el proceso 5 de secado y el proceso 4 de prensado, respectivamente, son los procesos que contribuye mayoritariamente a dichas categorías de impacto.

Si se realiza un análisis más detallado de los resultados de cada categoría de impacto considerando las sustancias responsables de los impactos más destacados en cada una, se observa que:

- En la categoría de *agotamiento de recursos naturales* se presenta un perfil donde predominan los procesos 7, 2 y 5 (en este orden) por el consumo de combustible y electricidad principalmente.

- En la categoría de *efecto invernadero*, el CH₄ emitido en la combustión del gas natural es el responsable del perfil observado seguido de otros gases de efecto invernadero como el CO₂, N₂O y NO₂. El problema de la combustión del gas natural es cuando se produce una combustión incompleta, por lo que se genera el metano (CH₄), el cual contribuye 23 veces más a esta categoría de impacto que el CO₂. Estos gases de efecto invernadero son los responsables de la contribución del proceso 2 (Atomización de las tierras) y el proceso 5 (Secado). En el primer caso es debido a las emisiones provocadas en el proceso de atomizado, ya que aunque existe cogeneración en la planta se requiere de una cantidad de gas natural inicial para generar la combustión. En el segundo caso es debido a las emisiones ocasionadas por la combustión requerida para el secado de las piezas.
- En la categoría de *destrucción de la capa de ozono* se observa que el perfil de contribuciones se debe principalmente a las emisiones por la combustión del gas natural en los procesos 2, 5 y 7. También cabe destacar los procesos 1 de extracción de la arcilla y 3, recepción de tierras, por las emisiones generadas en la combustión del gasóleo en los vehículos. El proceso de esmaltado también destaca por el elevado uso de disolventes, aditivos y productos de mantenimiento y limpieza cuyas obtenciones emiten compuestos como CFC, halógenos y sus derivados.
- En cuanto a la categoría del *smog fotoquímico*, se observa el perfil característico predominado por los procesos 2, 5 y 7 debido a las emisiones de NO_x, SO_x, CO_x e hidrocarburos generados en la combustión del gas natural y a las emisiones durante la producción de la energía eléctrica de SO_x que utiliza la maquinaria.
- En cuanto a la *acidificación* se observa el patrón representativo, siendo los principales responsables: el dióxido de azufre (SO₂) y los óxidos de nitrógeno (NO_x). Dichas sustancias pueden reaccionar con el oxígeno atmosférico y disolverse en el agua de lluvia, produciendo "lluvia ácida". Las emisiones de NO_x y SO_x proceden de la combustión de combustibles fósiles generadas principalmente en los procesos 5 y 7.
- El patrón observado en la categoría de *eutrofización* se debe principalmente a las emisiones de NO_x por la combustión del gas natural utilizado en los procesos 2 y 7.
- En cuanto a la categoría de *partículas PM10*, el perfil que se observa está totalmente influenciado por el proceso 5 de secado seguido de los procesos 7 y 2. Esto es debido esencialmente a las partículas emitidas por la combustión del gas natural, así como las formadas por la condensación de vapores de alta temperatura. También cabe destacar el proceso 4 de prensado, debido a las partículas generadas por el procedimiento mecánico y el proceso de la línea de esmaltado por la aplicación de las capas de vidriado y serigrafiado que junto con la evaporación de los componentes que lo forman quedan suspendidos en el aire ambiente.
- En la categoría de *compuestos del flúor*, el HF emitido en la combustión del gas natural en el proceso 7 es el causante del perfil observado, por lo que es en los hornos principalmente donde se libera la forma gaseosa del flúor.
- En cuanto a la categoría de *ruido* se observa que el proceso 4 de prensado es el que más ruido produce seguido de la línea de esmaltado, proceso 6. En el primer caso predomina el ruido de motores, golpes metálicos, zumbidos de máquinas rotatorias, movimiento de cintas transportadoras, etc. Además el prensado se caracteriza por tener 4 máquinas prensadoras, lo que hace que el ruido de esta zona aumente con respecto al resto de procesos de producción de la baldosa. En el segundo caso destaca la zona de molturación y preparación de esmaltes y engobes, donde los bombos de molturación son los principales productores del ruido en dicho proceso.

4. Propuesta y evaluación de mejoras

4.1. Mejora en el proceso cocción (proceso 7)

Según se ha descrito anteriormente, el proceso de cocción es el proceso que presenta un peor comportamiento desde el punto de vista ambiental. Este proceso puede dividirse en dos subprocesos:

- presecado de la baldosa (previo a la cocción)
- cocción de la baldosa en los hornos.

Analizando en detalle la contribución al impacto en cada subproceso de sus principales entradas y salidas a cada categoría de impacto, se concluye que el consumo de combustible (gas natural) es la entrada que contribuye mayoritariamente a todas las categorías de impacto para los dos subprocesos, excepto en la categoría de destrucción de la capa de ozono, donde las emisiones de halógenos y derivados procedentes de la producción de la electricidad, son las principales responsables.

Por tanto, se propone una primera mejora encaminada a reducir el consumo de combustible y con ello, las emisiones que produce. Esta mejora tiene como objetivo recuperar el calor procedente de los gases de combustión que generan los hornos y reaprovecharlo para la alimentación de uno de los dos presecaderos que posee la instalación.

Sin embargo, según se detalla en la Figura 2i, durante el proceso de cocción se liberan además compuestos de flúor, principalmente los fluoruros de hidrógeno (HF), los cuales, debido a sus efectos perjudiciales sobre el medio ambiente, están limitados por la legislación a $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ por cada foco de emisión, es decir, por cada horno (chimenea).

Teniendo en cuenta estos dos aspectos, la Figura 3 muestra el esquema de la mejora propuesta en la línea de cocción, que integra:

- intercambiadores de calor gas-aire como sistema para la recuperación térmica, con el fin de aprovechar los gases de escape de los hornos para el presecado de la baldosa, previo a la cocción.
- filtro de mangas con adsorbedor. Este sistema consiste en inyectar un reactivo sólido (cal), para la retención de los contaminantes de los gases de escape del horno, en el conducto que lleva desde la chimenea de aspiración hasta el filtro de mangas. Este reactivo se pulveriza en la propia conducción mediante un sistema neumático. Es importante que se introduzca antes del filtro de mangas asegurando el tiempo de contacto necesario entre la fase gaseosa y la fase sólida.

Estos dos sistemas pueden integrarse en una única instalación, ya que el filtro de mangas requiere temperaturas relativamente bajas, por lo que colocando previamente el intercambiador, se consigue aprovechar el calor de los gases de escape para el presecadero y que la temperatura de los gases que llegan al filtro de mangas sea $\cong 130^\circ\text{C}$.

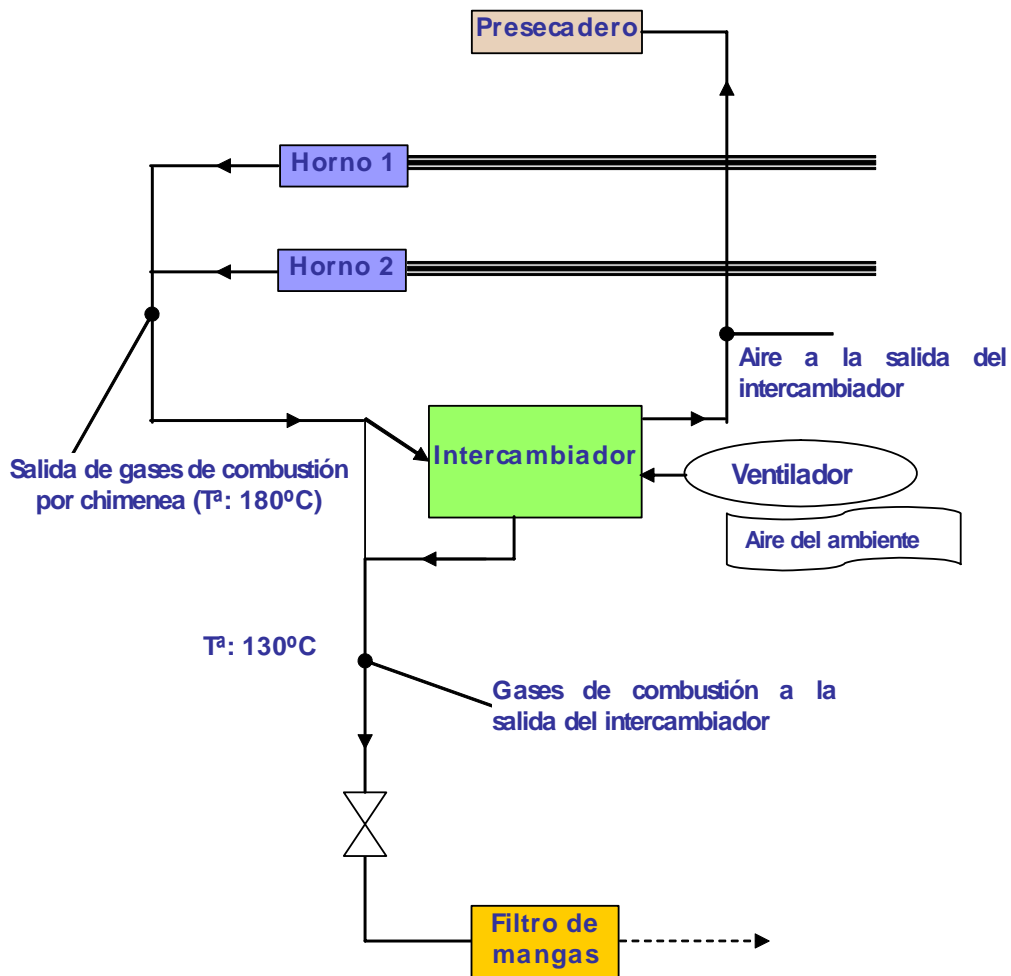


Figura 3. Esquema de la mejora en la línea de cocción.

La **viabilidad ambiental** de la mejora propuesta viene dada por la reducción de la contribución de cada proceso unitario a cada categoría de impacto. La Tabla 2 y Figura 4 muestran la mejora ambiental obtenida con la implantación del intercambiador y filtro de mangas con absorbedor.

Tabla 2. Indicadores ambientales con y sin mejora en la línea de cocción. Porcentaje de mejora.

	Unidades	Línea cocción sin mejora	Línea cocción con mejora	Porcentaje de la mejora (%)
Agotamiento recursos naturales	kg Sb eq	2,88E-2	2,65E-2	8,00
Efecto invernadero	kg CO2 eq	5,56	5,15	7,40
Reducción capa ozono	kg CFC-11 eq.	1,2398E-7	1,19E-7	4,00
Smog fotoquímico	kg C2H2	6,67E-4	5,98E-4	10,30
Acidificación	kg SO2 eq	1,23E-2	1,1E-2	10,60
Eutrofización	kg PO4 eq	1,34E-3	1,16E-3	13,40
Partículas_PM10	Kg PM10	3,37E-4	1,8E-4	46,60
Ruido	dBA	78,3	78,3	0
HF	Kg HF	8,24E-4	5,62E-5	93,20

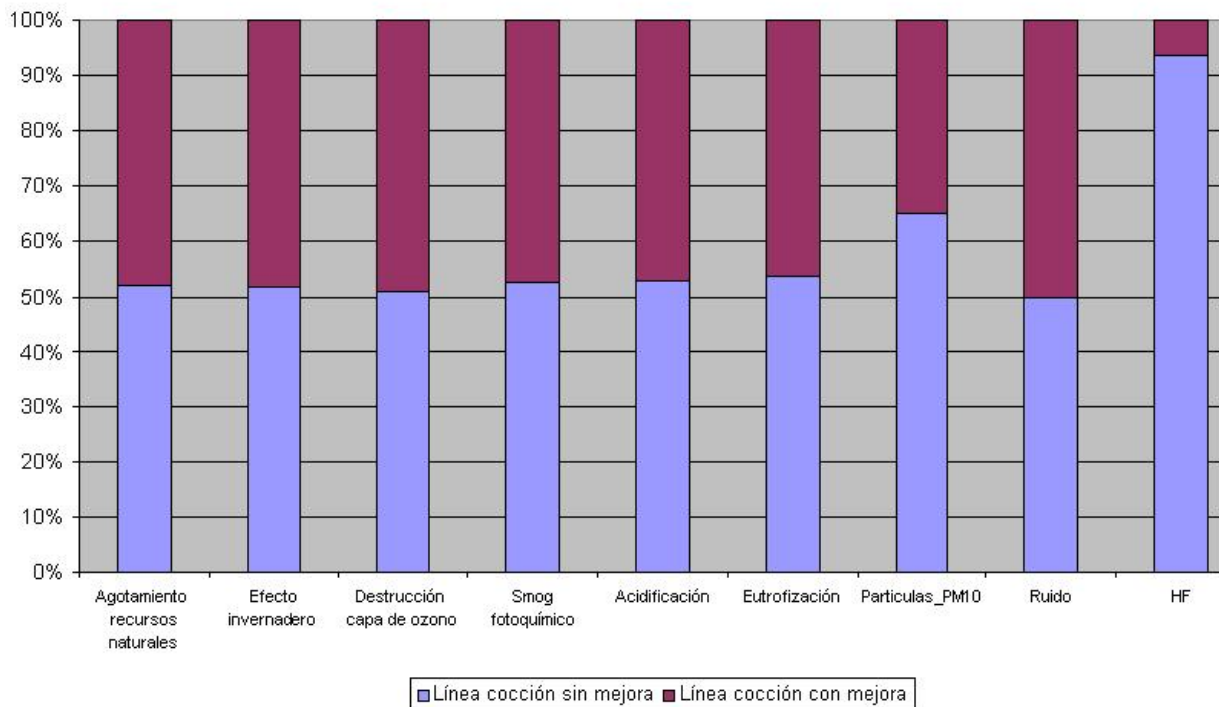


Figura 4. Mejora ambiental.

La **viabilidad económica** de esta mejora viene dada por el beneficio que se obtiene del ahorro de combustible. Los indicadores se muestran en la Tabla 3.

Inversión mejora conjunta	291800 €
Vida media mejora conjunta	20 años
Beneficio anual	95356 €
Pay-back	< 3 años
Δ coste m ²	0.45 c€/m ²

Tabla 3. Indicadores económicos para la mejora en la línea de cocción.

4.2. Mejora en la línea de prensado (proceso 4)

La mejora en la línea de prensado está encaminada a mejorar el indicador ambiental relacionado con el ruido. El nivel de exposición diario equivalente se encuentra cercano a los 90 dBA. Según muestra la Figura 2h, el proceso 4 es el proceso más crítico para esta categoría de impacto, cuyo nivel se encuentra cercano al límite marcado por el RD 286/2006 [11].

La solución adoptada para reducir el nivel de ruido de la línea de prensado es el encerramiento de las prensas con material de absorción, mediante paneles modulares fonoaislantes, según muestra el esquema de la Figura 5.

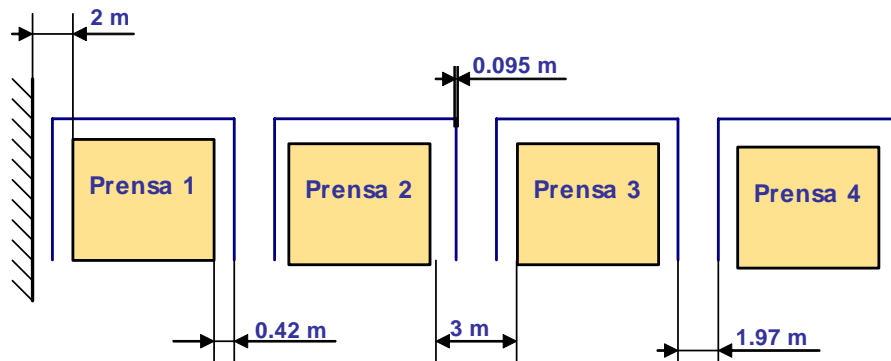


Figura 5. Esquema mejora en la línea de prensado.

La **viabilidad ambiental** de la mejora en la línea de prensado viene dada por la reducción del nivel en el proceso de prensado, que provoca la reducción del nivel de exposición diario equivalente a 86.7 dBA, por lo que queda por debajo del límite de exposición exigido por el RD 286/2006 [11].

Esta mejora supone una inversión de 10772 € y se prevé una vida útil de 20 años. Esta mejora no implica un aumento de beneficios para la empresa, aunque su repercusión en el coste de producción del m² de baldosa es inferior a 0.02 c€. Sin embargo, esta mejora implica un aumento del bienestar del trabajador y mejora el grado de cumplimiento de la legislación.

5. Conclusiones

La metodología ACV se ha utilizado en este estudio como herramienta para identificar los aspectos críticos, desde el punto de vista ambiental, durante la producción de la baldosa cerámica. El proceso de cocción se ha identificado como el proceso más crítico en todas las categorías de impacto excepto en la de ruido, para la que el proceso de prensado es el más crítico.

Se ha propuesto una mejora en el proceso de cocción formada por un intercambiador de calor gas-aire encaminada a realizar un aprovechamiento de los gases de escape de los hornos para el presecado de la baldosa, combinado con un filtro de mangas con absorbedor, que permite reducir de forma significativa las emisiones de HF. En la línea de prensado, se ha propuesto el diseño de unos paneles modulares fonoaislantes.

La Tabla 4 muestra los valores absolutos y el porcentaje de mejora que se obtiene al considerar estas mejoras durante la producción de la baldosa cerámica.

Tabla 4. Indicadores ambientales con y sin mejora en la línea de cocción y prensado. % mejora.

Categoría de impacto	Unidad	Indicador Inicial	Indicador con mejoras	Porcentaje global de las mejoras %
Agotamiento recursos naturales	kg Sb eq	7,78E-2	7,55E-02	3,0
Efecto invernadero	kg CO2 eq	12,00	1,16E+01	3,4
Reducción capa de ozono	kg CFC-11 eq	4,53E-07	4,48E-07	1,1
Smog fotoquímico	kg C2H2	1,77E-3	1,70E-03	3,9
Acidificación	kg SO2 eq	2,99E-2	2,86E-02	4,3
Eutrofización	kg PO4 eq	2,41E-3	2,23E-03	7,5
Particulas_PM10	Kg PM10	1,77E-3	1,61E-03	8,9
Ruido	dBA	89,8	86,7	3,3
HF	Kg HF	8,43E-4	7,52E-05	91,1

Referencias

- [1] ASCER, “*Los sectores español y mundial de fabricantes de baldosas cerámicas*”, 2003.
- [2] Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
- [3] COM 68 final, “*Libro verde sobre la política de productos integrada*”, 2001.
- [4] Directiva 89/106/CE de productos de construcción, transpuesta por el Real Decreto 1630/1992 de 29 de diciembre, por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE, modificado por el Real Decreto 1329/1995 de 28 de julio, en aplicación de la Directiva 93/68/CEE las disposiciones para la libre circulación de productos de construcción.
- [5] UNE-EN ISO 14040, “*Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia*”, 2006.
- [6] UNE-EN ISO 14044, “*Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices*”, 2006.
- [7] Bovea M.D., Saura U., Ferrero J.L., Giner J., “Cradle-to-gate study of red clay for use in the ceramic industry”, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 12 (6), 2007, pp. 439-447.
- [8] Bovea M.D., Díaz-Albo E., Gallardo A., Carlos M., Colomer F., “Inventario del ciclo de vida de materiales/procesos característicos del sector cerámico”, *Proceedings of the 12th International Congress on Project Engineering*, 2008.
- [9] “*SimaPro 7.1.5 Software*”, Pre Consultants, The Netherlands, 2008.
- [10] Guinee J. Handbook on Life Cycle Assessment. An Operational Guide to the ISO Standards. Part 2b: Operational Annex (Final report). 2001.
- [11] Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. BOE núm. 60 de 11 de marzo.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación de la Generalitat Valenciana al proyecto **GV/2007/094**. Los autores desean agradecer a la empresa AZULEJOS SANCHÍS el apoyo prestado durante la realización del proyecto.

Correspondencia (Para más información contacte con):

María Dolores Bovea Edo.
Área de Proyectos de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción.
Universitat Jaume I de Castellón. Av. Sos Baynat s/n. E-12071 Castellón. España.
Tel.: 964728112.
Fax: 964728106.
E-mail: bovea@emc.uji.es.
URL: <http://www.ingres.uji.es>