

Internet Electronic Journal*
Nanociencia et Moletrónica

Noviembre 2007, Vol. 5, N°2, pp. 1101-1111

Nanotecnología para una construcción sostenible

Francisco J. Arenas Cabello

Universidad Nacional de Educación a Distancia de España
Madrid, España
e-mail fjarenas@der.uned.es

recibido: 15. 10. 07

revisado: 23.10.07

publicado: 30.11.07

Citation of the article: Francisco J. Arenas Cabello, Nanotecnología para una construcción sostenible,
Internet Electron. J. Nanocs. Moletrón. 2007, Vol. 5, N° 2, pp 1101-1111

copyright ©BUAP 2007

Nanotecnología para una construcción sostenible

Francisco J. Arenas Cabello*

Universidad Nacional de Educación a Distancia de España
Madrid, España
e-mail fjarenas@der.uned.es

recibido: 15.10.07

revisado: 23.10.07

publicado: 30.11.07

Internet Electron. J. Nanocs. Moletrón., Vol. 5, N° 2, pp. 1101-1111

RESUMEN

Las siguientes líneas tienen por objeto analizar el estado del conocimiento de la nanotecnología, examinando su aplicación general a la industria de la Construcción y específica a los materiales de construcción, así como los beneficios medioambientales que puede aportar la nanotecnología. Asimismo, pretende estudiar el impacto de las nanotecnologías en la Unión Europea y España, para concluir con un apartado dedicado a reflexiones, donde se exponen algunas recomendaciones a las deficiencias apuntadas en su apartado introductorio

PALABRAS CLAVE: Nanotecnología, Nanomateriales, Construcción sostenible

* Doctor en Derecho y Arquitecto Técnico; Profesor de Derecho Administrativo

1. INTRODUCCIÓN

A grandes rasgos, se podría decir que la Nanotecnología tiene la capacidad para elaborar o fabricar materiales, dispositivos o sistemas, mediante el control de su materia a escala nanométrica. De esta forma, sus propiedades físicas y químicas pueden ser moduladas sistemáticamente por la variación del tamaño, facilitando el diseño de nuevos materiales con un menor consumo de recursos naturales.

El estudio de esta nueva tecnología permitirá atenuar los impactos ambientales que genera la industria de la Construcción, dado que ésta es responsable, en términos estadísticos, del 50% de los recursos naturales empleados y del 50% del total de los residuos generados. Sin duda alguna, la nanotecnología a medio plazo incidirá de manera relevante en este sector, como en otros, porque la escala nanométrica contribuirá decididamente a la reducción del uso de los recursos naturales y consecuentemente a la de residuos generados a lo largo de su ciclo de vida. Estos parámetros de sostenibilidad facilitarán que los materiales de construcción del futuro tengan un perfil medioambiental preferente. Lo cierto es que la nanotecnología cambiará radicalmente no sólo el empleo de los materiales -con la nueva generación de nanomateriales, sin sometimiento a las leyes de la física mecánica tradicional-, sino también la forma de diseñar y construir; de hecho, no habrá construcción sin nanotecnología.

No obstante, en el caso de España, conviene subrayar la deficiente inversión que destina a las nanotecnologías; lo cierto es que junto a Grecia y Portugal -como en tantas otras materias- se encuentra a la cola de la Unión Europea, contando en la actualidad con un reducido número de investigadores en esta materia.

Las siguientes líneas tienen por objeto analizar el estado del conocimiento de las nanotecnologías, así como los beneficios medioambientales que pueda aportar esta tecnología, al tiempo que estudia su impacto en la Unión Europea y España. Igualmente, estudia su aplicación genérica a la Construcción y específica a los materiales de construcción, para concluir con algunas reflexiones.

2. NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA

En primer lugar, conviene apuntar que los términos «Nanociencia» o «Nanotecnología» se refieren indistintamente al desarrollo científico y tecnológico que se viene produciendo en las dos últimas décadas y que ha permitido la construcción y manipulación de materiales a escala nanométrica[1].

En general, los conocimientos científicos relacionados con la Nanociencia son más amplios que los materiales, objetos o dispositivos, contruidos mediante aplicación de la Nanotecnología. Sin embargo, es el término Nanotecnología el que ha ganado más adeptos, abarcando por lo general tanto el conjunto de conocimientos básicos, como el amplio abanico de aplicaciones reales o venideras; englobando por tanto las distintas ramas de las nanociencias y de las nanotecnologías.

El prefijo *nano*, del griego *nannos* (muy pequeño), se convirtió al latín como *nanus*, que significa enano. Este prefijo se aplica para indicar que es mil millones de veces menor que la unidad de referencia, ya sea de longitud, masa, tiempo, etc.

Así, el nanómetro (nm) es la unidad de longitud equivalente a la milmillonésima parte del metro; espacio que permite alinear hasta un número máximo de diez átomos. Como referencia, $1 \text{ nm} = 10 \text{ \AA}$, siendo \AA el tamaño promedio de un átomo. Asimismo, el tamaño de una nanopartícula está comprendido entre 1 y 100 nm [2].

Las propiedades de las nanopartículas se analizan individualizadamente, pero cuando se agrupan formando conglomerados de nanopartículas entre sí, se puede hablar en este caso de materiales nanoestructurados, cuyas propiedades vienen determinadas por las propiedades intrínsecas de las nanopartículas y por la interacción entre ellas. Se puede citar, a título de ejemplo, el hueso, que es esencialmente un nanocompuesto de nanocristales de hidroxiapatita y la proteína colágena tipo -1.

De forma genérica, a las nanopartículas se les denomina igualmente nanomateriales. El interés de los nanomateriales se debe a que sus propiedades físicas y químicas pueden ser moduladas sistemáticamente por la variación del tamaño conforme a las leyes del escalamiento.

Pero, qué se entiende por nanotecnología y cuáles son sus aplicaciones. Por nanotecnología se entiende el estudio, diseño, creación y aplicación de materiales a nanoescala a través del control de la materia, reordenando los átomos y la estructura molecular.

La fabricación a nanoescala exige un nuevo estudio interdisciplinar, tanto en su investigación como en sus procesos de fabricación, considerándose para ello dos metodologías o líneas de trabajo: de un lado, el enfoque «de arriba abajo» (top-down) o proceso de ensamblaje, que consiste en la miniaturización de los microistemas; y, de otro, el enfoque «de abajo a arriba» (bottom-up) o proceso de síntesis, consistente en imitar la naturaleza a través del desarrollo de estructuras a partir de las estructuras atómica y molecular.

Las aplicaciones que ofrece la Nanotecnología son impresionantes y será posible, a lo largo de dos décadas, obtener potenciales avances que ahora parecen de ciencia-ficción. Las principales líneas en las que la Nanotecnología jugará un papel fundamental son, entre otras, las que siguen [3]:

- Aplicaciones estructurales (cerámicas y materiales nanoestructurados, nanotubos, recubrimientos con nanopartículas, etc.)
- Procesamiento de la información (materiales magnéticos)
- Nanobiotecnología
- Sensores
- Procesos catalíticos y electroquímicos

Muchas disciplinas ya se han apropiado del prefijo «nano» para identificarse con los nombres de Nanoquímica, Nanomedicina, Nanomecánica, etc.

En lo que al sector de la Construcción se refiere, las aplicaciones estructurales son las que van a permitir el desarrollo de nuevos materiales y mejoras en sus procesos de fabricación (de gran eficiencia energética y un menor consumo de recursos naturales), así como nuevas técnicas de construcción.

Mediante la nanotecnología se pueden desarrollar materiales más resistentes que el acero, con sólo un 10% de su peso. La nanotecnología ya se ha aplicado en el sector de la Construcción, en la fabricación de aceros y hormigones más resistentes, aportando

mejoras en infraestructuras y edificación. Se han desarrollado polímeros integrantes de barreras protectoras en las carreteras que reparan sus propios desperfectos causados por la colisión de vehículos. Igualmente, repara fisuras y oquedades en el hormigón y el asfalto, sin intervención humana.

Es necesario señalar, acerca de los materiales de construcción, que hasta finales del siglo pasado las propiedades requeridas en los materiales, para su producción en gran escala, eran fundamentalmente la resistencia y la dureza; ahora, los efectos por la reducción de su tamaño van a originar dos grandes y nuevos retos: por un lado, cómo caracterizar adecuadamente las nanopartículas; y, de otro, cómo utilizar sus nuevas propiedades. Para el desarrollo de estos nuevos materiales será necesario la combinación de diversas disciplinas: la física y la química aplicada a los materiales y la ingeniería. Los avances de la ciencia de los materiales mediante el recurso a la nanotecnología son de gran alcance y su impacto se dejará sentir en casi todos los sectores.

Por último, debemos preguntarnos qué *beneficios* aportará *al medio ambiente* la fabricación y producción de nanomateriales aplicados a la Construcción, y si tendrán un menor impacto ambiental que los actuales materiales de construcción. Lo cierto es que, sin desmerecer los riesgos que pueda comportar la nanotecnología, inicialmente son múltiples las ventajas que conlleva un uso adecuado de dicha tecnología:

- En primer lugar, permitirá una reducción del uso de los recursos naturales, dado que la cantidad de material que se empleará en estos procesos de producción (donde se ahorren materias primas y recursos energéticos) será mínima
- En segundo lugar, consecuencia de lo anterior, contribuirá a reducir la generación de residuos

Como inconvenientes, es necesario citar que no existen suficientes datos para juzgar la toxicidad de los nanomateriales y muy probablemente no todos van a ser biológicamente inertes. A este eventual impacto ambiental, hay que añadirle el impacto social que provoca la nanotecnología en los ciudadanos, que desconocen prácticamente su existencia y sus posibilidades. En este sentido, la confianza del público y la aceptación de la nanotecnología serán cruciales para su desarrollo a largo plazo y para el aprovechamiento de sus potenciales ventajas.

Como señala la Comunicación de la Comisión de las Comunidades Europeas: «Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías», que a continuación se analiza, dadas las posibilidades de obtener rendimientos mayores utilizando menos materias primas, en particular mediante la fabricación «abajo arriba», la nanotecnología tiene el potencial para reducir la generación de residuos a lo largo de todo el ciclo de vida del producto; de este modo, la nanotecnología puede contribuir a la realización del desarrollo sostenible y al logro de los objetivos recogidos en la «Agenda 21»[4] y en el Plan de acción en materia de tecnología medioambiental[5].

3. LA NANOTECNOLOGÍA EN LA UNIÓN EUROPEA Y ESPAÑA

La nanotecnología en Europa se ha consolidado a través del VI Programa Marco de la Unión Europea, al adoptarse por la Comisión, el 12 de mayo de 2004, la Comunicación titulada: «*Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías*», COM (2004) 338. La estrategia, que deberá ser segura, integrada y responsable, tiene como objetivo fundamental reforzar el liderazgo de la Unión en I+D+i en el ámbito de las nanociencias y las nanotecnologías, abordando los aspectos relacionados con el medio ambiente, la salud, la seguridad y la sociedad.

Asimismo, se subraya la importancia de la nanotecnología, que al reunir con frecuencia distintas áreas científicas se ve favorecida por enfoques interdisciplinarios, esperándose que permita introducir innovaciones que den respuesta a muchos de los problemas a que se enfrenta la sociedad en la actualidad, a saber: aplicaciones médicas, tecnologías de la información, la producción y almacenamiento de energía, los avances de la ciencia de los materiales, la fabricación, la investigación sobre los alimentos, el agua y el medio ambiente y la contribución a la seguridad.

Básicamente, las líneas de la referida estrategia se centran en cinco dinámicas para estimular el progreso, que son las siguientes: investigación y desarrollo, infraestructura, inversión en recursos humanos, innovación industrial e integración de la dimensión social.

A esta estrategia en el marco de la Unión Europea le sigue un Plan de Acción que define una serie de iniciativas articuladas e interconectadas para la aplicación inmediata de una estrategia segura, integrada y responsable en materia de Nanociencia y Nanotecnología, basada en los ámbitos prioritarios establecidos en la citada comunicación. Plan de Acción, de 7 de junio de 2005, que lleva por título: «*Nanociencias y nanotecnologías: Un plan de acción para Europa 2005-2009*», Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo y al Comité Económico y Social Europeo [COM (2005) 243][6].

El auge en la Unión Europea de las iniciativas nanotecnológicas ha sido abundante, hasta el punto de que hoy día existen más de 160 redes nacionales o regionales dedicadas a aunar esfuerzos en esta materia.

Por lo que respecta al *marco legal de la nanotecnología*, es necesaria una regulación armonizada en aras a minimizar el riesgo y garantizar la salud y la protección del medio ambiente[7]. La regulación existente se basa frecuentemente en parámetros que podrían resultar inadecuados para determinadas aplicaciones de la nanotecnología, tales como las nanopartículas sueltas; pero en cualquier caso se exige que la I+D también debe tener en cuenta el impacto de las nanotecnologías a lo largo de todo su ciclo de vida, por ejemplo, mediante el uso de instrumentos de evaluación del ciclo de vida.

Asimismo, es necesaria la elaboración de pre-normas que tengan en consideración las necesidades de la industria en términos de medición rápida y de control. El Comité Europeo de Normalización (CEN) ha creado recientemente un grupo de trabajo dedicado a la nanotecnología. En la misma línea, se ha propuesto a ISO para que elabore un nuevo campo de actividad técnica en nanotecnologías. El alcance de la propuesta identifica tareas específicas de estandarización en el campo de la nanotecnología tales como clasificación, terminología y nomenclatura, metrología básica, caracterización, incluyendo calibración y certificación, riegos y temas medioambientales.

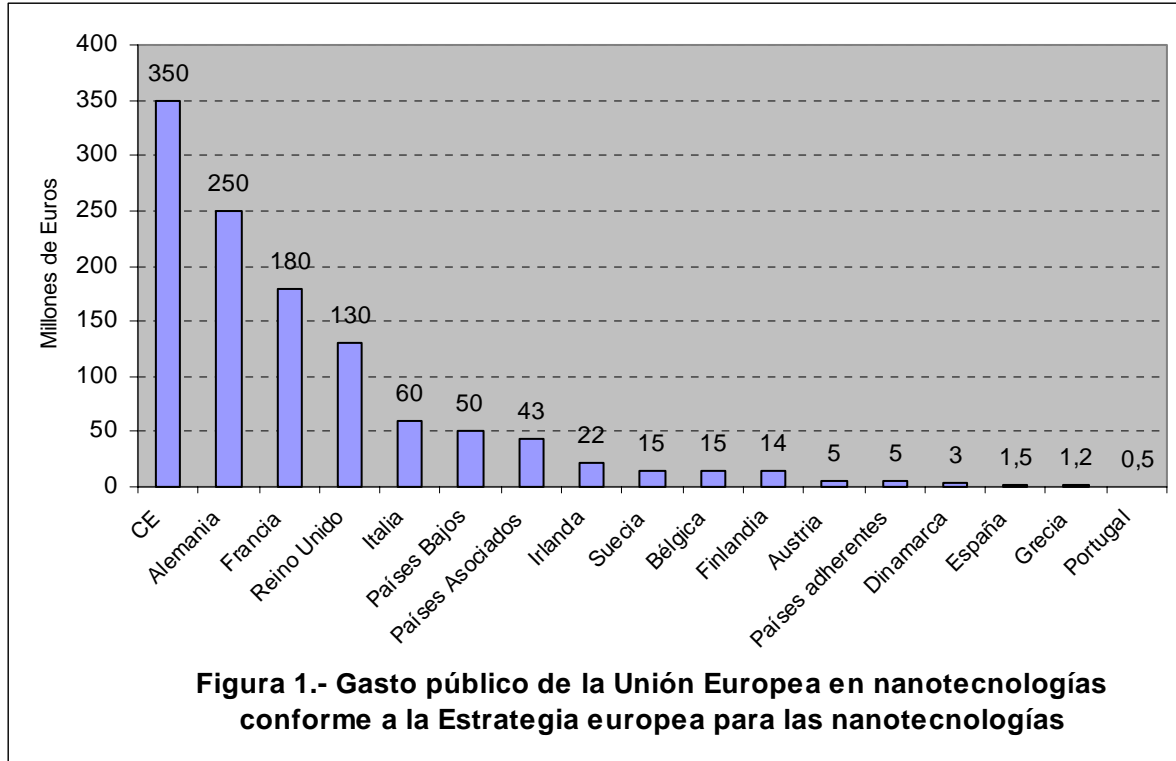
Por lo que se refiere a la nanotecnología aplicada a la Construcción, en concreto a sus materiales, cabe señalar, de un lado, el proyecto europeo «NANOCONEX» y su informe relacionado con el estado de la tecnología al respecto y un «road map» de los futuros desarrollos de la nanotecnología aplicada a las necesidades de la industria de la Construcción; y, de otro, «Nanotechnology in Construction Materials», de RILEM, bajo el Comité Técnico TC-197 NCM; sin olvidarnos, por último, de «E-CORE» (Red europea de la investigación de la construcción) y de «NANOCOM» (The Scottish Centre for Nanotechnology in Construction Materials).

En torno a la situación de *la nanotecnología en España*, es conveniente señalar que resulta paradójica la situación, pues a pesar de existir un amplio grupo de investigadores, no encontramos específicamente un Programa Nacional dedicado a la nanotecnología.

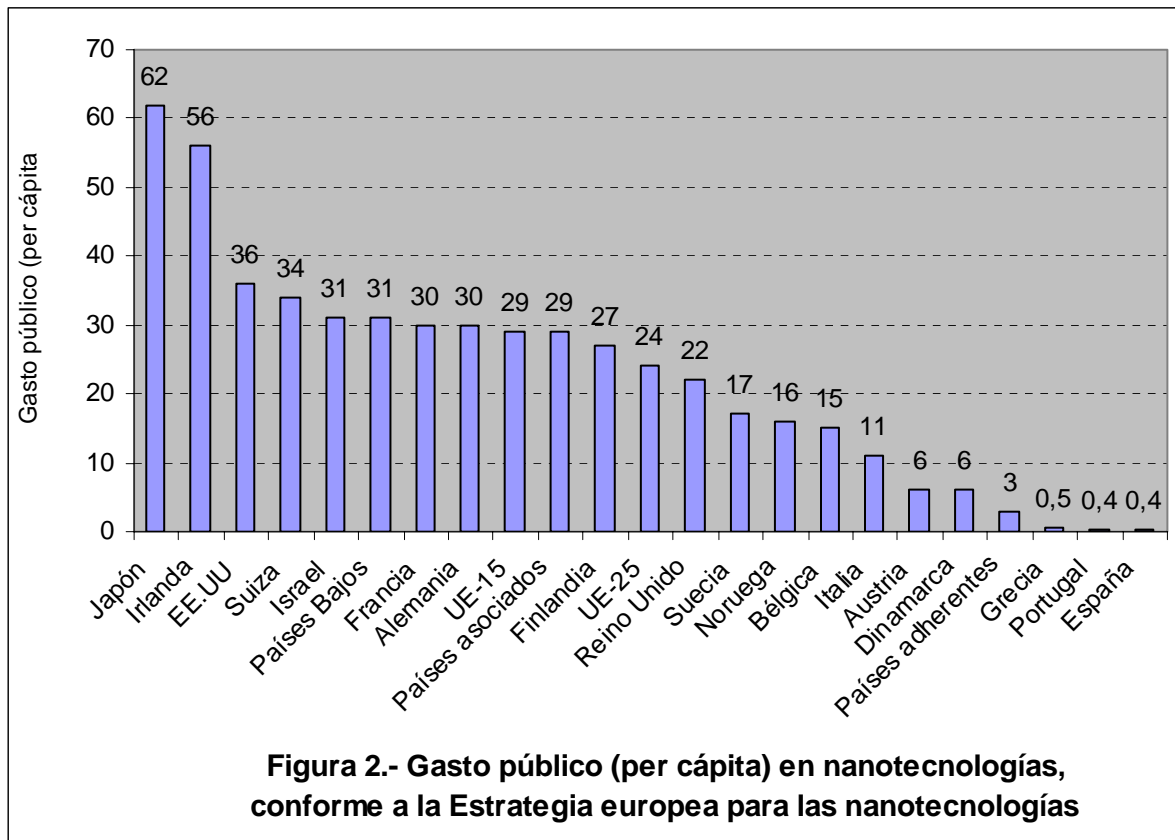
En España destaca genéricamente la nanociencia sobre la nanotecnología, desarrollada a partir de algunos centros de investigación, como Universidades y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas; siendo escasas las iniciativas en materia de nanotecnología, como la Red Nanociencia -financiada por el Ministerio de Ciencia y Tecnología- o la Red NanoSpain, que concentra a más de 80 grupos de investigación.

Respecto a la nanotecnología aplicada a los materiales de construcción, en España se pueden citar, entre otras, a «NANOC» (Centro de Aplicaciones de los Nanomateriales en Construcción), de la Fundación Labein, en el País Vasco; y «RENAC» (Red para la aplicación de nanotecnologías en materiales y productos para la Construcción y el Hábitat), integrada por 16 grupos de investigación de la Comunidad de Valencia, la mayor red española dedicada a la nanotecnología en la industria de la Construcción.

Sin embargo, lo más significativo del caso de España es su casi nula financiación pública dedicada a la nanotecnología. La Figura 1 muestra el gasto público, en millones de euros para el año 2003, ocupando el último lugar, junto con Grecia y Portugal.



Asimismo, en la Figura 2 se observa la comparación de los niveles de financiación en nanotecnologías entre la UE-15, la UE-25, algunos países adherentes, los principales países asociados al VI Programa Marco, EE.UU y Japón, sobre una base per capita para el mismo año 2003. En esta lamentable Figura ya no hay dudas, España ocupa patéticamente el último lugar.



De lo que se deduce que España padecerá, si no adopta las medidas oportunas en materia de inversión, el mal endémico que se inició en la Primera Revolución Industrial y que culminó con su absoluta y total *dependencia tecnológica*. Esta es la oportunidad, por tanto, que no debe desaprovechar España para subirse al tren de la ya denominada *Segunda Revolución Industrial*.

4. LOS NANOMATERIALES APLICADOS A LA CONSTRUCCIÓN

Los nanomateriales vienen caracterizados fundamentalmente por las nuevas propiedades físicas y químicas obtenidas a escala nanométrica. Así, la resistencia, elasticidad, conductividad térmica, entre otras propiedades, se comportan de diferente modo y manera a cuando son sometidos a escala macroscópica.

De las características más importantes de los nanomateriales, sobresalen sus extraordinarias propiedades mecánicas. Aparte del comportamiento elástico -caracterizado por el módulo de Young, y que indica que los nanomateriales muestran una gran resistencia a la extensión, compresión y doblamiento-, otra característica importante es que bajo condiciones mecánicas extremas, son capaces de absorber la deformación sin romperse. En muchos casos, además, pueden restablecer su forma inicial tras cesar dicha carga [8].

En cuanto a su aplicación a la Construcción, la nanotecnología, sin lugar a dudas, va a experimentar una gran transformación en el sector; sin embargo, esta metamorfosis se va a centrar, en mayor medida, en el uso o empleo de los materiales de construcción, dado que los materiales multifuncionales de altas prestaciones se obtendrán a través de nuevos modelos de producción que permitirán una mayor eficiencia en el uso de los recursos naturales y la energía.

Y en relación con sus aplicaciones específicas a la edificación, cabe señalar el proyecto australiano denominado «Nano House Initiative», que centra su actividad en la explotación de nuevos materiales y procesos por aplicación de la nanotecnología, en aras a desarrollar un código de las mejores prácticas en edificación sostenible y respetuosa con el medio ambiente, empleando para ello materiales basados en la nanotecnología.

En la actualidad ya existen nanomateriales o nanopartículas de TiO₂ de especial relevancia para la industria de la Construcción. Su aplicación a los vidrios, ventanas y azulejos, permite limpiar, disolver y eliminar los gases tóxicos que contaminan el aire, al ser expuestos a rayos solares y a la lluvia. Cuando los rayos UV entran en contacto con el dióxido de titanio se produce una reacción catalítica (técnica foto-catalítica) que destruye las moléculas contaminantes.

El propio hormigón -material de construcción tradicional, pero de microestructura compleja- debe sus propiedades, en gran parte, al gel C-S-H de la matriz cementicia, que no deja de ser un material nanoestructurado con propiedades modificadas por una red de poros y microfisuras, cuyos tamaño pueden variar desde unos nanómetros hasta milímetros. El conocimiento de su nanoestructura y las fases del gel permitirán abrir el abanico de productos derivados del cemento con propiedades multifuncionales.

Otro campo es el del acero para armaduras, modificado nanoestructuralmente, con una resistencia a la corrosión similar a la de los aceros inoxidable, de menor coste y con propiedades mecánicas superiores a los aceros de alta resistencia.

Por su parte, la domótica experimentará un gran desarrollo con los nuevos nanosensores embebidos en las estructuras, que permitirá una monitorización continua y diagnóstico de su estado, además de los beneficios por eficiencia energética.

Para finalizar, se debe señalar que existen nanoestructuras activas que permitirán desarrollar cerámicas bioactivas, materiales y componentes de carácter activo/adaptativo, materiales con capacidad de auto-reparación, tanto en el campo de los materiales

compuestos, como en el caso del asfalto y el propio hormigón, y materiales con memoria de forma [9].

5. ALGUNAS REFLEXIONES

La nanotecnología es una realidad indudable que comienza a extenderse a la industria de la Construcción, donde sus aplicaciones pueden ofrecer múltiples y variadas posibilidades. Si bien las aplicaciones en este sector se encuentran en una fase de investigación embrionaria, hoy el mercado ya ofrece la posibilidad de adquirir materiales inteligentes y multifuncionales elaborados a partir de nanopartículas.

Cierto es que la reducción de recursos naturales y de residuos en la elaboración de nanomateriales va a suponer un importante beneficio para el medio ambiente; sin embargo, no es menos cierto que el impacto social que eventualmente provoca la nanotecnología en los ciudadanos va a suponer un serio obstáculo en su aplicación y aceptación, como consecuencia de dos factores relevantes: el primero, por el desconocimiento de su existencia y sus posibilidades; y, el segundo, por la ausencia total de una regulación legal adecuada que permita conocer cuáles son sus ventajas e inconvenientes.

Por último, y en el caso de España, su dependencia tecnológica será un hecho a medio plazo si no adopta las medidas necesarias relativas a inversión en investigación, dado que a día de hoy su gasto público per cápita en nanotecnologías es ínfimo.

REFERENCIAS

- [1] Torres, T.: Nanoquímica y nanotecnología: nuevos materiales, polímeros y máquinas moleculares. Encuentros multidisciplinares. Vol. 4, nº 12 (2002)
- [2] Castellanos-Román, M.: Nanotecnología: La última revolución industrial. Educación Química. Vol. 14, nº4 (2003)
- [3] Serena, P.: Nanociencia y nanotecnología: aspectos generales. Encuentros multidisciplinares. Vol 4, nº 12 (2002)
- [4] <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/index.htm>
- [5] http://europa.eu.int/comm/research/environment/etap_en.html
- [6] <http://www.cordis.lu/nanotechnology>
- [7] Arenas, F.: El impacto ambiental en la edificación. Criterios para una construcción sostenible. Madrid: Edisofer 2007
- [8] Miravittles, C.; Serra, F.: Nanotecnologia i nanomaterials: el paradigma del segle XXI. Barcelona: Residència D' Investigadors 2002
- [9] Porro, A.: Nanotecnología, el camino hacia los materiales del futuro. Cemento hormigón. nº 877 (2005)