

Figura 1. La Universitat Jaume I en el clúster cerámico de Castellón.

LAS BALDOSAS CERÁMICAS. ¿UN CAMPO ATRACTIVO EN LA INVESTIGACIÓN DEL SIGLO XXI?

El sector cerámico español especializado en baldosas cerámicas (pavimento y revestimiento) está concentrado geográficamente en la provincia de Castellón, en una zona delimitada al norte, por las localidades de L'Alcora y Borriol, al oeste, por Onda, al sur, por Nules y, al este, por Castellón de la Plana. Es en esta zona donde se genera aproximadamente el 94% de la producción nacional, gracias a la ubicación del 80% de las empresas del sector. En pleno clúster cerámico se localiza la Universitat Jaume I de Castellón, donde este año se celebra el 25 aniversario de su creación. (Figura 1).

E. Barrachina, D. Fraga, I. Calvet, J.B. Carda

GRUPO DE INVESTIGACIÓN QUÍMICA DEL ESTADO SÓLIDO. DEPARTAMENTO DE QUÍMICA INORGÁNICA Y ORGÁNICA. UNIVERSITAT JAUME I

Así, se estima que la industria española de productores de baldosas cerámicas da empleo directo a unos 14.300 trabajadores, a la vez que genera más de 5.000 empleos indirectos (datos de la patronal cerámica Ascer de 2013).

La evolución del sector durante los últimos años se refleja en la Figura 2, donde se aprecia una fuerte caída de producción y ventas en 2009, año crítico en el sector azulejero español. A partir de este año, el sector empieza a remontar sobre todo en las exportaciones, mientras que las ventas nacionales se van reduciendo paulatinamente hasta 557 MM € en 2013, debido a la paralización del sector de la construcción

en España. En cuanto a la producción, esta marca un mínimo en 2009 (324 Mm²), que se corresponde aproximadamente con la mitad del año 2006, alcanzándose los 420 Millones de m² en 2013, gracias a las ventas en el exterior. Según datos de Ascer, en 2014, las zonas geográficas más destacadas de la exportación española han sido Europa (39%), Asia (20%), Oriente Próximo (17%), África (15%) y América (9%).

Evolución tecnológica

Conviene destacar que, si bien los materiales cerámicos aparecen los primeros en la historia de la humanidad, muy por delante de los metales, el nivel de su desarrollo hasta los años 70 del siglo pasado es aún muy rudimentario. En consecuencia, se puede considerar que lo que hoy se conoce como cerámica estructural tiene su origen

desde hace apenas 40 años, por lo que, la cerámica representa un campo muy reciente de investigación y desarrollo.

Así, a finales del siglo XX, la estrategia del sector azulejero español consiste en cubrir los objetivos de demanda tecnológica, con el fin de fabricar productos de calidad técnica. En este punto, todavía no se ha agotado el modelo de la producción y comercialización indiferenciada. Existe una alta competitividad entre las empresas azulejeras por precio, lo que favorece la multilocalización industrial, orientada a la consecución de una nueva baldosa que siga dando beneficios. No obstante, los empresarios entienden que la tecnología actual no es un pasaporte hacia la eternidad y que mejorar el ciclo de vida de la baldosa cerámica con respecto a otros materiales y transitar hacia un modelo de empresa

EVOLUCIÓN DE LOS PREMIOS ALFA DE ORO

2011	2012	2013	2014	2015
Se presentan 8 empresas	Se presentan 14 empresas (maquinaria)	Se presentan 8 empresas	Se presentan 14 empresas (maquinaria)	Se presentan 8 empresas
1. Esmaltes: Esmaltes digitales. Tintas digitales. Gres porcelánico: a. Reciclado b. Vía seca c. Nuevas funcionalidades: bactericida, ahorro energético... 4. Otros (3).	1. Maquinaria cerámica: d. Equipos para sistemas digitales. e. Moldes cerámicos. f. Granulador cerámico vía seca. 2. Placas de gres extrusionado a partir de residuos para fachadas ventiladas. 3. Cerámicas tipo bambú para diseño arquitectónico. 4. Esmaltes: a. Aplicación de esmaltes con efectos mediante ink-jet. b. Esmaltes bactericidas. c. Tintas de inyección con diferentes efectos estéticos. d. Esmaltes con efectos iridiscentes. 5. Otros (5)	Laminados cerámicos 2. Control cromático en los procesos de decoración digital 3. Aditivos cerámicos ecológicos 4. Aditivos cerámicos para la decoración digital 5. Impresión digital 3D 6. Esmaltes: a. Efecto bactericida b. Esmaltes con efecto oro c. Esmaltes digitales 7. Otros (1)	1. Tintas ink-jet coloreadas en base agua. 2. Maquinaria: a. Sistemas de limpieza de cabezales ink-jet. b. Máquina de decoración digital en seco para grandes granulometrías. c. Medida de densidad aparente en las baldosas cerámicas. d. Sistemas de recuperación energética. 3. Cerámicas de baja densidad para techos. 4. Diseño cerámico. 5. Esmaltes: a. Esmaltes digitales en base agua b. Esmaltes digitales y tecnología láser c. Efectos metálicos con tintas ink-jet. 5. Otros (3)	1. Diseño cerámico. 2. Baldosas cerámicas con efecto apantallante de radiaciones. 3. Eficiencia energética. 4. Esmaltes: a. Esmaltes digitales con efecto lustre (2). b. Estructuras de relieves 3D con esmaltes digitales. c. Esmaltes digitales permeables con tecnología digital. 5. Otros (1)

Tabla I. Desarrollos realizados en las baldosas cerámicas a través de los premios ALFA DE ORO. (En los años pares se celebra conjuntamente la feria de maquinaria cerámica).

que ya no comercialice baldosas, sino soluciones constructivas adaptadas e idóneas al hábitat contemporáneo, es el camino a seguir para prosperar. De este modo, se produce una fuerte intensificación de los procesos de innovación, con mayor aporte de tecnologías ajenas (Sinergias transversales, transferencia tecnológica). La “joint venture” de la industria auxiliar (fritas y maquinarias) con el sector de baldosas tendrá nuevas manifestaciones con nuevos socios en las primeras décadas del siglo XXI. De este modo, se continúa potenciando el enriquecimiento técnico y formal de la baldosa cerámica, a la espera de la “tercera revolución industrial”.

Las baldosas cerámicas en el siglo XXI A principios del siglo XXI se comparte ya la tecnología de proceso por parte de todos los países productores, por lo que nos encontramos al comienzo de una nueva etapa marcada por el devenir de los denominados Nuevos Materiales, cuya investigación va a tener gran impacto en el futuro próximo de la sociedad actual.

La cerámica tradicional se ha beneficiado, directa e indirectamente, de los avances conseguidos en los grandes desarrollos y programas de investigación dirigidos a la búsqueda de nuevos materiales. Las claves están en:

- a. Incorporar nuevos procesos de fabricación.
- b. Optimizar la relación microestructura/ propiedades.
- c. Incorporar nuevas herramientas y nuevos conceptos al proceso de control de calidad de sus productos.
- d. Mejorar la competitividad de los materiales cerámicos tradicionales.

Evolución tecnológica de las baldosas cerámicas vista a través de los Premios Alfa de Oro en los últimos 5 años.

La I+D+i de la cerámica azulejera queda claramente reflejada a través de la evolución de los Premios Alfa de Oro que concede cada año, la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio durante la celebración de la feria-muestrario de CEVISAMA en Valencia, durante los últimos 5 años (2011-2015), como se observa en la Tabla I. Así, destacan los desarrollos llevados a cabo en esmaltes digitales con la tecnología ink-jet, el uso de materiales ecológicos y de residuos industriales para producir pastas y esmaltes, las cerámicas laminadas, cerámicas de baja densidad para techos y los nuevos esmaltes que aportan funcionalidades novedosas a la baldosa cerámica.

Del resumen de los trabajos presentados se puede observar que:

- 1. El número de empresas que se presentan a los premios Alfa de Oro es

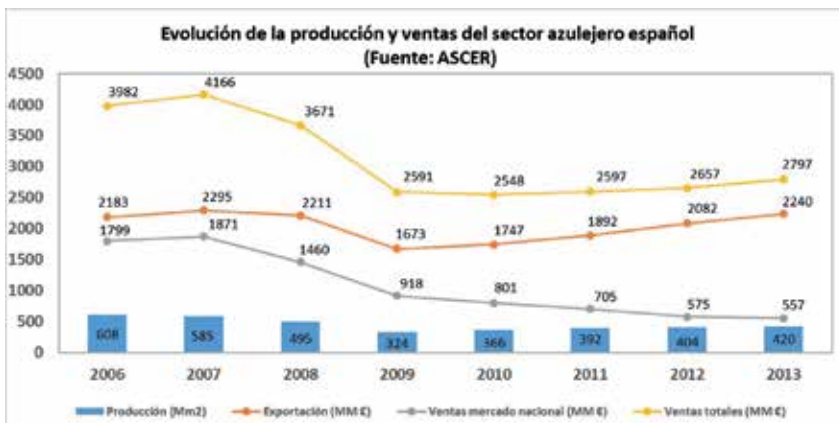


Figura 2. Datos productivos y económicos del sector de baldosas cerámicas (ASCER).

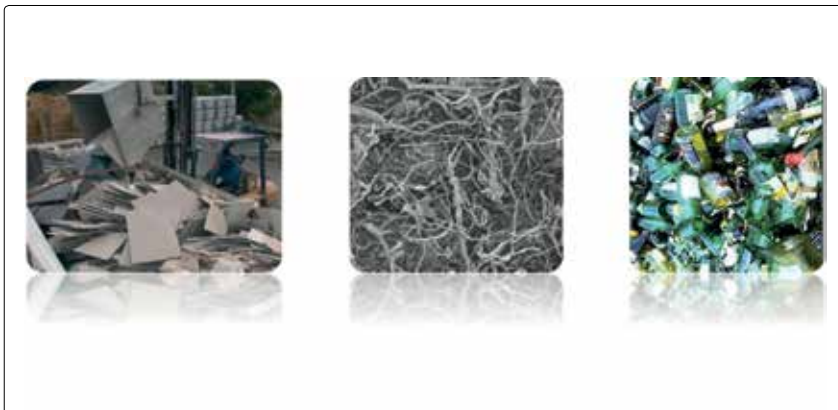


Figura 3. Muestras de residuos empleados para el desarrollo de soportes cerámicos más ecológicos, de izquierda a derecha: testillo, fibras de celulosa procedentes del papel reciclado y vidrios de botellas recicladas.

constante a lo largo de los últimos 5 años, siendo en los años pares mayor el número de empresas participantes por celebrarse en los mismos la feria de maquinaria cerámica.

2. Se observa una fuerte apuesta por los desarrollos de la tecnología de decoración digital, tanto en maquinaria como en productos, que se abre paso hacia nuevos campos como es, la aplicación de los denominados esmaltes digitales y tecnologías de decoración de grandes relieves, tecnologías 3D.
3. También destaca una apuesta fuerte por el desarrollo de nuevos esmaltes con funcionalidades nuevas o mejoradas (esmaltes bactericidas, con efecto apantallante, etc.), apostando por tipologías de esmaltes de naturaleza vitrocerámica (esmaltes con efectos metálicos, lustres, etc.).
4. En cuanto a nuevos productos, se destaca el lanzamiento de los llamados laminados cerámicos y también baldosas de baja densidad para revestir techos.
5. Se nota también una apuesta clara para la optimización y el ahorro energético y menor impacto ambiental en los pro-

ductos y en los procesos (procesos vía seca, baldosas ecológicas, eficiencia energética, etc.).

Retos científicos y tecnológicos alcanzados

Retos Científicos y Tecnológicos

La expansión del mercado cerámico español se ha basado en el diseño de materiales respetuosos con el medio ambiente, obtenidos a partir de materiales reciclados, en materiales que aportan nuevas propiedades y cuyas técnicas de diseño y decoración se centran en nuevas tecnologías y procesados, creando nuevas aplicaciones para la baldosa, a través de numerosas funcionalidades de gran interés para la sociedad.

Así, como un claro reflejo de la I+D+i de la industria azulejera, el grupo de investigación de Química del Estado Sólido del Departamento de Química Inorgánica y Orgánica de la Universitat Jaume I de Castellón, ha desarrollado las siguientes líneas de investigación:

En el campo de las baldosas cerámicas

1. Baldosas Ecológicas: se han estudiado y desarrollado baldosas cerámicas en base a la introducción de residuos

industriales del propio sector (testillo crudo y cocido, residuos de fritas y esmaltes), así como de otros sectores como del vidrio reciclado y de fibras de celulosa, junto con las materias primas convencionales (arcillas, feldespatos, caolines y fritas). Esto supone una importante reducción económica en materias primas, además, de potenciar la sostenibilidad medioambiental de este sector (Figura 3).

2. Baldosas térmicas: se trata de baldosas cerámicas capaces de generar calor mediante esmaltes conductores, a través del efecto Joule. De este modo, se consigue dotar de calidez a la cerámica, que de por sí, es fría (Figura 4).
3. Baldosas fosforescentes: consisten en baldosas que presentan pigmentos fosforescentes capaces de emitir luz en la oscuridad, como son los pigmentos formados por óxidos mixtos de aluminio y estroncio, dopados con europio y disprosio (Figura 5).
4. Baldosas cerámicas con efecto fotocatalítico: se trata de baldosas que están esmaltadas con esmaltes basados en TiO_2 , que junto con la radiación solar y la humedad ambiental, son capaces de convertir los gases nocivos de NOx en nitratos. También con este mismo efecto, se pueden diseñar baldosas cerámicas de naturaleza bactericida.

En los campos de las Fritas y Esmaltes cerámicos.

Los desarrollos llevados a cabo en este campo, destacan los esmaltes de naturaleza vitrocerámica, por presentar muy buenas propiedades mecánicas, sobre todo propiedades de antideslizamiento, lo que permite colocar a las baldosas con estos esmaltes, en grandes áreas peatonales de alto tránsito, restaurantes, baños, piscinas, balnearios, etc.

En el campo de los Pigmentos cerámicos.

El grupo de investigación de Química del Estado Sólido, ha estudiado nuevas síntesis mediante rutas químicas no convencionales como son el procesado sol-gel, procesos a través de la radiación láser, técnicas de spray-pirólisis, síntesis solvotermal, coprecipitación y spray-drying. Con estas rutas de síntesis se pueden obtener pigmentos de tamaño de partícula más



Figura 4. Diseño de colocación de baldosas cerámicas térmicas sobre suelos flotantes.

pequeños (nanométricos), adaptados a la tecnología ink-jet y para el desarrollo de nuevas tintas cerámicas más compatibles con el medio ambiente. En la Figura 6 se observa la aplicación de la tecnología láser sobre un soporte de porcelánico.

En el campo de la Tecnología Fotovoltaica. Actualmente, el grupo de investigación está estudiando el desarrollo de células fotovoltaicas de segunda generación, para su aplicación en forma de capas delgadas de calcopirita y kesterita, sobre los sustratos cerámicos, de forma que se puedan integrar arquitectónicamente en los edificios (Figura 7).

Esta línea de investigación se está centrando en el uso de soportes cerámicos y vitrocerámicos ecológicos, con altos porcentajes de residuos industriales (testillo cocido, vidrio reciclado y cenizas de centrales térmicas), con el propósito de conseguir energía eléctrica de carácter renovable, incentivar el sector cerámico español y revalorizar los residuos industriales para su utilización como materia prima en la producción de los soportes para las fotocélulas.

Conclusiones

El área de materiales promueve el desarrollo de proyectos encaminados a la obtención de nuevos materiales cerámicos, con nuevas prestaciones funcionales y estructurales. En este sentido, la producción de materiales de calidad, con mayor valor añadido, supone un nuevo reto para el sector de las baldosas cerámicas. Estos Nuevos Materiales marcarán nuestra vida diaria durante el siglo XXI.

A pesar de las dificultades actuales, el crecimiento del consumo mundial de cerámica está garantizado y el sector azulejero español tiene bases sólidas y futuro gracias a su liderazgo mundial en I+D+i y a su alto grado de internacionalización. El sector cerámico español siempre se ha caracterizado por su dinamismo. Esta cualidad nos ha llevado a explorar continuamente nuevos mercados, nuevos usos y aplicaciones de la cerámica, mejoras continuas en los sistemas de producción, etc. Gracias a este dinamismo hemos sido capaces de adaptarnos a un mercado cambiante y ser líderes en un sector tan competitivo a nivel global como el de la cerámica. Como resultado del dinamismo de nuestro sector, hemos podido explorar



En presencia de luz

En ausencia de luz

Figura 5. Diseño de unas escaleras revestidas con baldosas fosforescentes señalizando la vía de escape en caso de oscuridad.

con éxito estos nuevos horizontes y sin duda, muchos más que quedan aún por descubrir.

La Universidad y otros centros de investigación como son los institutos tecnológicos, son buenos aliados para llevar a cabo las innovaciones tecnológicas que demanda el sector industrial cerámico en España para, de esta forma, poder mantenerse en la vanguardia a nivel mundial y que le permita ser más competitivo. ◀

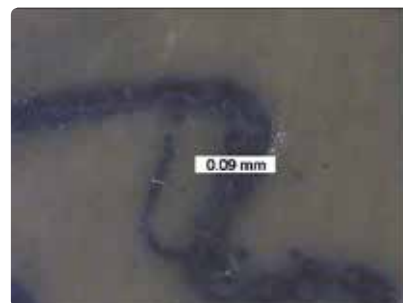


Figura 6. Líneas sobre soporte de gres porcelánico obtenidas mediante la tecnología láser (Pigmento: CoAl2O4, láser: YAG:Nd)



Figura 7. Ejemplo de integración arquitectónica de células fotovoltaicas de capa fina desarrollado por Manz CIGS Technology.

Bibliografía

1. Enciclopedia Cerámica, Vol. I. "Esmaltes y Pigmentos Cerámicos"; P. Escribano, J.B. Carda y E. Cordoncillo, Eds., Editorial Faenza Editrice Ibérica S.L., Castellón, 2001.
2. Enciclopedia Cerámica, Vol. II, "Materias Primas y Aditivos Cerámicos"; L. Sánchez Muñoz y J.B. Carda Eds., Editorial Faenza Editrice Ibérica S.L., Castellón, 2001.
3. Patronal ASCER, www.ascer.es.
4. IMPIVA, Generalitat Valenciana, www.gva.es/impiva.
5. G. A. Rosales, T. Poirier, J. Lira-Olivares, and J. B. Carda, "Effect of Fluxing Additives in Iron-rich Frits and Glazes in the Fe2O3-SiO2-CaO-Al2O3 System," *Interceram*, 62 (2), 126-130, 2013.
6. L. Oliveira, T. S. Lyubenova, R. Martí, D. Fraga, A. Rey, V. Kozhukharov, J. B. Carda, "In-situ sol-gel synthesis and thin film deposition of Cu(In,Ga)(S,Se)2 solar cells," *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 48 (6), 559-566, 2013.
7. O. A. Gerena, J. B. Carda, H. Beltrán, E. Cordoncillo y J. S. Valencia, "Síntesis, caracterización y evaluación eléctrica de circonatos de bario dopados con lantánidos trivalentes," *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 53 (2), 60-68, 2014.
8. Llop, T. Stoyanova Lyubenova, E. Barrachina, M.D. Notari, I. Nebot, J. B. Carda, "The Ceramic Industry in Spain: Challenges and Opportunities in Times of Crisis," *CFI-Ceramic Forum International*, 91, 43-48, 2014.
9. T. Stoyanova Lyubenova, M. C. Peiró, A. Rey, R. Martí, I. Calvet, J. B. Carda, "Synthesis of Ceramic Pigments by Non-Conventional Methods for New Ceramic Decoration Technologies," *Ceramic Forum International*, 91(9), E73- E76, 2014.
10. D. Fraga, R. Martí, I. Calvet, T. Stoyanova Lyubenova, L. Ladeira de Oliveira, J.B. Carda, "Synthesis of kesterite Cu2ZnSn(S,Se)4 by hot-injection and solvothermal methods," *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 53(6), 260-264, 2014.
11. D. Fraga, T. Stoyanova Lyubenova, A. Rey, I. Calvet, R.I. Martí, J. B. Carda "Ceramic enamels as new back contacts for Cu(In,Ga)Se2 based photovoltaic tile," *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 12 (4), 728-737, 2015.
12. E. Barrachina, J. Llop, M. Notari, J. B. Carda, "Potencialidad de un residuo de fritas procedente del sector cerámico como materia prima para la producción de material vitrocerámico," *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 54, 101-108, 2015.
13. I. Calvet, E. Barrachina, R. Martí, D. Fraga, T. Stoyanova Lyubenova, J. B. Carda, "Development of photovoltaic ceramic tile based on CZTSSe absorber," *Material Letters*, 161, 636-639, 2015.
14. R. Martí, L. Oliveira, T. Stoyanova Lyubenova, T. Todorov, E. Chassaing, D. Lincot, J. B. Carda, "Preparation of Cu(In,Ga)Se2 photovoltaic absorbers by an aqueous metal selenite co-precipitation route," *Journal of alloys and compounds*, 650, 907-911, 2015.