



## **La simbiosis industrial en el sector de fabricación de baldosas cerámicas. Estado actual y posibles nuevas sinergias**

***E. Bou, M. Vicent, S. Gomar, I. Celades***

### **Resumen**

Para garantizar un crecimiento sostenible tenemos que utilizar nuestros recursos de una manera más inteligente y sostenible. Es por ello que la tendencia es ir hacia una “economía circular”, donde, el valor de los productos y materiales se mantiene durante el mayor tiempo posible; los residuos y el uso de recursos se reducen al mínimo, y los recursos se conservan dentro de la economía cuando un producto ha llegado al final de su vida útil, con el fin de volverlos a utilizar repetidamente y seguir creando valor.

Los procesos de producción pueden adaptarse a esta economía circular mediante la implementación de la simbiosis industrial, que no es más que compartir recursos entre empresas de modo sostenible. En España existen procesos de simbiosis industrial que se han generado de forma espontánea, respondiendo a necesidades concretas, no existiendo iniciativas que fomenten la implementación de los procesos de simbiosis industrial.

En esta comunicación se presenta un análisis del sector cerámico de fabricación de baldosas de la zona de Castellón en lo que respecta a la implementación de la simbiosis industrial, el cual se ha realizado dentro del marco del proyecto SHAREBOX “Secure Management Platform for Shared Process Resources”.

Se ha podido constatar que los procesos de simbiosis industrial existentes en este sector son debidos a diferentes factores, en algunos casos a la relación comercial entre los diferentes actores y, sobre todo, a que son económicamente viables. Se ha puesto de manifiesto la necesidad de herramientas que favorezcan la búsqueda de residuos susceptibles de ser utilizados por los diferentes agentes que forman parte del clúster cerámico de Castellón.

Por último, con vistas a fomentar la implementación de la simbiosis industrial, se ha procedido a realizar una compilación de los procesos que técnicamente son viables y que podrían conllevar el establecimiento de nuevas sinergias entre el sector cerámico y otros sectores.

### **Introducción**

Una de las iniciativas europeas para conseguir un desarrollo sostenible es la implementación de la denominada economía circular, que pretende optimizar la utilización de recursos y minimizar la generación de residuos.



*Nuestro planeta y nuestra economía no podrán sobrevivir si mantenemos el enfoque del “toma, fabrica, utiliza y tira”*  
[Frans Timmermans][1].

La implementación de la simbiosis industrial en los procesos productivos es una herramienta más para alcanzar la Economía Circular dado que permite aumentar la eficiencia de los recursos.

El concepto de simbiosis industrial fue definido por Chertow en el año 2000 y ampliado por Lombardi et al. [2]. La simbiosis industrial involucra a diferentes organizaciones en una red para fomentar la eco-innovación y el cambio cultural a largo término. Crear y compartir conocimiento a través de la red proporciona transacciones rentables para todas las partes para generar nuevas fuentes de materias primas, nuevas rutas de valor añadido para las salidas (“outputs”) no comercializables y la mejora de los procesos técnicos y vías de negocios.

El primer ejemplo y más conocido en el establecimiento de redes simbióticas se encuentra en el municipio de Kalundborg (Dinamarca) [3]. En este caso la simbiosis comenzó debido a la poca disponibilidad de agua subterránea y a la necesidad de una fuente de agua superficial que, una vez identificada, llegó a ser una parte clave de la red de intercambio de recursos. Los primeros intercambios comenzaron en los años 1970 y, a finales de los 80, se habían comenzado ya al menos 10 intercambios adicionales a través de múltiples empresas. Fueron unos estudiantes de instituto en 1989 los que hicieron un modelo a escala de todas las conexiones, poniendo de manifiesto la existencia de ecosistemas industriales establecidos de forma natural. La simbiosis en Kalundborg surgió de la propia organización iniciada en el sector privado para alcanzar ciertos objetivos como la reducción de costes, aumento de los ingresos, expansión del negocio y seguridad a largo término.

Durante los últimos años se han favorecido los procesos de simbiosis industrial a través del desarrollo de herramientas que permiten analizar y fomentar las interrelaciones entre los sistemas industriales [4], como son: Análisis de Ciclo de Vida (ACV), Análisis de Flujo de Materia (AFM), diagramas de flujos de procesos, mercado de subproductos, metabolismo industrial y análisis económico ambiental.

En algunos países como el Reino Unido existen programas a nivel nacional que fomentan la conexión entre industrias y la creación de oportunidades, como es el NISP “National Industrial Symbiosis Programme”.

En España han existido iniciativas a nivel regional de desarrollo de proyectos de simbiosis industrial. Ruiz et al [5] en un estudio realizado en Cantabria pone de manifiesto la necesidad de uso de herramientas para el procesado de la información. El País Vasco es uno de los que más ha potenciado la iniciativa, fomentando proyectos de demostración en la reutilización de materiales [6]. En Manresa (Cataluña) se inició, en el pasado año 2015, un proyecto de implementación de la simbiosis industrial en una zona industrial (“Manresa en simbiosis” [7]).

El presente trabajo se ha realizado en el contexto del proyecto SHAREBOX [8], el cual pretende desarrollar una herramienta para la gestión flexible de los recursos compartidos entre empresas, así como la identificación de nuevas sinergias. Dentro del marco de este proyecto se han llevado a cabo una serie de tareas destinadas a identificar las sinergias



existentes en el sector de fabricación de baldosas cerámicas del área de Castellón, presentándose a continuación los resultados obtenidos.

Finalmente, se ha llevado a cabo una recopilación de información sobre los procesos de simbiosis industrial que podrían generarse entre el sector de fabricación de baldosas cerámicas y otros sectores productivos, con el objetivo de dinamizar a la industria en esta temática.

## La simbiosis industrial en el sector de fabricación de baldosas cerámica del área de Castellón

El sector de fabricación de baldosas cerámicas está compuesto por los fabricantes de baldosas propiamente dichos, los fabricantes de fritas y esmaltes cerámicos, los suministradores de materias primas y los fabricantes de maquinaria cerámica. La fabricación española de baldosas cerámicas se concentra en la provincia de Castellón, donde se localizan unas 200 empresas (126 fabricantes de baldosas cerámicas, 24 fabricantes de fritas y esmaltes cerámicos, 42 empresas fabricantes de maquinaria y 8 suministradoras de materias primas), siendo la mayoría de ellas pequeñas y medianas empresas. En el siguiente mapa (figura 1) se indican los puntos donde se localizan dichas empresas.

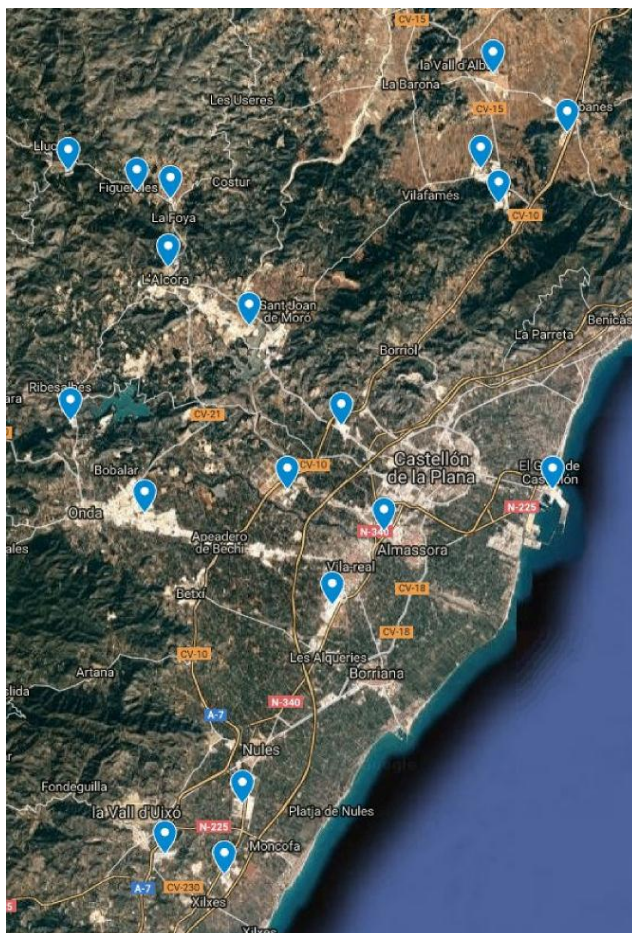


Figura 1. Zonas donde se concentran las empresas del sector cerámico en la provincia de Castellón.



Con el objeto de determinar los procesos de simbiosis industrial que se llevan a cabo, se procedió a la realización de entrevistas a diferentes actores del sector cerámico, habiéndose identificado varias sinergias entre distintos tipos de empresas. Las sinergias detectadas se presentan de forma esquemática en la figura 2.

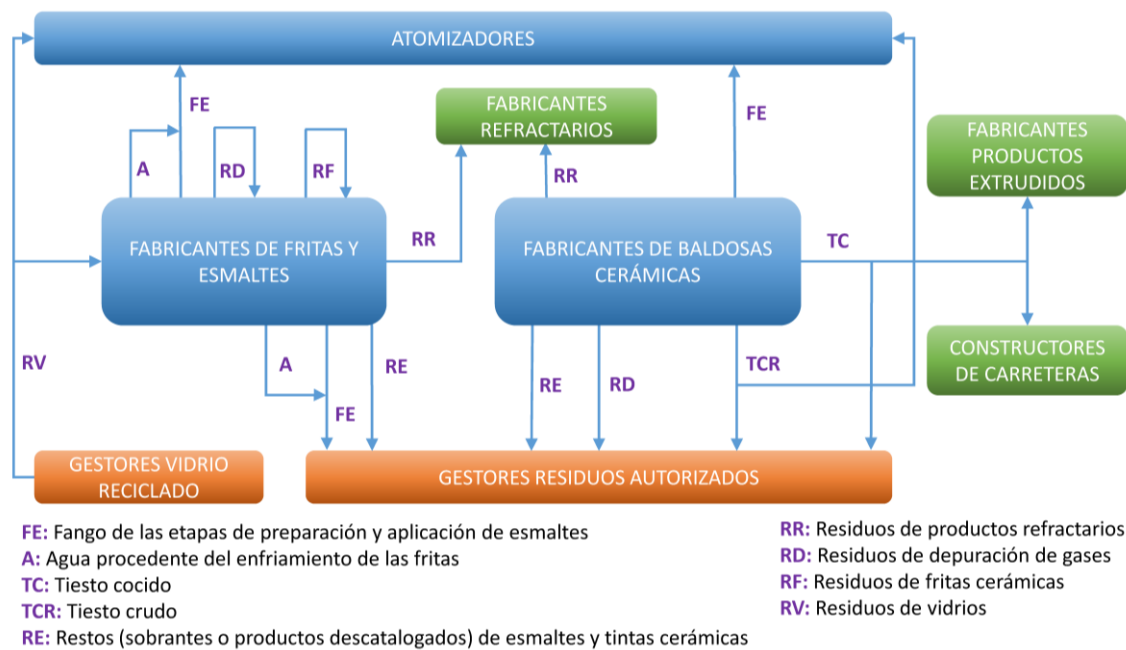


Figura 2. Procesos de simbiosis industrial detectados en el sector cerámico

Uno de los procesos de simbiosis industrial más extendido y conocido entre las empresas del sector es la reutilización de fangos procedentes del proceso de esmaltado (FE) en la preparación de los soportes cerámicos. La viabilidad técnica se puso ya de manifiesto en los años 90, existiendo gran variedad de estudios sobre esta temática [9][10][11][12][13]. En la actualidad la práctica totalidad de este tipo de residuos se recupera en la fabricación de soportes cerámicos, evitando una serie de impactos ambientales significativos, entre los que se encuentra la eliminación de la necesidad de vertido de aguas residuales a cauce. Esta simbiosis se realiza gracias a la elaboración de acuerdos puntuales entre empresas y conlleva un ahorro de coste importante. Los atomizadores (fabricantes del polvo atomizado para la preparación de los soportes cerámicos) reciben los fangos de esmaltes de los fabricantes de baldosas cerámicas que son sus clientes, así como los tiestos crudos (TCR) (soporte crudo roto). No todos los tiestos crudos pueden ser incorporados por los atomizadores debido a su distinta naturaleza, siendo algunos tratados como residuos [14][15]. Los fabricantes de fritas y esmaltes cerámicos, en algunos casos, disponen de acuerdos con los atomizadores pudiendo enviar los fangos de esmaltes junto con las aguas de enfriamiento de las fritas. En los casos en los que no existen dichos acuerdos éstos son gestionados como residuos.

Otro de los procesos de simbiosis industrial que se lleva a cabo entre el sector cerámico y otros sectores es el uso de vidrio reciclado (RV) para la fabricación de fritas, engobes y esmaltes cerámicos y, en algunos casos, también se utiliza para la fabricación de



soportes cerámicos. La viabilidad técnica del uso de vidrio reciclado en el sector cerámico se puso de manifiesto ya a finales de los años 90 [16], habiendo sido un tema muy estudiado por diferentes autores [17][18][19][20][21][22][23][24] y de actualidad [25][26]. En un principio, aunque se había puesto de manifiesto la viabilidad técnica, el uso del vidrio reciclado no era viable económicamente, además no se garantizaba un suministro constante en el tiempo y de calidad. En la actualidad, la aparición de los gestores de vidrio reciclado ha permitido su implantación dado que han solventado los problemas existentes y se vende a un precio competitivo a las empresas. Sobre esta temática existen dos proyectos de implementación en el sector de baldosas y cerámica estructural: ECOVITRUM (Transformando residuos en recursos [27]) y LIFE Clay Glass (Adaptación al cambio climático de la industria cerámica estructural mediante el uso de vidrio reciclado como fundente [28]).

Otro proceso de simbiosis industrial detectado es la utilización del tiesto cocido (TC) (baldosas cerámicas acabadas no comercializables) como árido para carreteras [29] aunque gran parte de este residuo es enviado a gestores. En algunos casos, cuando el tiesto es generado cerca de fabricantes de producto extrudido éste puede utilizarse en la fabricación de este tipo de productos. Debido a que los fabricantes de producto extrudido son relativamente escasos en la zona de Castellón, este proceso no se implementa en mayor medida.

Por último, otro proceso de simbiosis de menor envergadura, debido a la menor cantidad de residuos generados, es el uso de los residuos de los refractarios por los propios fabricantes de refractarios, en este caso existe una relación comercial entre ambas empresas, que facilita el proceso de simbiosis.

Los fabricantes de fritas han modificado su proceso con vistas a recuperar los residuos procedentes de la depuración de gases de los hornos [30] (RD) y los residuos de fritas (RF), generados durante el proceso de fabricación, que no pueden comercializarse. En el caso de los fabricantes de baldosas cerámicas los residuos procedentes de la depuración de los gases (RD) de los hornos van a vertedero [31].

Tanto los fabricantes de fritas como los de baldosas cerámicas, aunque estos últimos en mayor medida, generan residuos de productos descatalogados o que no vuelven a producirse, estos residuos son principalmente de esmaltes y tintas cerámicas (RE), y son enviados a gestores de residuos autorizados para su vertido.

Existen otros materiales residuales como cartón, plástico, aceites usados, etc. que por ser generales de todas las industrias, no se han considerado en este apartado.



Figura 3. Fotografías de los residuos de una industria de fabricación de baldosas cerámicas. Izquierda: Residuos de refractarios. Arriba: Residuos de tiestos cocidos. Abajo: Residuos de plástico y madera.

### Establecimiento de nuevas sinergias con otros sectores

Con el objeto de establecer posibles simbiosis industriales futuras, se ha procedido a recoger ideas de las empresas, a través de las encuestas realizadas dentro del marco del proyecto SHAREBOX, y a hacer una recopilación bibliográfica sobre las posibilidades de simbiosis con otras empresas.

Las sinergias encontradas se han clasificado siguiendo del criterio de Ruiz et al [5], los cuales clasificaron las sinergias entre empresas en tres tipos:

- Sinergias de **mutualidad**: Estas oportunidades consisten en el uso/la utilización compartida de servicios comunes, instalaciones o infraestructuras por las empresas.
- Sinergias de **sustitución**: Estas oportunidades implican que los flujos residuales de una empresa se conviertan en flujo de entrada en otra.



- Sinergias de **génesis**: Estas oportunidades están relacionadas con la creación de una nueva actividad para satisfacer la necesidad reutilización de cualquier flujo o empresa.

#### Sinergias de mutualidad

Entre ella se han encontrado principalmente temas de logística y servicios. Las empresas estarían dispuestas a compartir terreno, transporte, recogida selectiva de residuos (sobre todo cartón y plástico). Uno de los problemas para la implementación de estas sinergias es la gestión administrativa en el escenario actual, especialmente si existen más de dos empresas involucradas, como podría ser el establecimiento de una fecha común para la recogida selectiva de residuos (cartón, plástico, aceites usados, etc..) en un polígono industrial, dado que la frecuencia con la que se generan los residuos depende del tipo de actividad industrial.

#### Sinergias de sustitución

En este caso se puede distinguir entre el uso de residuos de otras industrias en la fabricación de baldosas cerámicas y el uso de residuos del sector cerámico en otras industrias.

Existe gran cantidad de bibliografía sobre la viabilidad técnica de sustitución de materias primas empleadas en la fabricación de baldosas cerámicas, entre ellas cabe destacar:

- Uso de *los residuos de la explotación del mármol y granito* en la fabricación de soportes y esmaltes cerámicos. Aunque técnicamente se considera viable [33][33][34][35], se debería realizar una clasificación de los residuos en el lugar de generación (plantas de corte de la piedra), secado de dicho residuo y transporte hasta la planta de fabricación, lo cual encarece mucho el residuo, compitiendo en algunos casos con un material como es el carbonato cálcico de coste muy bajo.
- Utilización de cenizas de diferentes procesos (central eléctrica de carbón, incineradoras de residuos urbanos, cáscara de arroz, cenizas de huesos de pescado) como fuente de sílice para la fabricación de soportes y fritas cerámicas [36][37][38][39][40][41][42][43][45]. En la mayoría de los casos se considera inviable debido a la variación de composición y a la lejanía del lugar de origen de las cenizas.
- Uso de los subproductos del proceso de fundición de metales en la fabricación de baldosas cerámicas. Las investigaciones previas realizadas han llevado a varias empresas y centros de investigación a la realización del proyecto FOUNDRYTILE [46], el cual tiene como objetivo demostrar la viabilidad de valorización de las arenas y polvos de fundición en la fabricación de baldosas cerámicas [47].
- Producción de pigmentos mediante el uso de residuos. En este caso también se han realizado muchos estudios sobre el uso de diferentes tipos de materiales para substituir, mayoritariamente, los elementos cromóforos. Debido a que las materias primas que aportan estos elementos cromóforos presentan un precio muy elevado, se puede considerar que existe un mayor potencial de sustitución en ese caso. En la bibliografía se han encontrado estudios sobre el uso de los siguientes residuos como materia primas para pigmentos cerámicos: lodos de galvanizado



[48][49][50][51][52][53][54][55], lodos del proceso de curtido del cuero [56][57][58][59], polvo de la fabricación de acero inoxidable [60] y cenizas volantes [61].

Con respecto al uso de residuos del sector cerámico en otros sectores, además de los que se dan actualmente, se ha encontrado bibliografía sobre la utilización de residuos de baldosas cerámicas en la fabricación de productos de hormigón para la construcción [62][63][64][65].

En la realización del proyecto CRM Cerámica [66] se detectó la posibilidad de utilizar los residuos procedentes de la depuración de las emisiones ácidas de los hornos de fabricación de baldosas cerámicas en otros sectores. Dicho residuo está compuesto mayoritariamente por fluoruro cálcico, por lo que podría utilizarse en el sector metalúrgico, aunque debería eliminarse el contenido en azufre, es decir, debería ser tratado previamente a su uso [67].

### Sinergias de génesis

El análisis de toda la información disponible ha permitido establecer las posibles sinergias de génesis futuras, entre ellas cabe destacar:

- Creación de empresas de tratamiento de residuos de uso específico para la industria cerámica, que garantizaran constancia en el suministro y en composición.
- Creación de empresas específicas para la elaboración de productos cerámicos cuyas materias primas principales sean residuos de la propia industria o de otras industrias. La realización del proyecto LIFECERAM [68], ha puesto de manifiesto que es posible obtener baldosas para pavimentación urbana empleando únicamente residuos de la industria cerámica [69]. Para la implementación industrial de este proyecto deberían constituirse empresas específicas para la elaboración de este producto. Lo mismo ocurre con los resultados obtenidos a partir de cenizas volantes de centrales térmicas. Técnicamente se puso de manifiesto que es posible producir baldosas cerámicas con muy buenas prestaciones técnicas utilizando un 92% de cenizas volantes [70]. Esta fabricación sería económicamente viable si la producción de baldosas se encontrara próxima al punto de generación de las cenizas volantes.
- Diseño de usos alternativos para las baldosas cerámicas descatalogadas que se encuentran en stock (alrededor del 5% de la producción anual de baldosas cerámicas), como por ejemplo en la fabricación de mobiliario urbano, que se puso de manifiesto en el proyecto "Reutilización y reciclado de productos obsoletos o deshechos de fabricación para la generación de nuevos productos-IMIDIC/2010/73". Otro ejemplo es su uso como pavimento drenante tal y como se está estudiando en el proyecto LIFE CERSUDS-Ceramic Sustainable Urban Drainage System.





## Conclusiones

Mediante el análisis del sector de fabricación de baldosas cerámicas en la provincia de Castellón se han establecido los procesos de simbiosis industrial actualmente existentes en este sector, tanto entre los componentes del mismo como entre otros sectores.

Asimismo, mediante la recopilación de información se han establecido posibles nuevas sinergias. El potencial existente es alto, sobre todo en sinergias de sustitución y de génesis, siendo las sinergias de mutualidad las que pueden llevarse a cabo de una forma más sencilla.

La herramienta a desarrollar en el marco del proyecto SHAREBOX permitirá establecer nuevas sinergias y la gestión flexible de las ya implementadas, mediante el uso de técnicas de minería de datos (“data mining”) y razonamiento lógico. Esta herramienta será testeada en el polígono industrial “La Mina” de Nules Castellón y en otros polígonos industriales del sector químico a nivel europeo (CCB-Chemie Cluster Bayern y NEPIC-North East of England Process Industry Cluster).

## Agradecimientos

Los resultados presentados en esta comunicación han sido realizados dentro del marco del proyecto **SHAREBOX-Developing a secure management platform for shared process resources**. Este proyecto de investigación recibe financiación del programa Marco Horizonte 2020 de la Comunidad Europea para la Investigación y la Innovación (2014-2020) conforme al acuerdo de subvención nº: **6808043**.



Horizon 2020  
European Union Funding  
for Research & Innovation

## Bibliografía

- [1]. [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-15-6203\\_es.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-15-6203_es.htm). Consulta: 6/10/2016.
- [2]. Lombardi, D.R.; Laybourn, P. Redefining Industrial Symbiosis. Crossing Academic-Practitioner Boundaries. *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), 28-37, 2012.
- [3]. Chertow, M.R. “Unvocering” Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), 43-54, 2007.
- [4]. Cervantes, G; Sosa, R.; Rodriguez, G.; Robles, F. Ecología industrial y desarrollo sostenible. *Ingeniería* 13-1, 63-70, 2009.
- [5]. Ruiz, M.C.; Diez, A.; Romero, E. Desarrollo de proyectos de simbiosis industrial en una región del norte de España- Valencia: *XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*, 11-13 Julio, 2012.



- [6]. Economía Circular en el País Vasco. Proyectos de demostración para la reutilización de materiales. Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental, 2014.
- [7]. <https://www.manresa.cat/web/article/5977-projecte-simbiosi-industrial>. Consulta: 11/10/2016.
- [8]. SHAREBOX-Developing a secure management platform for shared process resources. 6808043. <http://sharebox-project.eu/>
- [9]. Blasco, A.; Ginés, F.; Jarque, J.C.; Monfort, E. Adición de fangos reciclados a composiciones de pavimentos y revestimientos cerámicos (I). *Técnica Cerámica*, 195, 470-483, 1991.
- [10]. Ferrando, F.; Monfort, E.; Moreno, A.; Orta, J.C. Reciclado de aguas residuales en un proceso de fabricación de baldosas de gres moldeadas por extrusión. *Técnica Cerámica*, 224, 395-403, 1994.
- [11]. Enrique, J.E.; Monfort, E. Situación actual y perspectivas de futuro de los residuos de la industria azulejera. *Cerámica Información*, 221, 20-34, 1996.
- [12]. 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.
- [13]. Andreola, F.; Barbieri, L.; Lancellotti, I.; Manfredini, T. Piezas de gres porcelánico: efecto del reciclado de las aguas residuales sobre las propiedades reológicas, térmicas y estéticas. En: Qualicer 2004: VIII Congreso mundial de la calidad del azulejo y del pavimento cerámico. Castellón: Cámara oficial de Comercio, Industria y Navegación, 2004. Volumen III, 245-248, 2004.
- [14]. Monfort, E.; García-Ten, J.; Velasco, P.; Monzó, M.; Mestre, S.; Jarque, J.C. Reciclado de tiesto en composiciones de pavimento y revestimiento rojo (I). *Técnica Cerámica*, 292, 450-458, 2001.
- [15]. Monfort, E.; García-Ten, J.; Velasco, P.; Monzó, M.; Mestre, S.; Jarque, J.C. Reciclado de tiesto en composiciones de pavimento y revestimiento rojo (II). *Técnica Cerámica*, 293, 629-633, 2001.
- [16]. Caligaris, M.; Camelli, S. Use of recycled glass for ceramic bodies production. *Ind. céram. verr.*, 926, 338-341, 1997.
- [17]. Rambaldi, E.; Tucci, A.; Esposito, L. Glass recycling in porcelain stoneware tiles: firing behaviour. *CFI, Ceram. forum int.*, 81(3), 32-36, 2004.
- [18]. Chemani, H. Recycling streetlight and neon lamp waste in earthenware tile bodies. *Ind. céram. verr.*, 995, 60-65, 2004.



- [19]. Bakr, I.M. Effect of waste glass and zircon on ceramic properties and microstructure of porcelain tiles. *Adv. app. ceram.: struc. funct. bioceram.*, 104(5), 243-248, 2005.
- [20]. Lin, K.L. Use of thin film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) waste glass in the production of ceramic tiles. *Journal of hazardous materials*, 148(1-2), 91-97, 2007.
- [21]. Bernardo, E.; Esposito, L.; Rambaldi, E.; Tucci, A.; Hreglich, S. Recycle of waste glass into "Glass- Ceramic Stoneware". *J. Am. Ceram. Soc.*, 91(7), 2156-2162, 2008.
- [22]. Andreola, F.; Barbieri, L.; Corradi, A.; Ferrari, A.M.; Lancellotti, I.; Neri, P. Recycling of EOL CRT glass into ceramic glaze formulations and its environmental impact by LCA approach. *International journal of life cycle assessment* 12(6), 83-95, 2007.
- [23]. Furlani, E.; Tonello, G.; Maschio, S. Recycling of steel slag and glass cullet from energy saving lamps by fast firing production of ceramics. *Waste management* 30(8-9), 1714-1719, 2010.
- [24]. Trilles-Lázaro, V.R.; Allepuz, S. Reutilización de vidrio reciclado y residuos cerámicos en la obtención de gres porcelánico. *Eco-logik. Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.*, 50(2), XVII-XVIII, 2011.
- [25]. Nandi, V.S.; Raupp-Pereira, F.; Montedo, O.R.K.; Oliveira, A.P.N. The use of ceramic sludge and recycled glass to obtain engobes for manufacturing ceramic tiles. *Journal of Cleaner Production*, 86(1), 461-470, 2015.
- [26]. Andreola, F.; Barbieri, L.; Lancellotti, I.; Leonelli, C.; Manfredini, T. Recycling of industrial wastes in ceramic manufacturing: State of art and glass case studies. *Ceramics International*, 42, 13333-13338, 2016.
- [27]. ECOVITRUM-Transformando residuos en recursos LIFE08/ENV/E/000148. <http://www.ecovitrum.eu/>. Consulta: 18/10/16.
- [28]. LifeClayGlass-Adaptación al cambio climático de la industria cerámica estructural mediante el uso de vidrio reciclado como fundente. LIFE12 ENV/ES/000156 <http://www.lifeclayglass.es/>. Consulta: 18/10/16.
- [29]. Silvestre, R.; Medel, E.; García, A.; Navas, J. Using ceramic wastes from tile industry as a partial substitute of natural aggregates in hot mix asphalt binder courses. *Construction and Building Materials* 45, 115-122, 2013.
- [30]. Irún, M.; Gascón, V.; Vilanova, M.; Celades, I.; Monfort, E.; Vidal, J.; Saura, A. Estudio, diseño, implantación y rendimiento de sistemas de depuración de



- emisiones atmosféricas en el proceso de fabricación de fritas cerámicas. *Cerámica Información*, 310, 55-64, 2004.
- [31]. Monfort, E.; Celades, I.; Moliner, R.; Avila, P.; Rasmussen, S.B.; Costa, P.; Bono, J.V.; Gascón, F. Desarrollo de adsorbentes para la depuración de contaminantes gaseosos ácidos en lecho fijo. *Técnica Cerámica*, 401, 490-496, 2012.
- [32]. García-Ten, J.; Mallol, G.; Bou, E.; Silva, G.; Fernández, J.; Molina, A.; Romera, J. Recycling marble working wastes in manufacturing ceramic products. II Ceramic wall tile manufacture. *Cfi Ber. DKG*, 80(10), 30-32, 2003.
- [33]. García-Ten, J.; Mallol, G.; Bou, E.; Silva, G.; Fernández, J.; Molina, A.; Romera, J. Recycling marble working wastes in manufacturing ceramic products. Part I Waste characterization. *Cfi Ber. DKG*, 80(9), 84-90, 2003.
- [34]. Montero, M.A.; Jordán, M.M.; Almendro-Candel, M.B.; Sanfeliu, T.; Hernández-Crespo, M.S. The use of a calcium carbonate residue from the stone industry in manufacturing of ceramic tile bodies. *Appl. clay sci.*, 43(2), 186-189, 2009.
- [35]. Ferreira, J.M.F.; Torres, P.M.C.; Silva, M.S.; Labrincha, J.A. Recycling of granite sludges in brick-type and floor tiletype ceramic formulations. *Euroceram news*, 14, 1-4, 2001.
- [36]. Bondioli, F.; Barbieri, L.; Ferrari, A.M.; Manfredini, T. Characterization of Rice Husk Ash and Its Recycling as Quartz Substitute for the Production of Ceramic Glazes. *J. Am. Ceram. Soc.*, 93(1), 121-126, 2010.
- [37]. Barbeiro, G.; Buttol, P.; Masoni, P.; Scalbi, S.; Anderola, F.; Barbieri, L.; Lancelloti, I. Use of incinerator bottom ash for frit production. *Journal of industrial ecology*, 14(2), 200-216, 2010.
- [38]. Yoon, S.D.; Yun, Y.H. An advanced technique for recycling fly ash and waste glass. *J. mater. process. technol.*, 168(1), 56-61, 2005.
- [39]. Boccaccini, A.R.; Lancelloti, I.; Barbieri, L. Sintering: an alternative to fusion for the recycling of silicate wastes?. En: SCHAEFFER, H.A. and VARNER, J. A. (Eds.) *Advances in fusion and processing of glass*. Frankfurt: Verlag der Deutschen Glastechnischen Gesellschaft, 85-94, 2000.
- [40]. Monteiro, R.C.C.; Mota, C.S.; Lima, M.M.A.R. Recycling of fly coal ash by ceramic processing. En: *Use of recycled materials in building and structures*. 9-11 November Barcelona 2004 [Consulta: 2005-10-11].
- [41]. Lin, D.F.; Chang, W.C.; Yuan, C.; Luo, H.L. Production and characterization of glazed tiles containing incinerated sewage sludge. *Waste management*, 28(3), 502-508, 2008.



- [42]. Chandra, N.; Sharma, P.; Pashkov, G.L.; Voskrensenskaya, E.N.; Amritphale, S.S; Baghel, N.S. Coal fly ash utilization: Low temperature sintering of wall tiles. *Waste management*, 28(10), 1993-2002, 2008.
- [43]. Chakraborty, A.K.; Maiti, K.N.; Pahak, D.D. Effects of fly ash addition on thermomechanical properties of earthenware wall tile compositions. *Adv. app. ceram.: struc. funct. bioceram.*, 106(4), 196-201, 2007.
- [44]. Guzmán, A.; Gordillo, M.; Delvasto, S.; Quereda, M.F.; Sánchez, E. Optimization of the technological properties of porcelain tile bodies containing rice straw ash using the design of experiments methodology. *Ceramics International*, 42, 15383-15396, 2016.
- [45]. Awaad, M.; Naga, S.M.; El-Mehalawy N. Effect of replacing weathered feldspar for potash feldspar in the production of stoneware tiles containing fish bone ash *Ceramics International*, 41, 7816-7822, 2015.
- [46]. FOUNDRYTILE-Valorisation of the fine fraction and foundry sand in the production of ceramic tiles. LIFE14 ENV/ES/000252.
- [47]. [http://www.seimed.eu/vlx/assets/documents/uploaded/EVENTS/1082/public/2016\\_0204\\_FOUNDRY%20TILE\\_ITC\\_Francisca%20Quereda.pdf](http://www.seimed.eu/vlx/assets/documents/uploaded/EVENTS/1082/public/2016_0204_FOUNDRY%20TILE_ITC_Francisca%20Quereda.pdf) Consulta: 21/10/16.
- [48]. Milanez, K.W., Kuhnén, N.C., Riella, H.G., Kniess, C.T. Obtainment of ceramics pigments (Fe, Zn)Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> using waste of electroplating AS raw material. *Materials Science Forum*, 498-499, 654-657, 2005.
- [49]. Costa, G., Ribeiro, M.J., Trindade, T., Labrincha, J.A. Development of waste-based ceramic pigments. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 46(1), 7-13, 2007.
- [50]. Costa, G., Della, V.P., Ribeiro, M.J., Oliveira, A.P.N., Monrós, G., Labrincha, J.A. Synthesis of black ceramic pigments from secondary raw materials. *Dyes and Pigments*, 77(1), 137-144, 2008.
- [51]. Hajjaji, W., Seabra, M.P., Labrincha, J.A. Evaluation of metal-ions containing sludges in the preparation of black inorganic pigments. *Journal of Hazardous Materials*, 185(2-3), 619-625, 2011.
- [52]. Hajjaji, W., Zanelli, C., Seabra, M.P., Dondi, M., Labrincha, J.A. Cr-doped perovskite and rutile pigments derived from industrial by-products. *Chemical Engineering Journal*, 171(3), 1178-1184, 2011.
- [53]. Costa, G., Ribeiro, M.J., Labrincha, J.A., Dondi, M., Matteucci, F., Cruciani, G. Malayaite ceramic pigments prepared with galvanic sludge. *Dyes and Pigments*, 78(2), 157-164, 2008.



- [54]. Andreola, F.; Barbieri, L.; Bondioli, F.; Cannio, M.; Ferrari, A.M.; Lancellotti, I. Synthesis of chromium containing pigments from chromium galvanic sludges. *Journal of Hazardous Materials*, 156, 466-471, 2008.
- [55]. D. Esteves, W. Hajjaji, M.P. Seabra, J.A. Labrincha. Use of industrial wastes in the formulation of olivine green pigments. *Journal of the European Ceramic Society*, 30(15), 3079-3085, 2010.
- [56]. Zhongfu Li, Yi Dun, Zhongtao Chen, Dandan Sun, Chaofeng Zhu. Synthesis and characterization of cobalt doped green ceramic pigment from tannery sludge. *Ceramics International*, 41, 12693-12699, 2015.
- [57]. F.J. Berry, N. Costantini, L.E. Smart, Synthesis of chromium-containing pigments from chromium recovered from leather waste, *Waste Management*, 22, 761-772, 2002.
- [58]. R.I. Lazău, Cornelia Păcurariu, D. Becherescu, R. Ianoș. Ceramic pigments with chromium content from leather wastes. *Journal of the European Ceramic Society*, 27(2-3), 1899-1903, 2007.
- [59]. Suxin Zhang, Le Zhang, Zhenbang Pi, Chao Yang, and Xike Tian. Synthesis of Chromium-Doped Malayaite Pigments from Wastewater Containing Low Chromium(VI). *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 60, 1257-1261, 2010.
- [60]. Zhang, X.; Man, G.; Jin, Y.; Cheng, P. Preparation of ceramic tiles with black pigments using stainless steel plant dust as a raw material. *Ceramics International*, 40, 9693-9700, 2014.
- [61]. Caki, M.; Dogru, G. Utilization of thermal power plant's fly ashes in the pigment production. *Silic. Industriels*, 72(5-6), 79-82, 2007.
- [62]. Sánchez de Rojas, M.I.; Marín, F.P.; Frías, M.; Rivera, J. Viabilidad de utilización de materiales de desecho procedentes de productos cerámicos en prefabricados de hormigón. *Mater constr Madrid*, 51(263-264), 149-161, 2001.
- [63]. Marín, F.; Sánchez, M. I.; Rivera, J.; Frías, M. Valorización de cascote cerámico como sustituto de materias primas para tejas de hormigón. En: I Jornadas de Investigación en Construcción (Instituto de Ciencias de la Construcción "Eduardo Torroja", Madrid, 2-4 junio 2005): Actas de las Jornadas. T. I, 447-458.
- [64]. Elçi, H. Utilisation of crushed floor and wall tile wastes as aggregate in concrete production. *Journal of Cleaner Production*, 112(1), 742-752, 2016.
- [65]. Anderson, D.J.; Smith, S.T.; Au, F.T.K. Mechanical properties of concrete utilising waste ceramic as coarse aggregate. *Construction and Building Materials*, 117, 20-28, 2016.



- [66]. CRM Cerámica-Materias primas críticas en el sector cerámico. Establecimiento de alternativas y viabilidad de la recuperación de corrientes residuales. IMAMCA/2015/1.
- [67]. Bou, E.; Celades, I.; Gomar, S.; García-Ten, F.J. Análisis de la posibilidad de valorizar el residuo generado en la depuración de contaminantes ácidos emitidos en la industria cerámica. *Técnica Cerámica*, 431, 256-261, 2016.
- [68]. LIFECERAM-Zero waste in ceramic tile manufacture. LIFE12 ENV/ES/000230.
- [69]. [http://www.lifeceram.eu/media/12078/Laymans-report\\_Lifeceram.pdf](http://www.lifeceram.eu/media/12078/Laymans-report_Lifeceram.pdf). Consulta: 20/10/16.
- [70]. Bou, E.; Quereda, M.F.; Lever, D.; Boccaccini, A.; Cheeseman, Ch. Production of pulverised fuel ash tiles using conventional ceramic production processes. *Adv. Appl. Ceram.*, 108(1), 44-49, 2009.