

I+D+i PARA LAS BALDOSAS CERÁMICAS DEL SIGLO XXI: COMPETENCIA, DIVERSIDAD Y FUNCIONALIDAD

(¹) **L. Sánchez-Muñoz**, (²) **I.T. Marinova**, (³) **G.F. de la Fuente**, (²) **I. Núñez**,
(¹) **M.A. Rodríguez**, (⁴) **J. Sanz**, (²) **J.B. Carda**

(¹) Instituto de Cerámica y Vidrio, CSIC (Madrid)

(²) Dpto. Química Inorgánica y Orgánica, Universidad Jaume I (Castellón)

(³) Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón, CSIC, (Zaragoza)

(⁴) Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, CSIC (Madrid)

RESUMEN

El Sector Cerámico Español que produce baldosas cerámicas (relativo por tanto a las industrias que suministran materias primas y elaboran pastas, esmaltes, fritas, engobes y pigmentos) tiene ante sí una situación histórica muy particular. En primer lugar necesita superar la crisis económica iniciada en 2008, y después afrontar una situación de gran competencia con otros países productores emergentes en un escenario post-crisis altamente competitivo. Hoy día el sector se caracteriza por una tipología más o menos homogénea de producción donde las diferentes empresas producen materiales muy similares y compiten por el mismo mercado. En este trabajo exponemos dos caminos alternativos no incompatibles como posible estrategia de cara al futuro próximo, para diversificar su oferta, basada en una planificación de la I+D+i con el objetivo de: i) *abaratar en profundidad los costes de producción* de los materiales cerámicos habituales, y ii) *desarrollar nuevos materiales cerámicos especializados* a las necesidades concretas de funcionalidad y culturales de cada entorno de mercado particular. A corto plazo, sería ideal desarrollar el primer camino, y disponer de pastas cerámicas con temperaturas de cocción notablemente más bajas que las actuales, cuyo efecto inmediato sería la posibilidad de disminuir el espesor de los esmaltes y la cantidad y el tamaño de grano de los pigmentos, abriendo así la posibilidad del uso masivo de nuevas técnicas de decoración por capa fina (por ejemplo por inyección de tinta) y también quizás procesamientos con láser. A medio- y largo-plazo, habrá que recorrer el segundo camino, para incrementar el valor añadido de las baldosas, vía ésta abierta al ingenio de los técnicos e investigadores que debe resultar en una gran *diversidad* de productos cerámicos.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando se atiende a la importancia relativa que tienen en la sociedad actual los materiales cerámicos clásicos CC (o cerámica tradicional: pavimentos y revestimientos, ladrillos, refractarios, cerámicas de mesa y sanitarios, que atiende sobre todo a las necesidades humanas primarias, y particularmente a materiales para la vivienda) y la cerámica avanzada CA (o cerámica técnica, que se dedica *aparentemente* sobre todo a materiales relativos a las necesidades humanas secundarias, por ejemplo en telecomunicaciones) el mundo cerámico parece ser "bicéfalo", "bimodal" y "asimétrico". Es bicéfalo porque en la mayoría de los casos los investigadores se decantan en su actividad profesional alternativamente bien por el estudio de la CC o bien por la CA. Es bimodal porque la mayoría de las empresas productoras también se dedican alternativamente a CC o CA así como los países productores. Pero además este mundo es fuertemente asimétrico en dos aspectos, el número de publicaciones y el esfuerzo investigador en CC es muy inferior al dedicado en CA, pero por el contrario, la facturación a escala mundial en CA es muy inferior a la misma en CC. En la figura 1 se presenta el valor de la facturación por subsectores en todo el mundo según un informe de la empresa Cookson publicado en 2006, apreciando que CA supone sólo el 19 %.

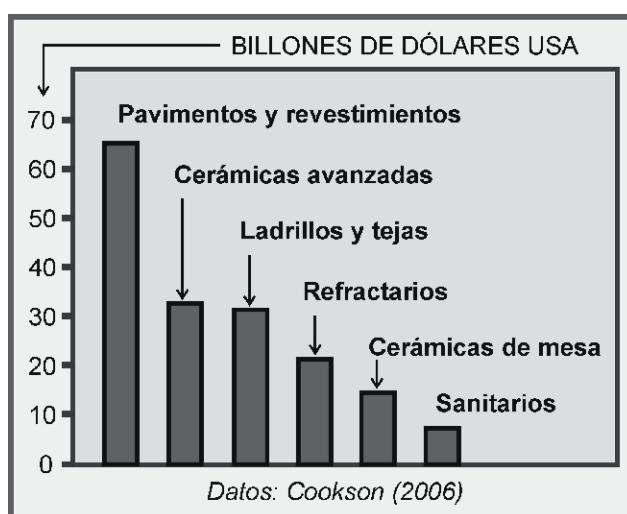


Figura 1. Estimación de la facturación mundial en billones de dólares de los distintos materiales cerámicos, según la empresa Cookson en un informe publicado en 2006.

En Europa, un informe encargado a la empresa Ecorys por la Comunidad Europea para estudiar la competitividad del sector cerámico europeo, deja igualmente patente tal asimetría. La facturación del sector en 2006 fue de 28.000 M€ con la siguiente distribución: pavimentos y revestimientos 36 %, ladrillos y tejas 24 %, refractarios 12 %, cerámicas técnicas 10 %, sanitarios 8 %, y cerámica de mesa 6 % (nótese que el ~74 % está basado en cerámica triaxial !!!). En este año había 221.000 empleados, de los cuales ~ 83 % se dedicaban a CC. Francia, Alemania, Holanda y Reino Unido son principales productores en CA, y España e Italia en CC. Esta asimetría se presenta de nuevo al comparar la producción de CA en El mundo.

La Unión Europea suministra al mercado mundial tan sólo una décima parte del total, mientras que la suma de Japón y EEUU supero el 80 % [1]. La reflexión sobre estos datos, al comparar la dirección de los esfuerzos intelectuales con la realidad de los frutos sociales que resultan del mundo cerámico, plantea una *paradoja* inquietante de difícil interpretación.

Este trabajo reflexiona sobre la aplicación de la I+D+i en baldosas cerámicas (pavimentos y revestimientos P/R) así como en sus *productos intermedios*, esto es, pastas atomizadas, fritas, esmaltes y pigmentos, y de sus *materias primas* (minerales industriales y compuestos de la industria química, donde los productos intermedios y las materias primas son utilizados en las plantas de fabricación de baldosas al modo de las cadenas de montaje. El liderazgo del Sector Cerámico Español SCE en la producción de baldosas (que forma un “cluster” socio-económico situado principalmente en el Mediterráneo peninsular) tiene su fundamento en muy numerosos aspectos. Sin embargo, hay tres aspectos “técnicos” que le dan una personalidad propia, y son: i) la existencia de arcillas rojas de calidad muy próximas a los centros de producción para elaborar las pastas cerámicas, ii) los desarrollos de materiales particulares de alta calidad adaptados a tales arcillas, y iii) el apoyo generalizado al sector de las distintas instituciones con capacidad de I+D+i, en un amplio rango de colaboraciones que varía desde la resolución de cuestiones analíticas sencillas, pasando por el desarrollo de materiales específicos, hasta grandes proyectos que implican cambios en la tecnología de producción. Este trabajo considera los tres aspectos anteriores de una manera inter-relacionada, con el fin de: i) revisar someramente el camino ya andado citando los nuevos materiales y procesos industriales ya disponibles, ii) proponer medidas de ahorro para abaratar los costes globales de producción, tanto económicos como ecológicos y de materiales (desarrollo sostenible); y iii) exponer posibles vías de diversificación en la producción gracias a la investigación en nuevos materiales y al uso de las nuevas tecnologías aplicables al sector (especialización).

2. CERÁMICAS ACTUALES

Los fabricantes de baldosas ya conocen el resultado de un proceso de innovación en profundidad, como aquel ocurrido en la década de los 80 cuando el procesamiento de pastas por vía seca fue sustituido por la vía húmeda, con la tecnología de atomización de arcillas. Como resultado de dicho cambio, se desarrolló una “revolución de baldosas cerámicas” cambiando completamente la tipología (ver figura 2). El resultado fue la casi desaparición de la bicocción tradicional y la emergencia de la monococción porosa (monoporosa), y el crecimiento del pavimento por monococción (gres). Actualmente la producción de baldosas de pasta roja puede estar comprendida entre el 70 y el 80 % del total, siendo el resto pasta blanca (en donde se utilizan materias primas de importación en la mayoría de los casos entre el 60 y 85 % de la formulación total), siendo minoría la producción de gres porcelánico (¿8,5 %?). Dicho de otro modo, la situación actual es todavía el fruto de la herencia

del citado cambio tecnológico, influenciado mayormente por el aprovechamiento de las materias primas locales. Hay que destacar que se han hecho esfuerzos notables en el uso de materias primas nacionales en formulaciones de pastas blancas de gres y gres porcelánico [2-6], donde la incorporación en pastas blancas ha sido reforzada por purificación de las arcillas gracias a la separación magnética.

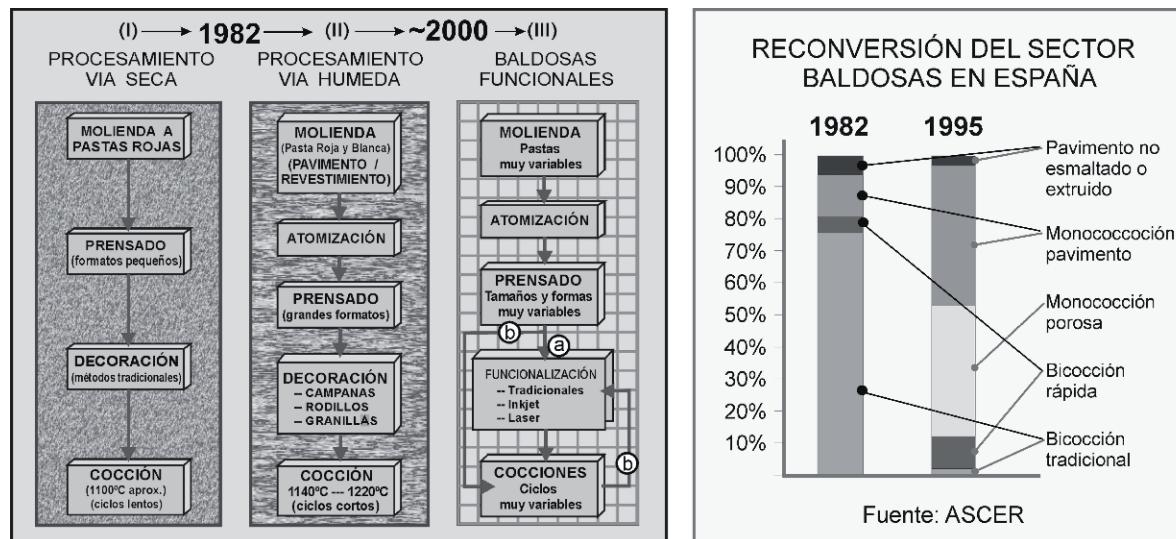


Figura 2. Esquema del cambio tecnológico de la vía seca por vía húmeda en 1982 y la resultante reconversión del tipo de producción de baldosas cerámicas en España.

Sin embargo, la tendencia actual es la desaparición de la dualidad gres – gres porcelánico y pasta roja – pasta blanca como sinónimos de calidad diferente, y han aparecido numerosas pastas con formulaciones "híbridas" (entre las composiciones clásicas, esto es, mezclas de arcillas rojas para el gres y arcillas-caolines blancos con feldespatos para porcelánico, en algunos casos con adiciones de carbonatos en bajas proporciones) que resultan en tonalidades grisáceas y rojizas con porosidad abierta inferior al 0.5 %, y propiedades mecánicas comparables a las conseguidas con porcelánico blanco. Sin embargo, la pasta roja tradicional (mezclas de arcillas fundentes y plásticas con otras compactantes y refractarias, para dar en cocción a unos 1140 °C un 3-4 % en porosidad abierta y ~ 7% en contracción lineal) es el material dominante, y por tanto en la que se debieran basar principalmente los esfuerzos futuros de progreso. Las pastas blancas tendrán en España siempre una dependencia del suministro de arcillas de importación (refiriéndonos a las de gran blancura en cocción, alta plasticidad y fundencia) ya que no existen yacimientos geológicos de la entidad necesaria. Igualmente ocurre con los yacimientos de feldespatos sódicos. Estas dificultades han sido parcialmente paliadas con el uso de otras materias primas como wollastonita [7] y fundentes fritados, pag. 237 a 244 en ref. [3].

En adición a los esmaltes cerámicos desarrollados para la monococción rápida (ver una revisión en ref. [8]), se han desarrollado numerosos esmaltes vitrocerámicos (o mejor dicho, materiales fritados que son adicionados a las mezclas de fritas y minerales industriales para generar los vidriados, o en granillas, etc) para generar

opacidad, con cristalizaciones de circón $ZrSiO_4$ [9], corindón Al_2O_3 [10], espinela $MgAl_2O_4$ [11], diópsido $CaMgSi_2O_6$ [*], mullita $Al_6Si_3O_{18}$ [10], wollastonita $CaSiO_3$, celiana $BaAl_2Si_2O_8$, anortita $CaAl_2Si_2O_8$ [9], entre otros, así como transparencia con cristalizaciones de β -cristobalita $Si_{1-x}Al_x(Ca,Sr)_{x/2}O_2$ [13], al que tiempo que se obtenían mejoras en las propiedades mecánicas. También hay disponibles esmaltes con propiedades especiales, tales como aquellos de uso en lugares donde se concentra electricidad estática con esmaltes conteniendo SnO_2 y Sb_2O_3 [14] y con función photocatalítica (bactericidas) en base a TiO_2 u otros materiales activos [15].

Igualmente la decoración en cerámica está sufriendo una transición desde las técnicas serigráficas tradicionales (más o menos modificadas) basadas en pigmentos con tamaño de partícula en torno a los $5\ \mu m$ a otras técnicas basadas en la tecnología de tintas y máquinas de impresión con cabezales de diverso tipo, donde el tamaño de partícula ideal está por debajo de $1\ \mu m$. Esto implica mayores grados de molienda del material de salida del horno (habiéndose investigado procesos de molienda específicos) y pigmentos más estables (menos solubles) a las temperaturas de cocción, objetivo este de gran dificultad sobre todo para decoración de gres porcelánico ($T_c \sim 1170\ ^\circ C$). También se han investigado rutas alternativas de fabricación de pigmentos que produzcan directamente el tamaño de grano deseado, como la técnica sol-gel [16], y tintas con los elementos cromóforos en disolución. En relación directa, se pueden citar los esmaltes metalizados con muy distintas capacidades de decoración.

3. CERÁMICAS COMPETITIVAS

Desde 1982 el sector realizó grandes inversiones en equipos, materiales y medios humanos, del mismo modo que los países competidores en Europa, y a partir de los años 90 en diversos países en todo el mundo. Estos países productores se han beneficiado de sus ventajas intrínsecas (ya sea en el uso de las materias primas locales, el coste de su mano de obra o las restricciones variables en cuestiones medioambientales), pero utilizando idénticas tecnologías de producción, fundamentalmente de origen europeo. Se hace necesario un cambio que implique la continuación del uso de las tecnologías y materiales ya disponibles pero obteniendo baldosas cerámicas con un *coste total* sensiblemente inferior al actual, independientemente de los incrementos o disminuciones de los gastos en productos intermedios (ver esquema de la figura 3). Consideramos que este cambio debería iniciarse con *nuevas pastas cerámicas* de cocción a más bajas temperaturas máximas T_c^{\max} de cocción pero consiguiendo mejores propiedades mecánicas, y manteniendo los valores actuales de porosidad abierta (según se obtienen por los ensayos de absorción de agua). La existencia técnica de este material implicará numerosas ventajas, además del ahorro energético y en emisiones de CO_2 , tales como disminuciones en el espesor de las piezas disminuyendo así el uso de materias primas y facilitando la oxidación de la materia orgánica para evitar los problemas de "corazón negro".

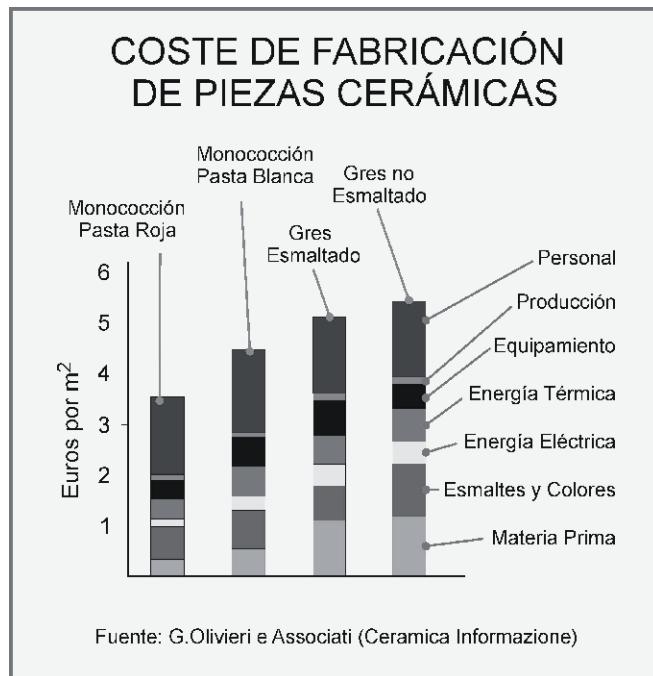


Figura 3. Esquema de los costes aproximados de los distintos tipos de baldosas cerámicas por tramos, donde al margen de en personal, los mayores costes están ligados al uso de materias primas, esmaltes y colores, y por tanto a donde se debieran aplicar las estrategias de ahorro.

Si se emplean pastas rojas, la más baja temperatura de cocción resultará en espesores menores de la capa de esmalte opacificante, disminuyendo también el empleo de materias primas caras y de gran fluctuación de precios en el mercado (circón). De igual modo, este cambio posibilitaría el uso de menores contenidos en pigmentos (pudiendo así competir en diseño), o pigmentos de menor tamaño de partícula (como los necesarios para el empleo de las técnicas de inyección de tintas), o pigmentos menos estables y más reactivos con los materiales fusibles durante el periodo térmico a la temperatura máxima de cocción, aumentando la gama cromática del producto final. Es obvio que este cambio implica el desarrollo de nuevos esmaltes de más baja temperatura que deberán adaptarse a los nuevos valores de contracción lineal y de expansión-contracción térmica de las nuevas pastas. A este respecto conviene recordar que las baldosas se utilizan para recubrir superficies, y que los descensos en T_c^{\max} asociados a descensos en la contracción lineal serán siempre bienvenidos, dado que el proceso productivo dará lugar a formatos aún más extensos. Si se emplean pastas blancas, se obtendrán beneficios muy similares. Es importante destacar que si se disminuye el grosor de la capa de recubrimiento se podrán emplear materiales avanzados (relativamente más caros) que aumentarán las tecnologías aplicables al proceso de decoración, por ejemplo aquellas de capa fina y las técnicas de cristalización diferencial por radiación láser [17], y otras relativas a esta tecnología [18-20], ver esquema resumen en figura 4.

En consecuencia, a medida que disminuya la T_c^{\max} los beneficios globales de competitividad y de ahorro se incrementarán en la misma dirección, a modo de proceso con retroalimentación positiva. Ahora bien, desde el punto vista técnico

no es igual bajar la T_c^{\max} en pastas rojas que en pastas blancas, ya que en el primer caso la sinterización ocurre principalmente ligada a los fenómenos de superficie de las partículas compactadas y en el segundo se trata de un proceso de sinterización por fase líquida, producida durante la fusión de los feldespatos y otros fundentes. Por lo tanto, las reformulaciones en ambos casos posiblemente serán muy diferentes. Por otro lado, el descenso de la T_c^{\max} en revestimientos podría estar ligado al empleo de carbonatos con más bajas temperaturas de descomposición. Hay que destacar que en ningún caso los aumentos en fundencia de las pastas deberán obtenerse con sacrificios en la estabilidad dimensional y en el rango térmico de cocción. De esta forma, las pastas de baja $T_{c\max}$ estarán ligadas al desarrollo de fundentes avanzados y a polvos atomizados de alta densidad, donde habría que estudiar el papel de la tensión superficial de las partículas. En suma, en las cerámicas competitivas deben coexistir el ahorro de materiales (muchos de ellos escasos), con el descenso en combustibles y energía, disminuyendo las emisiones de gases contaminantes, todas estas ideas compatibles con el concepto de "desarrollo sostenible".

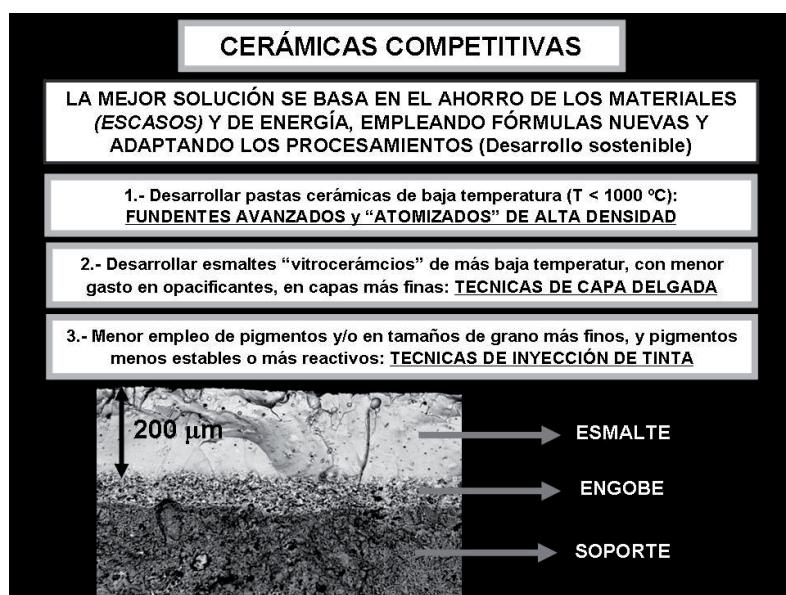


Figura 4. Esquema general para las cerámicas competitivas.

4. CERAMICAS INTELIGENTES

Cualquier planificación que se haga en el mundo industrial debe considerar el problema energético (ligado a localizaciones geográficas bien definidas en sus materias primas) y de la superpoblación (y por tanto de "megamercados" sobre todo en Asia), y en consecuencia de nuevo, atendiendo a aspectos de desarrollo sostenible, como la historia reciente parece demostrar. Las empresas que fabrican CC no pueden dar un salto para, de repente, producir cerámicas avanzadas y competir en un mercado que le es ajeno y que tiene unas características bien diferentes [21]. Pero si que puede hacerse eco de las necesidades sociales a las

que estos materiales atienden para incorporarlas en sus productos de una forma progresiva. En definitiva, se trataría de llevar las novedades tecnológicas al "hogar inteligente", ver esquema de la figura 6, donde una vivienda pueda tener un valor derivado de las nuevas capacidades, y donde las superficies no sean simples elementos decorativos sino elementos activos con funciones concretas. Además, se puede prestar atención al crecimiento económico de las distintas áreas geográficas, climáticas y culturales del planeta, cuyas necesidades y prioridades no son, en muchos casos, idénticas a las de la sociedad occidental, y que emergen como potenciales mercados de alto consumo, si se satisfacen dichas expectativas. El origen aproximado de esta nueva tendencia hacia la funcionalización de las baldosas surgió aproximadamente con el cambio de siglo (ver esquema figura 2). En base a esto, se pueden distinguir tres campos de actuación donde las cerámicas inteligentes y multifuncionales pueden conquistar terrenos, si se dan círculos de retroalimentación positiva entre demanda y practicidad [21-23]. En este trabajo se han distinguido tres grupos: a) cerámicas para la salud; b) cerámicas para la energía; y c) cerámicas para el confort. En este contexto, los exteriores (fachadas y tejados) deben de dejar de ser un elemento independiente de los interiores.

4.1. Cerámicas para la salud.

Este grupo debiera incluir innovaciones relativas a la *seguridad, la higiene y la calidad del aire*. En relación al primer aspecto, la perspectiva histórica de la industria del automóvil demuestra que las inversiones en seguridad tienen siempre un sector social y de mercado en donde el éxito está garantizado. Existen numerosos entornos a los que se puede aportar seguridad con el recubrimiento de baldosas, como por ejemplo en centros donde se emplean radiaciones ionizantes de forma habitual como en hospitales, centros de radioterapia y centros de investigación. En estos casos, sería positivo aportar blindaje a dichos habitáculos mediante cerámicas que incorporasen fases cristalinas de alta densidad con elementos químicos pesados y pasivos frente a la radiación.

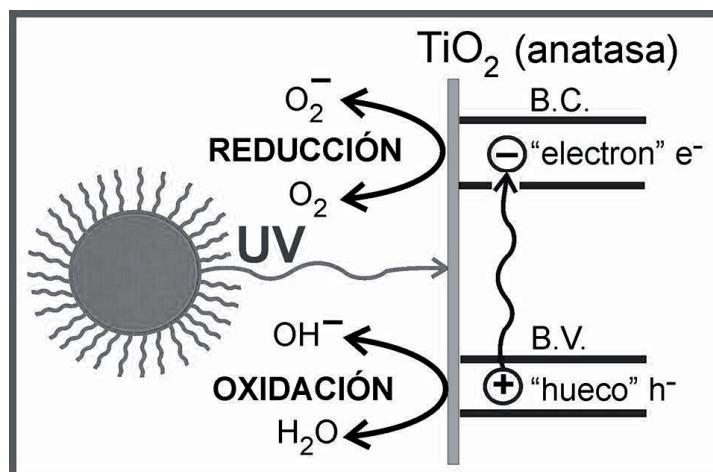


Figura 5. Esquema simplificado del efecto fotocatalítico en las superficies de TiO_2 (anatasa). Cuando la radiación ultravioleta incide sobre los electrones del enlaces $\text{Ti}-\text{O}$, se dan transiciones electrónicas desde la banda de valencia (B.V.) a la banda de conducción (B.C.), posibilitando reacciones de oxidación y reducción con descomposición de ciertas moléculas orgánicas del ambiente, NO_x etc.

Por otro lado, la cuestión de la higiene y calidad del aire están ligadas al efecto fotocatalítico [24] para aplicaciones bactericidas y de limpieza del aire. El primer aspecto tiene su origen en los materiales “biocidas” que empleaban inicialmente partículas de Ag y después Ag+TiO₂, y que ya está siendo explorado por varias empresas. Al segundo aspecto se le está prestando cada vez más atención, ya que en muchos casos el uso del aire acondicionado no se considera una solución saludable. En la figura 5 se presenta un esquema del efecto fotocatalítico ilustrado para el TiO₂ con estructura de tipo anatasa. Dado que este material es activado con la radiación ultravioleta (UV), se están buscando alternativas para uso en interiores donde el efecto se consiga por radiación en el rango energético del visible. Adicionalmente, la modificación superficial por técnicas láser para aumentar la superficie activa sería enormemente positiva para generar nanorugosidad [25] y por tanto mayor superficie activa, siendo ésta una técnica particularmente atractiva cuando el espesor a modificar es suficientemente pequeño.

4.2. Cerámicas para la energía.

Es importante destacar que en Europa, se estima que el segmento de la construcción en su conjunto utiliza el ~40 % de la energía consumida, y a él se debe el ~25 % de las emisiones de CO₂. Así se deben considerar por separado aspectos ligados a la *producción* y al *ahorro* de energía en la vivienda. Desde el punto de vista de la producción, el mundo de la cerámica está haciendo un cambio de mentalidad. El sol debe dejar de ser un elemento perturbador cuya energía decolora y daña la estética cerámica de los exteriores, y convertirse en un aliado para el mantenimiento del hogar, esto es, un soporte para la producción de energía, ya sea fotovoltaica o térmica o ambas. Teóricamente, la solución es ideal para un material cuya función es el recubrimiento de grandes superficies, ya que se trata de una energía limpia, sin transporte, sin dependencia geopolítica, ilimitada, especialmente interesante para las regiones geográficas con muchas horas de sol al año (por ejemplo una tan favorecida como la nuestra).

La *primera generación* de energía fotovoltaica se basa sobre todo en la producción de obleas de silicio monocristalino o policristalino en celdas que forman paneles que a su vez se han yuxtapuesto sobre las construcciones a modo de apéndices ajenos al diseño de las edificaciones. En este caso, no se necesita soporte cerámico o vítreo alguno para el funcionamiento de tales dispositivos. Sin embargo, la *segunda generación* se fundamenta en el ahorro de la materia prima (semiconductores), de momento a expensas de decrecimientos en la eficiencia energética, y emplea capas delgadas de diferentes semiconductores “en tandem” (para la absorción selectiva de las diferentes longitudes de onda) sobre *sopores* o *substratos de vidrio y cerámica* o incluso plásticos, y ha dado lugar a la denominada tecnología BiPV “buildind-integrated photovoltaics” [26], esto es, los dispositivos forman parte integral de las construcciones. En esta generación soporte y dispositivo de multi-capa delgada no son dos entidades independientes sino que la eficiencia depende del grado de acoplamiento técnico entre los dos, y por tanto la naturaleza vítreo y/o cerámica juega un papel esencial. Si bien de momento los

paneles con substrato de vidrio han encontrado una muy superior implementación que con soporte cerámico, éstos tienen posiblemente mayor capacidad de instalación. Así, hay confidencialidad sobre la naturaleza de tales soportes cerámicos cuando son las empresas especializadas quien presenta los resultados [27-28], aunque también existen datos de dispositivos con substratos de mullita [29] y circon [30], entre otros. Finalmente, hay que destacar que se está desarrollando una *tercera generación* de dispositivos, todavía en fase de investigación, en la que los materiales cerámicos y vítreos pueden formar parte integral de todos los componentes de los dispositivos [31].

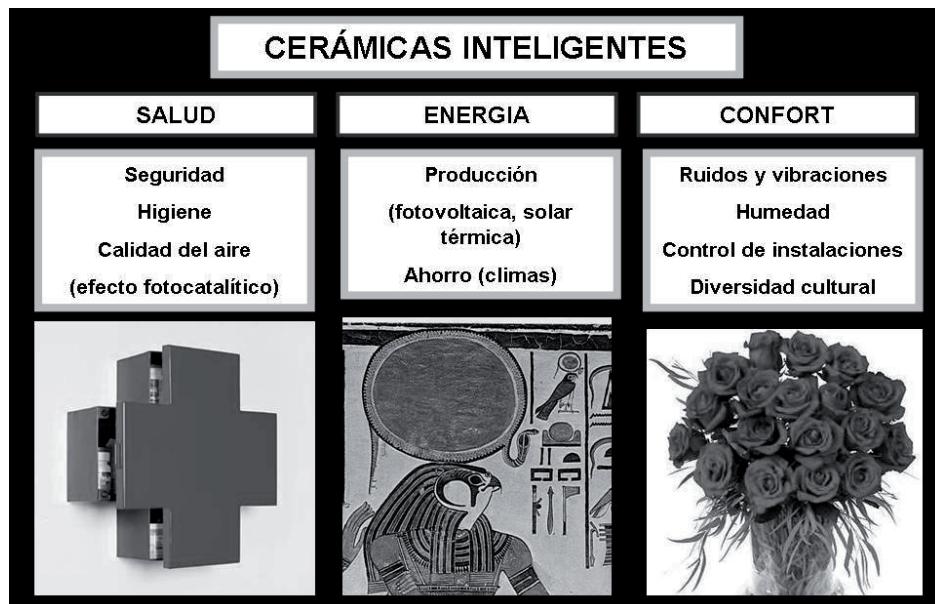


Figura 6. Esquema sobre los tipos de cerámicas inteligentes, separadas en tres tipos de funciones: salud, energía y confort.

En relación con las cerámicas para el ahorro energético, hay que hacer un análisis de las ganancias y pérdidas térmicas de las viviendas (eficiencia), pero en un contexto climático, ya que se trata de posibles mercados con necesidades muy diferentes. Así se puede hacer una primera distinción en dos situaciones contrastadas: "daylight architecture" para climas fríos y "sunlight architecture" en climas cálidos. En el primer caso interesa el uso de materiales cerámicos que absorban la energía térmica solar (durante el día) y la liberen lentamente (durante la noche), mientras que en el segundo los materiales no debieran acumular calor, para poder realizar la ventilación nocturna de los hogares. En este sentido, se han realizado estudios sobre la reflectancia del infrarrojo cercano por diversos pigmentos inorgánicos [32], y así obtener cerámicas que ayudan a no incrementar la temperatura de las viviendas, promoviendo el ahorro energético al decrecer el tiempo que es necesario el uso de equipos de aire acondicionado.

4.3. Cerámicas para el confort.

Cuando se tiene en cuenta que en muchos países industrializados pasamos la mayor parte de nuestro tiempo en interiores (hasta el 90% en el denominado primer mundo), es más fácil hacerse consciente de la importancia del confort, que en

muchos casos puede estar asociado también a productividad. Este concepto debe ser interpretado en términos de:

- i) *Ruidos y vibraciones*: la importancia y necesidad del aislamiento y en particular del aislamiento y acondicionamiento acústico no se limita a las grandes instalaciones deportivas y a piscinas. Estos aspectos van a tener interés en muchos casos en las viviendas ya edificadas, sobre todo si existieran soluciones económicas sin grandes pérdidas de espacio.
- ii) *Humedad*: el control de la humedad por los revestimientos cerámicos es una idea innovadora que ya es explotado por empresas productoras, y consiste en materiales formados por pastas especiales en los que se absorbe o se emite agua en función de la humedad ambiental.
- iii) *Control de instalaciones*: éste es ya un camino iniciado por algunas empresas cerámicas españolas [33] y se basa en el concepto de "domótica" que consiste en la integración de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones en el hogar. En esta línea, se han desarrollado sistemas de control automático de las instalaciones de toda la casa desde una baldosa (mediante sensores y dispositivos inalámbricos) aportando las siguientes ventajas: mayor resistencia que los dispositivos (de plástico) actuales, mayor facilidad de limpieza, posibilidad de incorporación de códigos "braille" y la versatilidad.
- iv) *Diversidad cultural: aspectos parcial o totalmente subjetivos, estéticas de preferencia y/o creencias particulares*. Un mismo aspecto como el color no tiene el mismo significado ni igual trascendencia en Oriente que en Occidente. Si bien en Europa occidental es posible que ya existan tantas viviendas como para cubrir las necesidades de la próxima generación, hay numerosos mercados emergentes donde las construcciones individuales en madera van a ser sustituidas y/o complementadas y/o reemplazadas con construcciones donde la cerámica y vidrio tendrán un mayor protagonismo. En este punto es conveniente remarcar, que el confort está ligado a los aspectos cotidianos, y este es el lugar natural de la cerámica, y que no tienen la misma importancia ni se refieren a los mismos aspectos en todas las culturas, afortunadamente.

5. CONCLUSIONES

El Sector Cerámico Español productor de baldosas cerámicas es hoy día muy homogéneo en relación a los productos que se comercializan, siendo la decoración superficial (esmaltes y pigmentos) y el color de la pasta en cocción (el soporte) los principales rasgos distintivos, cuando se comparan baldosas con iguales propiedades mecánicas. Este es desde el punto de vista técnico el resultado de la transición de la vía seca a la vía húmeda en la década de los 80, de la abundancia de las

materias primas (arcillas) de calidad en el entorno de los centros de producción, y del esfuerzo en I+D+i de numerosos técnicos cerámicos. Con el cambio de siglo, se ha puesto de manifiesto la competencia con países emergentes y ha surgido la crisis económica actual, indicando que el actual modelo industrial puede estar agotándose en un país como España. En este trabajo se propone una posible vía de aplicación a corto plazo (cerámicas competitivas) y otra de medio- y largo-plazo (cerámicas inteligentes).

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer las colaboraciones existentes y las discusiones científicas con los equipos técnicos de las empresas Tierra Atomizada SA, Invest Plasma SL y Microcolors SA, de Castellón, así como a la Fundación Dávalos Fletcher de Castellón por su apoyo económico.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] FWC Sector Competitiveness Studies – Competitiveness of the Ceramics Sector. Within the Framework Contracto f Pectoral Competititveness Studies – ENTR/06/054. Final report, 13 October 2008. ECORYS.
- [2] Sánchez-Muñoz L, Nebot-Díaz I, Carda JB, Tuduri F, Gracia A, Cerisuelo E (2001) Obtención de soportes cerámicos de baja porosidad a partir de materias primas nacionales. Ceram. Inf. 272: 48-54.
- [3] Sánchez-Muñoz L, Carda Castelló JB. Materias primas y aditivos cerámicos. Enciclopedia Cerámica. Tomo 2.1. cap. I a VII (2002) y Tomo 2.2. cap VIII a XVI (2003). Ed: Faenza Editrice Ibérica S.L. Castellón.
- [4] Sánchez-Muñoz L, Cava S, Paskocimas CA, Cerisuelo E, Longo E, Carda Castelló JB (2002). Influênci da composiçao das matérias-primas no processo de gresificaçao de revestimentos cerâmicos. Cerâmica (Revista de la Asociación Brasileña de Cerámica) 48:137-145.
- [5] Sánchez-Muñoz L, Cava S, Paskocimas CA, Cerisuelo E, Longo E, Carda Castelló JB (2002) Modelamento do processo de gresificaçao de massa cerâmicas de revestimento. Cerâmica (Revista de la Asociación Brasileña de Cerámica) 48: 217-222.
- [6] Sánchez-Muñoz L, Cava S, Paskocimas CA, Cerisuelo E, Longo E, Carda Castelló JB (2002) Seleçao de matérias-primas no desenvolvimento de formulações de massas cerâmicas. Cerâmica (Revista de la Asociación Brasileña de Cerámica) 48: 108-113.
- [7] Sánchez-Muñoz L, Cerisuelo E, Tuduri F, Plaza S, Carda JB (2002) Elaboration of porcelain stoneware tiles at 1170 °C by addition of wollastonite. Key Engineer. Mater. 206-213: 2205-2208.

- [8] Escribano López P, Carda Castelló JB, Cordoncillo Cordoncillo E. Esmaltes y Pigmentos Cerámicos. Enciclopedia Cerámica Tomo 1. (2001). Ed. Faenza Editrice Ibérica S.L. Castellón.
- [9] Tichell MT, Bakali J, Pascual A, Nebot-Díaz I, Sánchez-Muñoz L, Carda JB (2000) Esmaltes especiales para soportes de gres porcelánico. Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidrio 39(1):31-38.
- [10] Jovani MA, Carceller JV, Soler A, Nebot A, Núñez I, Sánchez-Muñoz L, Guaita J, Cordoncillo E, Carda JB (2000) Desarrollo de esmaltes híbridos a partir de fritas y geles, adaptados a ciclos de monococción de gres y gres porcelánico. VI World Congress on Ceramic Tile Quality, 199-211.
- [11] Tichell MT, Bakali J, Sánchez J, Pórtoles J, Soler C, Nebot-Díaz I, Sánchez-Muñoz L, Carda JB (2000) Esmaltes vitrocerámicos con cristalizaciones de aluminatos y silicoaluminatos, adaptados a soportes de gres porcelánico. VI World Congress On Ceramic Tile Quality, Qualicer, 465-473.
- [12] Baldi G, Generali E, Leonelli C, Manfredini T, Pellacani GC, Siligardi C (1995) Effects of nucleating agents on diopside crystallization in new glass-ceramics for tile-glaze applications. J.Mater. Sci. 30:3251-3255.
- [13] Sánchez-Muñoz L, Cabrera MJ, Foo A, Beltrán H, Carda JB (2002) Esmaltes transparentes para gres porcelánico: Esmaltes vítreos y vitrocerámicos con cristalizaciones de cristobalita. VII World Congress On Ceramic Tile Quality. Qualicer: 239-254.
- [14] Gómez JJ, Carda JB, Nebot A, Carceller JV, Jovani MA, Soler A (1999) Conductividad eléctrica en pavimentos cerámicos esmaltados. Desarrollo de un esmalte electroconductivo basado en $\text{SnO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_3$. Ceram Inf. 3:1-24.
- [15] Tichell MT, Pascual A, Bakali J (1998) Desarrollo de vidriados cerámicos con propiedades ópticas de absorción y emisión, aplicados como esmaltes para azulejos cerámicos con propiedades bactericidas. V World Congress On Ceramic Tile Quality. Qualicer, Castellón.
- [16] Atkinson A, Doorbar J, Hudd A, Segal DL, White PJ (1997) Continuous ink-jet printing using sol-gel "ceramic" inks. J Sol-Gel Sci. Technol. 8: 1093-1097.
- [17] Lennikov VV, Pedra JM, Gomez JJ, de la Fuente GF, Carda JB (2007) In situ synthesis of composite $\text{MTiO}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ coatings via laser zone melting. Solid State Sciences 9: 404-409.
- [18] Larrea A, de la Fuente GF, Merino RI, Orera VM (2002) $\text{ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ eutectic plates produced by laser zone melting. Journal of the European Ceramic Society 22: 191-198.
- [19] Bakali J, Fortanet E, de la Fuente X, Lahoz R, Estepa LC, Peris G, Marinova I, Pavlov R, Pedra JM, Carda JB (2004) Structural and Microstructural Characterisation of Refractory Oxides Synthesised by Laser. Key Eng. Mater. 264-268: 317-320.
- [21] Ohmura A, Ouchi N, Morisaki S, Watanabe C (2003): Functionality development as a survival strategy for fine ceramics. Technovation 23: 833-842.

- [22] Moreno Berto AV (2006) Ceramic tiles: above and beyond traditional applications. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.* 45(2):59-64.
- [23] Jaquotot P, Campillo A, Reinosa JJ, Romero JJ, Bengochea MA, Esteban-Cubillo A, Santarén J, Aguilar E, Pina R, Pecharromán C, Moya JS, Fernández JF (2009) Desarrollo de esmaltes nanoestructurados multifuncionales. *Bol. Soc. Es. Ceram Vidrio* 48(2):95-98.
- [24] Fujishima A, Honda K (1972): Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode. *Nature* 238 (5358) 37-38.
- [25] Groenendijk M, Meijer J (2006) Microstructuring using femtosecond pulsed laser ablation. *J. Laser Appl.* 18(3):227-232.
- [26] Bahaj A (2005) Solar photovoltaics energy: generation in the built environment. *Civil Engineering* 158: 45-51.
- [27] Carnel L, Gordon I, Van Gestel D, Van Nieuwenhuysen K, Agostinelli G, Beaucarne G, Poortmans J (2006) Thin-film polycrystalline silicon solar cell on ceramics substrates with a V_{oc} above 500 mV. *Thin Solid Films* 511-512: 21-25.
- [28] Barnett AM, Rand JA, Hall RB, Bisaillon JC, DelleDonne EJ, Feyock BW, Ford DH, Ingram AE, Mauk MG, Yaskoff JP, Sims PE (2001) High current, thin silicon-on-ceramic solar cell. *Solar Energy Mater. Solar Cells* 66: 45-50.
- [29] Focsa A, Gordon I, Beaucarne G, Tuzun O, Slaoui A, Poortmans (2008) Heterojunction a-Si/poly-Si solar cells on mullita substrates. *Thin Solid Films* 516: 6896-6901.
- [30] Kieliba T, Bau S, Schober R, Oßwald D, Reber S, Eyer A, Willeke G (2002) Crystalline silicon thin-film solar cells on $ZrSiO_4$ ceramic substrates. *Solar Energy mater. Solar Cells* 74: 216-266.
- [31] Conibeer G (2007) Third-generation photovoltaics. *Nature Mater.* 10 (11): 42-50.
- [32] Levinson R, Akbari H, Reilly JC (2007) Cooler tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white coatings. *Build. Envir.* 42: 2591-2605.
- [33] www.tauceramica.net