

Cuando la alta tecnología se encuentra con la baja tecnología: dinámicas de eco-innovación y estrategia corporativa en el sector de la construcción

A lo largo de los últimos años, la innovación verde o eco-innovación se ha ido convirtiendo cada vez más en uno de los principales impulsores del desarrollo económico. Es un cambio importante respecto a épocas anteriores, cuando en general el medio ambiente era considerado una carga para los negocios. Este artículo recoge un análisis empírico y teórico de las dinámicas de «ecologización» de la industria para comprender mejor las condiciones competitivas de la eco-innovación, en continuo cambio y en distintos contextos económicos. Estudiamos el caso de la estrategia corporativa de las empresas que intervienen en la cadena de ventana danesa respecto de la nanotecnología ecológica, aplicando el enfoque de las «capacidades evolutivas». La nanotecnología es interesante por encontrarse en la primera fase de desarrollo, por su potencial ecológico previsto y los riesgos medioambientales asociados a ella. También es un ejemplo de la vertiente más tecnológica de la eco-innovación, y por lo tanto de la capacidad de absorción del sector de la construcción.

Azken urteetan berrikuntza berdea edo eko-berrikuntza gero eta gehiago bihurtzen ari da garapen ekonomikoaren bultzatzaile nagusienetako bat. Aldaketa garrantzitsua da aurreko garaiekin alderatuz, oro har ingurumena zamatzat hartzen baitzen negozioetarako. Artikulu honek industriaren «ekologizazio» dinamikien azterketa enpiriko eta teorikoa biltzen du, hobeto uler daitezzen eko-berrikuntzaren lehia-baldintzak, etengabe aldatuz doazela eta testuinguru ekonomiko ezberdinak dituztela. Danimarkako lehiokatean nanoteknologia ekologikoaren alorrean esku-hartzen duten enpresen korporazio-estrategiaren kasua aztertu dugu, «gaitasun ebolutiboan» ikuspegia aplikatuz. Nanoteknologia interesgarria da lehenengo garapen-fasean dagoelako, ahalera ekologikoa aurreikusi zaio-lako eta ingurumen-arriskuak dituelako lotuta. Era berean, eko-berrikuntzaren alderdi teknologikoenaren adibidea da eta, beraz, eraikuntza-sektorearen absortzio-gaitasunaren adibidea ere bada.

In recent years green innovation or eco-innovation has grown increasingly to become one of the main drivers of economic development. This is a major change with regard to earlier times, when the environment in general was considered as a burden for businesses. This paper presents an empirical and theoretical analysis of the dynamics of the «greening» of industry in an effort to learn more about the competitive conditions for eco-innovation against a background of continuous change and in various economic contexts. We study the case of the corporate strategies of firms involved in the chain of production of window in Denmark in regard to environment-related nanotechnology, using an «evolutionary capabilities» approach. Nanotechnology is of interest because it is at the early stages of development, because of its envisaged environmental potential and because of the environmental risks associated with it. It is also an example of the most high-tech side of eco-innovation and therefore of the absorption capacity of the construction sector.

ÍNDICE

1. Introducción
 2. Selección, organización y eco-innovación
 3. La innovación en la cadena valor de la ventana en Dinamarca
 4. La nanoinnovación ecológica en la cadena de ventanas danesa
 5. Conclusiones
- Referencias bibliográficas

Palabras clave: eco-innovación, ventanas, fabricación de vidrio, nanotecnología, nanotecnología ecológica.

Keywords: Eco-innovation, windows, glass manufacturing, nanotechnology, green nanotechnology.

N.º de clasificación JEL: L11, L22, L61, L74.

1. INTRODUCCIÓN

De un tiempo a esta parte el cambio climático se ha convertido en uno de los principales objetivos de las políticas globales, extendiéndose a todos los ámbitos de las políticas públicas y regiones. A raíz de esta política del clima, existe una nueva carrera global para liderar lo que los principales políticos califican como «revolución industrial verde» o «Green New Deal» (Obama, 2009; Brown, 2009). Existe un interés renovado por la innovación como medio para solucionar problemas medioambientales. Esta tendencia queda reflejada en el no-

vedoso concepto de innovación ecológica (la eco-innovación), cada vez más consolidado en el ámbito de la política (EC, 2009; OECD, 2009) internacional (EU y OECD). El concepto de eco-innovación está muy vinculado a las políticas de crecimiento ecológico, lo que simboliza una sinergia creciente entre las políticas medioambientales y la innovación (Kemp y Andersen, 2004; Andersen, 2006; Andersen y Foxon, 2009; OECD, 2009). En la actualidad la eco-innovación se considera un impulso esencial para el desarrollo económico, e incluso un medio de recuperación ecológica en la actual crisis financiera global (Milliband, 2007; Barroso, 2007; Andersen y Foxon, 2009; OECD, 2009).

Este nuevo interés por la eco-innovación, de especial relevancia durante el período 2007-2010, representa un cambio radical respecto de lo anterior. Hace tan solo unos años la política medioambiental

* El presente análisis se basa en la parte danesa del proyecto «Green Nanotechnology in Nordic Construction—Eco-innovation strategies and Dynamics in Nordic Window Chains» [«Nanotecnología ecológica en la construcción nórdica: estrategias y dinámica de eco-innovación en las cadenas de ventanas nórdicas»], un proyecto elaborado entre 2007 y 2009 financiado por el Centro Nórdico de Innovación.

gozaba de mucho menos prestigio, y las expectativas en cuanto a los efectos en la economía eran moderadas, cuando no negativas. En general, la mayoría de empresas consideraban una carga los asuntos relacionados con el medio ambiente, y tanto el sector empresarial como los responsables de formular políticas (Kemp y Andersen, 2004) los veían como una capacidad competitiva general. Por lo tanto, las políticas de innovación y las medioambientales solían ser opuestas (Andersen, 2006, 2009).

Este artículo pretende ayudar a comprender la dinámica industrial de ecologización de la industria y cómo ha ido cambiando con el paso del tiempo. Aplicando la perspectiva de la economía evolutiva, este artículo plantea interpretar el aumento de la eco-innovación y el mercado ecológico como una fase histórica específica (Andersen, 2010a, 2010b). Disponemos de poca información sobre la dinámica cambiante de esta evolución económica verde a lo largo del tiempo, y cómo afecta a las distintas partes de la economía, teórica y empíricamente. Uno de los principales motivos es que la economía neoclásica ortodoxa ha dominado siempre la investigación medioambiental y la formulación de políticas y, con su noción estática de racionalidad y de atención a la asignación de fondos a corto plazo, no se ha percatado de que los mercados se están volviendo más ecológicos (Andersen, 2010a, 2010b).

El enfoque de la economía evolutiva es bastante distinto, ya que se centra en el papel de la innovación en el desarrollo económico y social a largo plazo. Se parte de que las condiciones competitivas están en constante cambio (Nelson y Winter, 1982). Uno de los principa-

les intereses en este campo es analizar el ritmo y la orientación del cambio tecnológico (Dosi, 1982). La interpretación de la eco-innovación desde esta perspectiva implica preguntarse qué hace que la economía adopte un enfoque ecológico (Andersen, 1999, 2002, 2010b).

El artículo pretende contribuir al debate con un análisis empírico de las estrategias corporativas en eco-innovación dentro de una cadena de valor, y plantea valiosas ideas para comprender la dinámica de la ecologización de la industria. Dicha perspectiva ha sido muy poco aplicada al ámbito medioambiental (véase Andersen, 1999, 2002). La bibliografía sobre capacidades evolutivas analiza los cambios en la organización económica resultantes del proceso económico; así es cómo se organizan las empresas y coordinan su producción y aprendizaje en mercados dinámicos (Teece, 1986, 1996; Liebermann y Montgomery, 1988, 1998; Langlois y Robertson, 1995; Langlois, 1992, 2003, 2004). Con el estudio de la estrategia corporativa de las empresas desde la perspectiva de cadena de valor, el análisis pretende captar cómo reaccionan a las nuevas oportunidades de obtener beneficios empresas interdependientes pero heterogéneas, en distintos puntos de la cadena.

Sin embargo, gran parte de los análisis medioambientales desde la cadena de valor de la empresa suelen ser de gestión y prescriptivos. Además, hasta ahora el análisis económico más evolutivo se centraba sobre todo en los efectos de la normativa medioambiental en la eco-innovación (Rennings, 2000, 2003; Hübner *et al.*, 2000; Markusson, 2001; Kemp, 2000; Foxon, 2005, 2007; van den Bergh *et al.*, 2006, 2007; Reid y Miedzinski, 2008; Carrillo-Hermosilla *et al.*, 2009). En general, se han lle-

vado a cabo pocos análisis de la dinámica industrial de ecologización de la industria per sé. Dado que los datos y estadísticas sobre eco-innovación son escasos (Kemp y Pearson, 2007; Andersen, 2007; OECD, 2009), en términos generales sabemos muy poco sobre las tendencias en ecologización de distintas industrias, y todavía menos de las dinámicas de ecologización en las cadenas de valor.

El caso empírico escogido es el interés despertado por la nanotecnología ecológica en el sector de la construcción. Más concretamente, el artículo se basa en un estudio cualitativo de la estrategia corporativa en la cadena de ventanas danesa. Se ha seleccionado el sector de la construcción por ser un sector muy tradicional, con un perfil bastante bajo en tecnología y conservador (Gann, 2003). Además tiene un impacto medioambiental muy elevado, en forma de producción de residuos y consumo energético. Dado que las construcciones suponen el 40% del consumo energético global, el sector cada vez se ve más afectado por el programa de mitigación del cambio climático (Elvin, 2007; Andersen *et al.*, 2010). La eficiencia energética se ha convertido en uno de los tres principales objetivos de las políticas sobre el clima, los dos restantes son la reducción de CO₂ y el crecimiento en tecnologías de energías renovables. Asimismo, en general en la construcción se considera la eco-innovación como un medio importante para desarrollar un estilo de vida más eficiente en cuanto a los recursos, ya que los edificios influyen mucho en el uso de energías y recursos como usuario.

La nanotecnología es un caso interesante por sus elevadas expectativas respecto de las oportunidades medioambientales. La nanotecnología es la capacidad

de analizar y manipular material en nanoescala, donde las propiedades químicas son muy distintas. Pese a encontrarse en una etapa de desarrollo muy temprana, se percibe como una tecnología con fines generales y previsiones de convertirse en un importante impulsor del desarrollo económico y social global, que posiblemente significará la próxima revolución industrial (Laredo *et al.*, 2010; Shapira *et al.*, 2010). La nanotecnología es un campo prioritario en la mayoría de países que atrae enormes inversiones globales (Nanoforum, 2003, 2004; BMPF, 2004; Royal Society, 2004; Aitken *et al.*, 2006; National Research Council, 2006; Lux, 2007; NSET, 2009). Desde un principio se le ha promocionado de forma exagerada, muchas veces cercana a la ciencia ficción con especulaciones sobre reestructurar el planeta átomo por átomo y por las enormes expectativas respecto a los problemas que podría solucionar, como por ejemplo los medioambientales, la salud y el hambre.

No obstante, también se asocia a riesgos importantes para la salud y el medio ambiente (véase EC, 2004; Royal Society, 2004; Andersen y Rasmussen, 2005; Friends of the Earth Germany, 2007; Elvin, 2007; Schmidt, 2007). En el sector de la construcción se ha hecho hincapié en los nanopotenciales ecológicos, pero aun así sabemos más de los potenciales que de las tendencias reales en la comercialización (Elvin, 2007; Schmidt, 2007; Andersen y Molin, 2007; Andersen *et al.*, 2010).

La nanotecnología es un caso interesante de eco-innovación debido a las elevadas expectativas en cuanto a las oportunidades de beneficio ecológico, unidas a la preocupación por los riesgos para el medio ambiente y la salud. La cuestión es: ¿cómo

reaccionan las empresas a esas señales confrontadas? Además, la nanotecnología es un caso de alta tecnología emergente, mientras que el sector de la construcción es bastante poco tecnológico. Eso suscita preguntas generales acerca de la capacidad de absorción de la nanotecnología en el sector de la construcción. La nanotecnología ha sido poco estudiada en el sector de la construcción, pero al parecer está surgiendo un ligero interés por ella en el sector (Gann, 2003; Crisp/SPRU, 2003; Bartos *et al.*, 2004; Zhu *et al.*, 2004; Fellenberg y Hoffschulz, 2006; Andersen y Molin, 2007; Geiker y Andersen, 2009).

Además, gran parte de la eco-innovación en el sector de la construcción solía ser poco tecnológica, como las viviendas de arcilla sin quemar, casas de paja, etc. que formaban parte de «ecopueblos», a menudo creados por ONG ecológicas. El interés por la eco-innovación de alta tecnología en el sector de la construcción es relativamente nuevo.

El análisis empírico investiga: a) las estrategias y actividades innovadoras de distintos tipos de empresas en la cadena de valor de la ventana en Dinamarca relacionadas con la nanotecnología y la eco-innovación y b) el nivel de desarrollo del mercado, es decir, la emergencia respectivamente de la eco-innovación y la nanotecnología como criterios de selección en el mercado, como por ejemplo cuándo y cómo utilizan los productores y usuarios respectivamente los términos ecológico y nano en el mercado. La cuestión es si la eco-innovación funciona como impulsora de la introducción de nanotecnología. En el análisis empírico se pone énfasis principalmente en los dos pasos intermedios de la cadena de valor, los principales productores de vidrio y ventanas, que atraen a los proveedores corres-

pondientes (nanoinnovadores), mientras que otros clientes y tendencias de la demanda más lejanos se tratan de forma más indirecta (tal y como lo perciben los actores mencionados).

El núcleo y la intención del artículo es ilustrar cómo se puede aplicar la perspectiva de las capacidades evolutivas al análisis de la ecologización de la industria, en este caso la cadena de ventanas dentro del sector de la construcción.¹ El artículo no pretende estudiar los detalles de la eco-innovación en contraposición a otras innovaciones, ya que implicaría un debate conceptual más profundo (véase Andersen, 1999, 2006 para reflexiones anteriores sobre este tema).

En el artículo se detecta un cambio importante en la estrategia empresarial de eco-innovación durante los últimos años. La eco-innovación se está convirtiendo en un asunto mucho más importante para muchas empresas en la cadena de valor de la ventana, y además está influyendo en las actividades y estrategias innovadoras en muchos sentidos, también respecto de la nanotecnología.

La estructura del artículo es la siguiente: en el segundo apartado se tratan las consideraciones teóricas e hipótesis vinculando los procesos de selección y la dinámica organizativa con la eco-innovación y la nanotecnología; la tercera parte es una breve introducción a la cadena de ventanas y ofrece una perspectiva general de las empresas analizadas; el cuarto apartado analiza la estrategia corporativa en

¹ Véase Andersen, 1999, 2002 para consultar un análisis de la dinámica de eco-innovación en la cadena del papel, y Andersen 2010 para obtener una comparación de la cadena de ventanas y la cadena del papel.

la cadena de ventanas danesa, y se finaliza en el apartado quinto con las conclusiones.

2. SELECCIÓN, ORGANIZACIÓN Y ECO-INNOVACIÓN

La perspectiva de la economía evolutiva se centra en el papel de la eco-innovación en el desarrollo económico y social a largo plazo. Se parte de la premisa de que las condiciones competitivas están en constante cambio (Nelson y Winther, 1982). Además, externalidades negativas, como la degradación medioambiental, no están dadas sino sujetas al cambio, ya que las condiciones marco y de innovación van cambiando con el tiempo, de modo que originan nuevas externalidades, así como la formación de nuevas estructuras institucionales para enfrentarse a ellos (Nelson y Winter, 1982). Esta visión del proceso económico abre la posibilidad de que los factores externos se interioricen en el proceso económico y que el mercado se vuelva ecológico (Andersen, 1999, 2009, 2010).

Hasta ahora la eco-innovación ha sido definida también por los economistas evolutivos (Kemp y Pearson, 2007) en términos técnicos, centrados en el tipo de impactos medioambientales que paliar las tecnologías. Una interpretación económica evolutiva definiría el concepto en términos económicos. Las eco-innovaciones son innovaciones capaces de atraer rentas ecológicas al mercado (véase también Andersen, 1999, 2002, 2006, 2008a, 2008b, 2010a, 2010b). Son innovaciones que (al parecer) reducen el impacto medioambiental global al tiempo que crean valor en el mercado. La eco-innovación es una

medida de hasta qué punto se están integrando las cuestiones medioambientales en el proceso económico. No es decisivo lo ecológica que sea una innovación, sino hasta qué punto el parámetro medioambiental se ha convertido en un parámetro de selección en el mercado. Así, el concepto queda intrínsecamente ligado a la competitividad ecológica y a la evolución de la economía ecológica. Las eco-innovaciones, como otras innovaciones, pueden ser técnicas, organizativas o de marketing, siempre y cuando mejoren la competitividad ecológica de una empresa (Kemp y Andersen, 2004; Andersen, 2006, 2008b). Existen básicamente dos maneras en que una empresa puede atraer rentas ecológicas en el mercado: a) consiguiendo un precio preferencial por su reputación o productos ecológicos, b) alcanzando mayores niveles de eficiencia de recursos o reduciendo los altos costes de la gestión de residuos. Varios estudios empíricos han demostrado que los incentivos para comprometerse con la eco-innovación varían mucho en los distintos tipos de empresas y sectores, pero aún se necesita más información sobre el tema (Malaman, 1996; Ulhøi, 2000; Horbach (ed.), 2005; Kemp y Pearson, 2007).

El tema de investigación surgido de la perspectiva de las capacidades evolutivas relacionadas con la eco-innovación es cómo organizan las empresas su innovación en un mercado en proceso de ecologización. Según las teorías de organización económica, las capacidades de la empresa constituyen los factores más significativos para determinar qué hará la empresa o el mercado (Penrose, 1959; Richardson, 1972). Partiendo de dicha premisa, el presente artículo sugiere aplicar el modelo basado en tres pilares desarrollado por Lan-

glois y Robertson (1995) y Langlois (1992, 2003, 2004). El modelo conecta microfundamentos (capacidades y parámetros tecnológicos) con el mercado agregado y los desarrollos institucionales para analizar el cambio económico a largo plazo. De ahí que guarde cierto parecido con el modelo de sistemas de innovación (nacional) (Lundvall, 1992, 2007; Nelson, 1993), pero con una base microteórica más sólida. Pese a que el modelo de Langlois ha sido desarrollado principalmente para estudiar grandes cambios estructurales en la organización económica, es decir, el papel cambiante de las grandes empresas (chandlerianas) respecto de las pequeñas en innovación, con distintas condiciones (históricas) más globales. Este modelo también puede aplicarse al estudio de la evolución de la economía ecológica y la de la nanotecnología. El presente artículo pretende aplicar este marco al análisis del desarrollo de la nanotecnología ecológica en la cadena de valor de la ventana.

Los tres pilares son²:

1. La distribución de las capacidades existentes en la empresa y el mercado. ¿Las capacidades existentes están bien distribuidas o limitadas a las grandes empresas?
2. La naturaleza sistémica/autónoma del cambio económico. ¿Para aprovechar las nuevas oportunidades de beneficio es necesaria una reorganización sistémica de las capacidades, incluido el aprendizaje de nuevas capacidades, o el cambio se puede producir de forma autónoma?

3. El nivel de desarrollo del mercado. ¿Hasta qué punto las capacidades necesarias pueden ser aprehendidas de forma inmediata del mercado o deben ser creadas partiendo de cero? ¿Hasta qué punto se cuenta con las instituciones correspondientes de apoyo al mercado?

Estos tres factores dependen en gran medida del tiempo y del espacio. Al parecer, a medida que las empresas van aprendiendo de modo desigual, va cambiando la fuerza relativa de las capacidades de la empresa y el mercado, lo que crea nuevas necesidades de coordinación entre las empresas interdependientes. Eso da lugar a consideraciones estratégicas sobre la integración o desintegración vertical dependiendo de los costes dinámicos de transacción (Langlois, 1992).

Los costes dinámicos de transacción son los costes de coordinación interempresarial que surgen cuando una empresa no cuenta con las capacidades cuando las necesita (Langlois, 1992, 2004). Son los costes de persuadir o formar a actores en cuestiones relacionales (proveedores o clientes) necesarios para una determinada innovación. En otras palabras, son los costes de poner a empresas interdependientes en la misma sintonía para garantizar una innovación coordinada y eficiente (Langlois, 1992). La cuestión estratégica a tener en cuenta por parte de la empresa es cómo abordar esos costes. Pueden llevar a una integración vertical o, de manera menos frecuente, forzar a las empresas a realizar actividades de coordinación (persuasión, formación) o a crear varias instituciones de apoyo al mercado, incluidos los estándares comunicativos o técnicos, formales e informales.

² El marco está modificado a partir de Langlois, 2003; p. 360.

3. LA INNOVACIÓN EN LA CADENA VALOR DE LA VENTANA EN DINAMARCA

Al hablar de la cadena de ventanas danesa nos referimos a las empresas activas en el mercado danés de ventanas, así como a sus proveedores y clientes. La mayoría tienen su sede en Dinamarca, pero, por supuesto, también intervienen actores internacionales. Se hace hincapié en el punto medio de la cadena de valor, los principales productores de vidrio y ventanas, incluyendo a sus proveedores (nanoactivos) y clientes (al por mayor o al detalle), mientras que los clientes finales y las tendencias globales se tratan de forma más indirecta (tal y como los perciben los actores mencionados). Los datos son bastante nuevos, basados principalmente en entrevistas realizadas durante 2009 y principios de 2010, pero también hay información obtenida de internet, datos secundarios y una encuesta nacional³, que ofrece un esquema de las actividades de nanoinnovación y su relevancia para la construcción en Dinamarca, así como estudios anteriores relacionados del autor en el ámbito de la nanotecnología, la nanotecnología ecológica y la nanoconstrucción (véase Andersen y Rasmussen, 2006; Andersen y Molin, 2007; Andersen, 2006; Geiker y Andersen, 2009; Andersen y Geiker, 2009).

La especialización vertical en la cadena de ventanas se caracteriza por tener unos

³ El análisis hace uso de las conclusiones del proyecto «Nanotecnología ecológica en la construcción nórdica: estrategias y dinámicas de eco-innovación en las cadenas de ventanas nórdicas». Para obtener más detalles de la metodología y fuentes utilizadas véase (Andersen, Sanden y Palmberg, 2010). Las empresas nanoinnovadoras a las que se hace referencia se encuentran parcialmente identificadas mediante la encuesta mencionada, y en parte a partir de las principales empresas de ventanas entrevistadas.

pocos fabricantes de vidrio multinacionales muy importantes que cuentan con tecnología avanzada, muchas compañías de procesamiento de vidrio y fabricantes de ventanas, en su mayoría pequeños y tradicionales, y una serie de empresas de la construcción orientadas a diversos proyectos (Andersen *et al.*, 2010). El resultado es un ambiente difícil para la innovación, mucho más para operaciones de alta tecnología. El sistema de innovación danés es pequeño, con unos pocos actores multinacionales grandes, universidades relativamente pequeñas, un nivel relativamente bajo de I+D, pero aun así con un rendimiento innovador en general elevado. Entonces, ¿qué tipo y alcance podemos esperar de las estrategias de eco-innovación e innovación en nanotecnología en la cadena de ventanas danesa? Y ¿cómo se relacionan?

A continuación el cuadro n.º 1 ofrece una visión global de las principales empresas de la cadena de ventanas danesa relevantes para el desarrollo de la nanotecnología. Son las empresas a las que volveremos durante el resto del artículo; las compañías analizadas con mayor detalle están en negrita. Las empresas aparecen en la lista según su posición en la cadena de valor.

El análisis de las siguientes secciones abarca la mayoría pero no todas las empresas nanoinnovadoras identificadas en la cadena de ventanas danesa, pero incluye los principales tipos de empresas que intervienen en dicha cadena. En total siete empresas conforman la base principal del análisis actual: una es una gran multinacional, tres son empresas de dimensión media y otras tres de reciente creación.

Las conclusiones generales son que, a pesar de la baja aceptación general de

Cuadro n.º 1

**Principales empresas estudiadas
en el caso de la cadena de ventanas danesa**

Empresas	Afiliación y país	Área de producto	Antigüedad
Fiberline Composites	DIN	Materiales compuestos para edificios y molinos de viento	Año 1979
Dyrop	DIN	Pintura	Año 1928
Accoat	DIN	Revestimientos	Año 1969
Superwood	VKR Group (DIN)	(Nano) preservación de la madera	Año 2002 (VKR 2006)
Photocat	DIN	Materiales nanofotocatalíticos para vidrio y suelo	Año 2009
ScanGlass	DIN bajo Saint-Gobain Glass (Fr)	Procesamiento de vidrio, venta al por mayor	Año 1935 (Saint-Gobain 1976)
Pilkington Denmark	DIN bajo Pilkington NSG Group (UK)	Venta al por mayor de vidrio y procesamientos menores	Año 1978
Sunarc Technology	DIN	(Nano-) hoja de vidrio para colectores solares, módulos de PV, invernaderos	Año 2000
VELUX	VKR Group (DIN)	Ventanas de techos y tragaluces	Año 1941
Dovista , compuesta por Velfac y Rationel	VKR Group (DIN)	Ventanas verticales y puertas	Dovista 2004 Velfac 1961 Rationel 1954
PRO TEC Vinduer	DIN	Ventanas verticales	Año 1993

Fuente: Basada en las páginas Web de las empresas y en las entrevistas. Los nombres de las empresas en cursiva hacen referencia a la empresa matriz. Las empresas en negrita son las que más se han analizado en este caso.

la nanotecnología en el sector de la construcción, sí existe un elevado número de aplicaciones de nanotecnología en la cadena de ventanas danesa, y la mayoría son ecológicas. Sin embargo, las principales eco-innovaciones no son nano. Tanto las

empresas de reciente creación, las multinacionales realmente grandes como, tal vez lo más sorprendente, las empresas medianas y pequeñas han demostrado desempeñar un papel importante aunque distinto en el desarrollo y la introducción de la nanotec-

nología (ecológica) en la cadena de ventanas. Sin embargo, mientras la eco-innovación va en aumento y se está convirtiendo en un impulsor cada vez más importante de la innovación en el sector de la construcción, la innovación en nanotecnología parece declinar en cierta medida. Todos los actores de la cadena de ventanas están buscando oportunidades de beneficios medioambientales, lo que también influye en las actividades de innovación en el ámbito de la propia nanotecnología aunque de forma más tímida.

Las empresas de la cadena de valor de la ventana utilizan como estrategia de venta la eco-innovación y no el uso de la nanotecnología, incluso esto también ocurre entre las empresas más activas en este último campo. Así, la eco-innovación se está convirtiendo en gran medida en un parámetro de selección, mientras que la nanotecnología no se encuentra en la misma etapa de desarrollo. También significa que hay mucha nanotecnología en la cadena de ventanas, y es poco conocida. A continuación ampliaremos los detalles de esas estrategias y actividades innovadoras.

4. LA NANOINNOVACIÓN ECOLÓGICA EN LA CADENA DE VENTANAS DANESA

4.1. Desarrollos en la creación de estrategias de eco-innovación

Sin duda, la eficiencia energética es el parámetro medioambiental más importante en el sector de la construcción danés; como hemos mencionado con anterioridad, el sector representa aproximadamente el 40% del consumo energético global. Gracias al creciente interés

por la eficiencia energética como objetivo político según el programa sobre el clima actual, la eficiencia energética se ha convertido durante los últimos años en el impulsor más importante de la innovación en la cadena de la industria de ventanas danesa. Hoy en día todas las empresas de esta cadena esperan que se introduzcan políticas más estrictas para la eficiencia energética, así como que ésta sea una oportunidad de beneficio clave y duradera.

En la industria de ventanas danesa, el papel de las ventanas en la eficiencia energética ha cambiado de forma radical, ya que ha pasado de formar parte del problema en la década de 1980 y 1990 a ser parte de la solución en este siglo. Gran parte de la innovación se ha producido en productos en vidrio de baja emisividad y control de energía⁴, lo que significa que las mejoras en las ventanas contribuyen no sólo a crear «edificios de emisión cero» sino también «edificios generadores de energía sobrante». Últimamente también se empieza a estudiar el marco de la ventana, así como la ubicación y uso de la misma. Las ventanas con una mayor eficiencia energética son hoy en día más eficientes que unas paredes bien aisladas, por lo que las fachadas de vidrio pueden competir con otros materiales de construcción, por lo menos en cuestiones energéticas. Gran parte de esta eco-innovación ha sido realizada por las grandes empresas multinacionales de vidrio, hasta cierto punto como extensión de la industria de automoción, más innovadora, y que es el segundo cliente en importancia del vidrio plano.

⁴ Low E = vidrio de baja emisividad, vidrio de control energético que reduce el sobrecalentamiento y por lo tanto la necesidad de ventilación, la cual consume mucha energía.

Hasta la década de 1980 se producía la situación contraria. Las amplias medidas políticas para mejorar la eficiencia energética de los edificios ya se habían iniciado en la década de 1950, y con el paso de los años la emisividad de energía del vidrio de las ventanas se fue limitando todavía más. La normativa medioambiental en el ámbito nacional, y cada vez más en el europeo, era y sigue siendo un impulso importante y muy directo de la innovación en la industria del vidrio y las ventanas. El marco de la ventana no se tenía en cuenta, pero en la década de 1980 las autoridades danesas introdujeron limitaciones en la cantidad (superficie) de ventanas que estaban permitidas en los nuevos edificios desde que fueron consideradas puntos de pérdida de energía. Por consiguiente, en aquel momento las ventanas eran un producto no ecológico y los productores de vidrio y ventanas tenían un perfil medioambiental negativo. Las grandes multinacionales del vidrio ya estaban muy comprometidas con el I+D para mejorar el rendimiento energético del vidrio. Por otra parte, la industria de ventanas era menos activa en aquella época. El diseño y mantenimiento eran y siguen siendo un criterio importante de producto, y las ventanas de madera-aluminio, elegantes y que requerían poco mantenimiento, ganaron popularidad entre los productores de ventanas daneses en los años noventa y principios del siglo XXI, pese a ser poco eficientes energéticamente.

El vidrio se había convertido en material bastante ecológico, pero el marco de ventana no, y los responsables de formular políticas y los usuarios se dieron cuenta demasiado tarde de que los marcos de ventana funcionan como puente térmico.

Durante los últimos años hemos observado un profundo cambio en la estrate-

gia de eco-innovación. Hoy en día se está produciendo una intensa búsqueda de nuevas oportunidades de beneficio ecológico por parte de todos los actores de la cadena de ventanas, por lo menos los que participan en el presente análisis, y ni mucho menos el caso de la industria de ventanas. Sin embargo, muchos de ellos representan los mayores actores de la cadena, sobre todo en la industria de ventanas. El caso de los actores más pequeños puede ser distinto.

Últimamente hemos detectado un interesante cambio estratégico en las mayores empresas de ventanas en Dinamarca, que han pasado de centrarse en desarrollar ventanas a ejercer de desarrolladores de edificios ecológicos. Cada vez están más implicados en eco-innovaciones sistémicas avanzadas relacionadas con la alta tecnología. Estas empresas han desarrollado estrategias de eco-innovación proactivas con el objetivo de demostrar que es posible desarrollar edificios energéticamente eficientes con una gran cantidad de ventanas. Por lo visto han tenido éxito.

A continuación estudiaremos con más atención las actividades eco-innovadoras entre los principales actores de la cadena de ventanas danesa, con especial hincapié en las que utilizan nanotecnología. Primero nos centramos en la industria del vidrio y a continuación en la industria de ventanas.

4.2. **Nanoinnovación ecológica**

La industria del vidrio

La principal entrada de la nanotecnología en la cadena de ventanas danesa se ha producido a través de las grandes multina-

cionales del vidrio. Las compañías Pilkington y Saint Gobain dominan los mercados del vidrio danés y nórdico a través de sus sedes nacionales o filiales dentro del procesamiento y distribución del vidrio desde la década de 1970, pero también hay unas 29 empresas, principalmente pequeñas, que se dedican al procesamiento del vidrio o a la venta al por mayor en Dinamarca. Ya no queda producción de vidrio plano en el país.

La nanociencia lleva los últimos 30 años dominando los revestimientos de vidrio, mucho antes de que se pusiera de moda la palabra nanotecnología. Todos los revestimientos de vidrio plano modernos se basan en la nanotecnología, y las multinacionales del vidrio han tomado la delantera en el desarrollo de esos revestimientos de vidrio avanzados. Según la empresa Pilkington Denmark, la competencia en el sector del vidrio es dura, y muy orientada a la tecnología. La producción moderna de vidrio es continua, una producción masiva a gran escala que requiere grandes inversiones en bienes de capital. En este sector existe un gran grado de concentración. Se estima que en 2004 los cuatro mayores actores globales, las empresas NSG (que desde 2006 incluye el gran grupo Pilkington), Saint Gobain Glass, Asahi y Guardian Industries, poseían como mínimo el 80% del mercado del vidrio plano en Europa.⁵

La innovación de los productos en los últimos treinta años se ha centrado en desarrollar vidrio que cumpliera una variedad cada vez mayor de funciones, entre ellas lograr una eficiencia energética, aparte de la luz y las vistas, funciones como la baja emisividad (aislamiento térmico), el control

solar (para controlar el calentamiento y reducir la ventilación), la resistencia (resistencia a la rotura), la seguridad (resistencia a los robos), la resistencia al fuego, la reducción del ruido, el ser antireflectante, la auto-limpieza, la resistencia a las rayas y la decoración. Esos productos de gran valor se consiguen procesando el vidrio plano básico a base de laminar, endurecer y revestir, además de montar el vidrio en unidades de vidrio aislantes (doble o triple acristalamiento). Los revestimientos actuales son multicapa, de hasta siete o más capas, para lograr un vidrio multifuncional. La investigación y desarrollo sobre el tema sigue siendo intensa.

Según Pilkington Denmark, la eficiencia energética ha sido un impulsor esencial que sigue creciendo dentro de la innovación en el vidrio, impulsada en gran parte por las iniciativas provenientes de las políticas, que han sido considerables durante los últimos 20 años. El vidrio de baja emisividad y control solar es estándar en los mercados actuales, y se logra mediante revestimientos blandos. Los mercados daneses y nórdicos se consideran mercados avanzados en productos de vidrio. Sin embargo, siguen existiendo muchas zonas, como por ejemplo en Europa del Este pero también en EE.UU., que están muy atrasadas en vidrio aislante y siguen teniendo principalmente vidrio estándar de una sola capa en el *stock* de construcción actual. La tecnología de revestimiento duro suscita un interés especial en el campo del vidrio para las tecnologías solares, donde el mercado está en plena expansión gracias al estricto programa sobre el clima, y pese a la grave crisis económica en la construcción. Se considera que las casas ecológicas de Dinamarca y el resto del mundo que sirven de muestra tienen un papel im-

⁵ Fuente: <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/07/1781>, 2007.

portante en el avance de innovaciones radicales de producto en vidrio y ventanas, ya que se pueden probar las innovaciones más radicales y por qué se invierte más en esos proyectos.

Todos los grandes actores del vidrio tienen amplias actividades de I+D y una variada cartera de productos en producción de vidrio plano dirigida a sus dos clientes principales, bastante distintos: el sector de la construcción, tradicional y con poca I+D, es el principal cliente, suponiendo entre el 80% y el 85% de la producción total, y el otro es el sector del automóvil y el transporte, muy innovador y con una I+D muy intensa, que responde a la mayor parte de las aplicaciones restantes. Varias empresas matrices tienen extensas actividades en otras partes del sector de la construcción, y relevantes para el desarrollo de la nanotecnología, también en materiales y productos químicos. Pilkington gasta unos 33 millones de libras al año en investigación y desarrollo, que llevan a cabo dos organismos de organización global dentro de las dos líneas de negocio, productos para la construcción y productos automovilísticos.

Pilkington lanzó en 2001 la primera ventana con autolimpieza, que se hizo mundialmente famosa por ser uno de los primeros productos de nanoconsumo conocidos. Sin embargo, el producto ha resultado ser un gran fracaso pese a su buena funcionalidad. A pesar de la nanofama del producto del vidrio con autolimpieza, Pilkington no utiliza oficialmente el término nanotecnología, sino que hace referencia a revestimientos. Pilkington en general tiene un perfil bajo en nanotecnología, y no hay información sobre nanotecnología en su material informativo ni en la página web. Los otros grandes productores

de vidrio siguen una estrategia de perfil bajo parecida respecto de la nanotecnología, a excepción de PPG, la sexta en tamaño. Según Pilkington Denmark, su perfil bajo se debe en parte al incierto debate sobre los nanorriesgos, y en parte a la considerable incertidumbre en cuanto a qué es nanotecnología y qué no. Los ejemplos de productos que han resultado ser nanofalsos han provocado una reacción negativa en los clientes. En la actualidad la empresa no ve oportunidades de beneficio en el nanomarketing, pero se publicita como una empresa ecológica.

Los otros dos ejemplos de entrada de la nanotecnología en el mercado danés del vidrio son empresas de reciente creación. La empresa Sunarc inició su andadura comercial en el año 2000 especializándose en la producción de superficies antireflectantes con nanoestructuras en hojas de vidrio de grandes dimensiones. El vidrio está orientado al nicho del mercado de los colectores solares y los módulos de PV, y en menor medida a los invernaderos. La idea es minimizar la luz reflejada por el vidrio para mejorar su transmisión, muy importante sobre todo para las tecnologías solares. La tecnología utilizada es, según la página web de la empresa, única en el mundo. Tras varios baños el vidrio es sometido a un proceso especial de grabado completamente automatizado. La superficie de AR resultante es una estructura nanoporosa de aproximadamente 100 nm de grosor en ambos lados del vidrio, que libera entre un seis y un ocho por ciento más de luz solar según la inclinación del vidrio. Por eso los productos de Sunarc son un ejemplo de un proceso de producción de nanotecnología bastante sencillo en el que la nanoestructura pasa a formar parte del vidrio en sí en vez de añadir un revestimiento. Tras un lento inicio se

ha producido un aumento constante en las ventas, que durante los últimos años han explotado con el auge de las tecnologías solares. El 99% de la facturación de la fábrica danesa se exporta a Europa. En 2006 la empresa se trasladó a unas nuevas instalaciones productivas, y ese mismo año obtuvo el premio Gazelle de Børsen por ser la segunda empresa de crecimiento más rápido en Dinamarca. Actualmente Sunarc ha programado una nueva línea de producción, y está en proceso de abrir nuevas plantas en otras regiones del mundo.

Las capacidades que subyacen en la producción son principalmente tácitas y esencialmente se basan en los empleados. Los elementos críticos se encuentran en el fino ajuste del proceso de producción, que es primordial para lograr una buena calidad de producto uniforme. La empresa ha preferido no patentar su tecnología. Muchos, han intentado copiar lo que están haciendo, también las grandes empresas del vidrio, pero, aunque la producción a escala de laboratorio es fácil, es muy difícil aumentar la escala comercial. Sunarc sigue siendo el principal productor a gran escala con esta tecnología.

Sunarc está pensando en fabricar vidrio de baja emisividad para un uso arquitectónico general, pero de momento no han interactuado con los actores de la construcción. Han detectado nuevas oportunidades de beneficio en el mercado de las ventanas de gran eficiencia energética, caracterizado por un rápido crecimiento. Sobre todo ven potencial en la mejora de la transmisión de la luz, actualmente no muy buena, en las ventanas aislantes de tres capas.

Un tercer ejemplo de nanoinnovación ecológica en la cadena de ventanas es la compañía danesa de reciente creación

Photocat A/S. Photocat es una empresa creada recientemente en Dinamarca (en julio de 2009) que desarrolla y comercializa materiales avanzados con nanoestructuras y revestimientos con propiedades fotocatalíticas, por ejemplo funciones de autolimpieza. La empresa se vende como una compañía basada en la nanotecnología limpia.

Photocat cuenta con un producto orientado al mercado del vidrio, ShineOn® Pro, que es un tratamiento de mercado secundario para hacer la autolimpieza del vidrio de ventanas. Sin embargo, la empresa se está centrando cada vez más en desarrollar suelos con propiedades de autolimpieza para mejorar el clima interior, especialmente de las viviendas eficientes energéticamente. Esta empresa identifica nuevas oportunidades de negocio en este nuevo segmento de mercado de vivienda, con el objeto de resolver los nuevos problemas que se asocian a las mismas, como pueden ser los derivados del gran hermetismo que se produce en este tipo de casas.

La empresa es una prolongación de la compañía danesa SCF Technologies A/S, igual de joven y también dedicada a las nanotecnologías, especializada desde 2003 en la llamada «tecnología supercrítica». SCF experimentó con una serie de aplicaciones, pero se centró relativamente rápida en los biocombustibles fabricados a partir de residuos orgánicos y en el vidrio con autolimpieza. Su primer producto lanzado en 2006 se basaba en nanomaterial importado desde China, pero el producto pronto se enfrentó a una serie de dificultades técnicas. A medida que los problemas iban quedando más claros, el grupo de material avanzado de SCF empezó a trabajar para desarrollar su propio producto, el nuevo ShineOn®. El trabajo no estaba basado en la tecnología supercrítica, sino

en conceptos nanocientíficos básicos sobre la fotocatalisis. La tecnología básica desarrollada consiste en crear y configurar conjuntos de nanopartículas. Photocat tiene cinco aplicaciones con patente en proceso. El nuevo producto consiste en dos líquidos y un conjunto de contenedores de spray recomendados, además incluye la formación necesaria para garantizar un manejo seguro y correcto. El producto solo se está comercializando a clientes profesionales como vidrieros y empresas de renovación.

A medida que SCF Technologies fue aumentando su interés por el campo de la biotecnología, empezaron a pensar en derivar el trabajo fotocatalítico. Las personas que trabajaban en el vidrio de autolimpieza se habían puesto en contacto con una empresa de suelos sueca, Välinge Innovation, en 2007, y surgieron nuevas ideas dentro del grupo de producir suelos descontaminantes para mejorar el clima interior. Junto con Välinge desarrollaron un nuevo suelo compuesto patentado, ActiFloor, en el que se integran nanopartículas fotocatalíticas en la matriz de la capa superior, el primero de este tipo en el mundo. En verano de 2009 el producto fue presentado a los tres primeros clientes que conformaron la base para fundar la empresa Photocat en julio de 2009.

ShineOn en la actualidad se comercializa con licencia a empresas de venta al por mayor en el Reino Unido y Estados Unidos, y por el momento con un éxito moderado. En Dinamarca las actividades de marketing han sido limitadas, y no han encontrado un socio de licencia. Durante la fase de desarrollo se entabló contacto con Dovista, que probó la primera versión del producto, pero no le resultó satisfactorio. Debido a esta experiencia sin éxito, no

han intentado más contactos con la industria del vidrio y la ventana en Dinamarca. Se intentó organizar una reunión con el Gremio de Vidrieros de Dinamarca, pero nunca se llevó a cabo debido a la falta de interés por parte de la empresa SCF en aquel momento.

La documentación es un elemento importante en la estrategia de Photocat. Las propiedades de autolimpieza del producto han sido verificadas de forma independiente, y la capacidad de limpieza iguala la de las conocidas marcas Pilkington y Saint-Gobain. También están documentadas cuestiones de salud y riesgo relacionadas con las nanopartículas; todos sus productos cuentan con hojas de seguridad de datos de material completas, hechas en colaboración con expertos del campo y en cumplimiento con la normativa de este ámbito.

Dado que el negocio central de Photocat se centra cada vez más en el futuro ámbito de productos de suelos, en la actualidad están prestando menos atención a los productos de vidrio. Junto con la empresa sueca de suelos, las dos compañías han formado una nueva empresa de IP (*intellectual property*) que irá aumentando la escala de los suelos hasta la producción industrial en sus nuevas instalaciones suecas de producción en 2010.

La industria de ventanas

En Dinamarca existen unas 300 pequeñas empresas de ventanas. La industria de ventanas danesa está dominada por un gran grupo, VKR Group, que tiene un nivel importante de I+D. El VKR Holding Group, más concretamente sus dos principales compañías Dovista y Velux, que mantienen una estrecha colaboración en I+D, concen-

tran la mayor parte de nanoactividades en la industria de ventanas danesa.

Dovista es el grupo madre de los principales productores daneses de ventanas verticales, Velfac y Rationel, y lleva a cabo la I+D para ellos. Por el momento la empresa no está muy involucrada en la nanotecnología, pero el interés va en aumento. Están continuamente estudiando a sus proveedores en busca de nuevas soluciones avanzadas a sus problemas, que incluyen nanosoluciones, pero no existe una búsqueda definida de innovaciones nanotecnológicas. Dovista inició en 2009 junto con una universidad danesa su primer nanoproyecto en I+D, orientado a reducir los problemas de condensación de las ventanas. Los problemas de condensación han sido importantes para muchos productores de ventanas daneses, pero está aumentando debido a los edificios eficientes energéticamente, más herméticos.

VELUX, la empresa dominante dentro de VKR, especializada en ventanas de techos, cuenta con una marca de fama internacional. Hace tiempo que la nanotecnología es un aspecto que interesa a VELUX porque desempeña un papel importante para algunos de sus proveedores y en los componentes de sus productos. VELUX confía en la I+D interna, así como en el diálogo con sus proveedores para crear sus nanocapacidades. Están interesados en mantener un registro de los desarrollos en este campo, y quieren contar con las capacidades necesarias para poder seleccionar los productos adecuados en el momento justo.

La mayor parte de las nanoactividades de Velux van dirigidas al proveedor. Solo han participado en un nanoproyecto de I+D con institutos de conocimiento: el proyecto danés NanoPaint entre 2005 y 2009,

en el que participaron algunos proveedores daneses de pintura, revestimiento y productos químicos, además de instituciones académicas. Velux estaba interesada en el desarrollo de una pintura más duradera para la madera, así como en revestimientos metálicos más ecológicos, intentando encontrar alternativas al tóxico cromo 6. El resultado fue limitado. Según VELUX, sus principales fuentes de conocimiento sobre revestimientos siguen siendo sus grandes proveedores internacionales, a los que VELUX considera a la cabeza del desarrollo tecnológico, también en nanorevestimientos.

La I+D de Velux no solo se centra en la producción de marcos, también contiene una sección de vidrio, ya que la selección del mejor vidrio es un factor competitivo clave. Las aportaciones nanocientíficas son importantes en la sección de I+D de vidrio, donde mantienen un diálogo cercano con los grandes productores de vidrio sobre nanorevestimientos, que conocen al detalle.

El vidrio nanorevestido multifuncional es estándar en la cartera de productos de Velux. El vidrio con autolimpieza, por ejemplo, es interesante porque las ventanas del tejado son difíciles de limpiar; es lo normal en algunos países, mientras que en otros es opcional en tipos especiales de ventanas VELUX. Consideran que la demanda de gran rendimiento energético es la impulsora principal de la innovación en productos de vidrio durante las últimas dos décadas y que se ha intensificado durante los últimos diez o cinco años. Hoy en día el vidrio de baja emisividad y de control solar control son estándar en los mercados de VELUX.

Sin embargo, el grupo VKR también se ha involucrado recientemente en una

eco-innovación radical basada en la nanotecnología en conservación de madera. En 2006 compraron la pequeña empresa joven danesa Superwood, que había desarrollado un método ecológico de preservación de la madera basado en la nanotecnología (la tecnología supercrítica). Con una patente de 2001, Superwood hizo el primer abeto del mundo completamente preservado, protegido hasta el núcleo. Además de ser de mayor duración, el método permite la impregnación de especies de madera como el abeto, que no se puede impregnar utilizando métodos tradicionales, y la madera puede ser utilizada justo después de la impregnación. La «supermadera» es única en el mundo y está comercialmente disponible para el uso del consumidor desde 2006; el mercado para este producto ecológico se está expandiendo rápidamente. Superwood comercializa sus productos como productos ecológicos en vez de nanoproducidos.

Desde 2008 Dovista y Velux han iniciado un proyecto conjunto de I+D con Superwood. Por una parte prueban la supermadera en las ventanas de sus proyectos de casas muestra, y por otra se implican en un mayor desarrollo del producto para cubrir las necesidades específicas de producción de ventanas. La idea es utilizar la tecnología supercrítica para lograr durabilidad gracias al tratamiento antifúngico de la madera, además de lograr un efecto repelente al agua. De momento los resultados son muy prometedores y esperan poder iniciar en un futuro próximo la producción a gran escala de los marcos de supermadera modificados. Dicha producción será única en el mundo en producción de ventanas.

Tal y como hemos mencionado con anterioridad, la eficiencia energética en los

marcos de ventanas no ha sido tradicionalmente un impulsor importante de innovación entre los productores de ventanas daneses. Sin embargo, la creciente demanda ecológica, siguiendo el apretado programa sobre el clima y las medidas de políticas sistémicas, más estrictas pero flexibles, orientada al equilibrio energético de la ventana entera, ha creado incentivos para innovaciones de productos ecológicos más radicales, como los dos ejemplos de marcos de ventanas basados en compuestos. Pese a que muchos materiales compuestos son potenciados por la nanotecnología, estos no.

Uno de los productores de ventanas implicados más pequeños en Dinamarca, Protec, ha emprendido recientemente una innovación de producto radical consistente en pasar de la producción de alumadere a marcos de madera fabricados con materiales compuestos, con una eficiencia energética mucho mayor, con la intención de desarrollar un producto ecológico.

La innovación ha resultado bastante difícil, y ha requerido una serie de innovaciones complementarias, como pomos, sistemas de cierre, etc. Protec mantuvo una estrecha colaboración con su proveedor de compuestos, la consolidada empresa danesa de alta tecnología Fiberline, que es uno de los principales productores de compuestos reforzados con fibra de vidrio para uso en edificios y componentes de edificios (incluidas ventanas), así como molinos de viento. Suministran a otros productores de ventanas extranjeros, incluso antes de entrar en el mercado danés, son defensores activos de las innovaciones radicales en el sector de la construcción, también de las ecológicas, y argumentan y demuestran que su material es ligero, fuerte y eficiente

energéticamente. Se le puede dar nuevos usos dentro de la construcción, como explican mediante productos de muestra avanzados de desarrollo propio en su enorme sala de exposiciones. En otras palabras, fue relativamente fácil para Protec introducir las capacidades de Fiberlines que ya iban dirigidas al mercado de ventanas. Fiberline, pese a ser bastante tecnológica, no es activa en el desarrollo de nanotecnología, y solo posee ideas e intereses menores en cuanto a nanotecnología, pese a que los nanocompuestos son un tema bastante importante. La empresa ha tenido en cuenta tres cuestiones menores relacionadas con la nanotecnología (revestimientos), pero de momento no se ha producido ninguna innovación. De momento, Protec compite con éxito en atraer un precio preferente menor para sus productos eficientes energéticamente, aduciendo que el comprador ahorrará en costes de energía a largo plazo.

Otro productor que ha empezado a estudiar el desarrollo de marcos de ventana compuestos es Dovista, también con el objetivo de producir ventanas más eficientes energéticamente. Intentan desarrollar nuevos compuestos específicamente orientados a la producción de ventanas implicándose en un exigente proyecto de I+D en colaboración con proveedores extranjeros. De momento sus marcos compuestos siguen en desarrollo, y solo se están aplicando en sus casas ecológicas de muestra. Albergan grandes expectativas respecto del nuevo material, y esperan poder ampliar la producción en un futuro próximo. Entretanto, la producción de marcos de madera y de alumadera sigue siendo el principal estándar en el grupo VKR, que necesita poder suministrar grandes cantidades con una calidad verificada.

La eco-innovación más radical en la cadena de ventanas es de carácter más estratégico que técnico. Hemos observado un interesante cambio estratégico en el grupo VKR durante la primera década de este siglo, ya que está pasando cada vez más de centrarse en desarrollar componentes de edificios a desarrollar edificios ecológicos. Velux y Dovista funcionan ahora como los principales actores en varios proyectos de casas ecológicas de muestra. Éstas, construidas por muchos municipios, se consideran fuentes importantes de innovación de producto experimental en las que el precio importa menos. Gracias a estos proyectos están desarrollando una inteligente eco-innovación sistémica en el ámbito de los edificios. Es decir, están integrando ventanas con sistemas electrónicos avanzados e intentando optimizar el diseño de casas ecológicas para lograr un mayor aprovechamiento de la luz solar (la ubicación de las ventanas en un edificio es muy importante para el rendimiento energético), luz artificial (LED basados en nanotecnología) y ventilación natural, y por tanto ahorrar energía en el plano del usuario. Gracias a estas medidas, el grupo VKR intenta demostrar que es posible y atractivo hacer edificios ecológicos avanzados con una gran cantidad de ventanas. Así, puede resultar amenazador para las empresas de construcción existentes, al asumir una nueva función como integradores de sistemas en el mercado emergente de los edificios ecológicos.

Tanto VELUX como Dovista tienen desde hace tiempo sistemas avanzados de gestión medioambiental, y las normas de búsqueda ecológica parecen estar integradas en el campo de la I+D, teniendo en cuenta no solo la eficiencia energética sino la toxi-

cidad, la gestión de residuos y la minimización de residuos asociados a su producción y productos de forma rutinaria. La empresa VELUX, la más nanoactiva, sopesa con cuidado su implicación con la nanotecnología teniendo en cuenta sus posibles consecuencias negativas para el medio ambiente y la salud, una cuestión a la que prestan mucha atención.

Los demás productores de ventanas, la mayoría pequeños, siguen confiando en los marcos de madera y alumadera de momento⁶ y tal vez en un futuro vean que se introducen paulatinamente en un difícil ambiente competitivo debido a las eco-innovaciones avanzadas que han ido surgiendo últimamente en el campo de los marcos de ventanas, mientras la demanda ecológica siga siendo elevada.

5. CONCLUSIONES

Una de las conclusiones empíricas generales es que la eco-innovación parece ser una importante impulsora de la nanotecnología, ya que todas las aplicaciones de nanotecnología detectadas en la cadena de ventanas eran ecológicas. Pese a que no todas las principales eco-innovaciones eran nanotecnológicas, muchas sí lo eran. En la cadena de ventanas existe un nivel sorprendentemente alto de aplicación de nanotecnología. Resulta sorprendente porque se preveía una capacidad de absorción baja en el sector de la construcción, con una I+D relativamente baja en nanotecnología, pero también porque gran parte de

la nanotecnología aplicada en la cadena de ventanas es poco conocida. También resulta sorprendente porque hace solo unos años los edificios ecológicos no eran considerados muy tecnológicos, sino que reinventaban las técnicas de construcción tradicionales, y de hecho algunos eran muy ecoeficientes.

A continuación comentaremos las conclusiones de un estudio más profundo de la dinámica industrial que se esconde tras estas tendencias siguiendo los tres pilares del modelo de Langlois y Robertson (1996), aunque reordenándolos un poco. Empezaremos comentando la distribución de capacidades en las empresas y el mercado, pasaremos a abordar el nivel de desarrollo del mercado y terminaremos con la naturaleza del cambio económico. La explicación es complicada porque mezcla necesariamente la dinámica de la eco-innovación con la dinámica de la evolución de la nanotecnología. Sin embargo, uno de los principales puntos de este artículo ha sido justamente ilustrar la naturaleza multifacética del proceso económico. Pese a que la eco-innovación a menudo es tratada de forma aislada en la investigación medioambiental, es importante recalcar que forma parte y compite con muchas otras tendencias y trayectorias tecnológicas del mercado en un momento determinado. Éstas tienen una influencia mutua y varían en importancia relativa en la economía global a lo largo del tiempo. Esta vertiente multifacética es uno de los principales retos para la estrategia corporativa.

La distribución de capacidades en la empresa y el mercado

Sin duda, la enorme organización integrada que forman las grandes empre-

⁶ Existen algunos productores de ventanas más que están intentando desarrollar otros tipos de ventanas dotadas de eficiencia energética (la llamada «ventana rusa», con un sistema avanzado de circulación de aire) que no utilizan nanotecnología.

Las grandes organizaciones de vidrio funcionan como principal desarrollador de tecnología en la cadena de ventanas. Por lo menos ese parece ser el caso cuando se trata de nanotecnología, con una base muy científica, en la que los grandes laboratorios y las oportunidades de experimentación a gran escala constituyen factores decisivos del desarrollo tecnológico. Asimismo, los grandes proveedores de productos químicos y metal son importantes desarrolladores de nanotecnología, mientras que al parecer los pequeños proveedores locales (daneses) y las instituciones académicas han sido menos importantes. La gran organización integrada parece contar en general con grandes nanocapacidades, y resulta sorprendente confirmar que hace tiempo que es así, de modo que funciona como la fuente principal para que las empresas se inicien en este tema. Esas organizaciones han perseguido desde un principio estrategias de eco-innovación proactivas y eficaces, además de crear capacidades ecológicas, lo que contribuye de forma significativa al hecho de que el vidrio (el cristal) se vuelva ecológico (por lo menos a juzgar por el importante parámetro de la eficiencia energética) antes que el marco de la ventana. Como mínimo los nanorevestimientos avanzados para el aislamiento térmico y el control solar son hoy en día éxitos comerciales, y ya son un estándar del mercado en muchas economías. Una distribución más global, que está prevista dada la atención global al cambio climático, tendrá un mayor impacto en las reducciones de carbono.

La organización muy grande y semi-grande integrada también parece ser un medio importante de migración y coordinación de conocimiento, no solo dentro de la cadena de valor, es decir, entre los fabri-

cantes de vidrio plano y los actores del procesamiento y la distribución de vidrio, sino también entre diferentes sectores y mercados. Un ejemplo es la extensión de la innovación en nanovidrio para coches al sector de la construcción dentro del mismo gran grupo del vidrio, o la transmisión de conocimiento de una empresa del grupo VKR a las demás, por ejemplo operando en el mercado de ventanas de tejados y ventanas verticales. Sin embargo, también observamos discrepancias en el campo de las nanoestrategias y las nanocapacidades dentro de organismos incluso de tamaño medio, como las diferencias entre Velux y Dovista dentro del grupo VKR, pese a mantener una colaboración en I+D bastante estrecha.

Sin embargo, los grandes actores se ven complementados de forma significativa por las esforzadas empresas de reciente creación que, como era de esperar, desarrollan importantes nichos dentro de las eco-innovaciones de alta tecnología, tanto las radicales como las menos radicales. Este panorama sugiere que tanto las empresas grandes como las pequeñas desempeñan un papel significativo en el desarrollo de nanotecnología ecológica en la etapa actual. Sin embargo, los principales actores de tamaño medio en la industria de ventanas danesa demuestran una capacidad considerable de absorción de nanotecnología con nanocapacidades extendidas, pero también juegan un papel sorprendentemente activo en el desarrollo real de la nanotecnología en el campo de los marcos. La especialización vertical en la cadena de ventanas, con pocos fabricantes de vidrio internacionales muy grandes, muchos pequeños fabricantes de procesamiento de vidrio y de ventanas, la mayoría tradicionales, y una variedad de empresas

de la construcción orientadas a proyectos, no parecen constituir un entorno tan difícil para las operaciones de nanotecnología avanzada como cabía esperar. La combinación de las empresas grandes y pequeñas como desarrolladores de nanotecnología y el sistema tecnológico relativamente avanzado que integra a actores medios como usuarios clave y desarrolladores parece ofrecer una capacidad de absorción bastante alta para la nanotecnología. La industria de las ventanas parece capaz de acoger una serie de nanotecnologías y ser la clave de la comercialización de la nanotecnología en la cadena de ventanas de forma más amplia.

Por lo tanto, resulta interesante que los mayores actores de las ventanas intensifiquen su función de integradores del sistema con su reciente cambio estratégico de proveedores de ventanas a proveedores de edificios, un cambio claramente impulsado por la tendencia a la eco-innovación. Parece que las eco-innovaciones más sistémicas que están emergiendo también se están volviendo cada vez más tecnológicas (sistemas inteligentes). Eso puede influir significativamente en la dinámica de ecologización de la industria, lo que les da una ventaja respecto de las empresas y sectores con un alto nivel de I+D.

Observamos que todos los actores de la cadena de ventanas (por lo menos los que han sido estudiados) están buscando con interés oportunidades de beneficio ecológico, pero es la industria de ventanas la que está cambiando su organización económica redistribuyendo al máximo sus capacidades, con un papel cada vez mayor de integradores de sistemas de edificios ecológicos inteligentes. No se produce la misma búsqueda intensa de oportunidades de nanobeneficios, pero siguen existiendo

nanointereses y nanoactividades, y las nanocapacidades van aumentando como mínimo en la parte superior y media de la cadena.

Resulta interesante que también los actores medios como Protec y Fiberline estén demostrando ser bastante innovadores, de hecho son responsables de algunas de las eco-innovaciones más radicales, en realidad posiblemente más radicales que las de las empresas de reciente creación, que a menudo se consideran las iniciadoras de los nichos ecológicos radicales. Puede considerarse una señal de las estrategias y capacidades ecológicas que se han extendido de forma generalizada en la cadena.

Parece que las empresas están cada vez más en una «sintonía» parecida (véase también Andersen, 1999, 2002, 2010b). En el nivel básico de I+D observamos la emergencia de normas de búsqueda y capacidades ecológicas cada vez más extendidas, que alimentan una base subyacente de conocimiento ecológico cada vez mayor.

Esta ecologización general, cada vez más intensa, del proceso económico no significa que todas las empresas, ni siquiera las que son bastante ecológicas, estén persiguiendo una estrategia competitiva ecológica muy avanzada. Otras cuestiones competitivas pueden superar a las ecológicas. En la industria de la ventana vemos ejemplos en los que los marcos de alumaderecho siguen dominando el mercado, pese a que funcionen como puentes térmicos, mientras el mercado de los marcos compuestos más eficientes energéticamente sigue siendo un nicho pequeño.

El principal punto es que observamos un marcado aumento en el ámbito de la

estrategia corporativa proactiva para la eco-innovación, sobre todo durante la primera década de este siglo, así como la creación de fuertes expectativas ecológicas en las empresas de la cadena. Necesitamos saber más de la distribución de las estrategias y capacidades de eco-innovación entre los actores en un plano inferior, incluyendo los usuarios finales. Es necesario estudiar más a fondo cómo las empresas pequeñas y las de tamaño medio-pequeño están reaccionando a las crecientes oportunidades de beneficio ecológico, como la multitud de empresas más pequeñas de ventanas, procesamiento de vidrio y distribución en Dinamarca.

El nivel de desarrollo del mercado

En general, observamos una mayor cantidad de propiedades de selección ecológicas en el mercado de la construcción danés, como parte de una evolución global de la economía ecológica. Está claro que la normativa medioambiental ha tenido un impacto importante y muy directo en las actividades de eco-innovación, y ha dado paso a estrategias bastante reactivas por parte de las empresas de la cadena, ya que hasta mediados de la presente década solo se producía la innovación para anticiparse a las nuevas normativas. Las condiciones originales para las estrategias de innovación proactivas eran difíciles en épocas anteriores, cuando las ventanas eran vías de pérdida de energía, la industria tenía una reputación medioambiental negativa en el mercado y en general el mercado ecológico no estaba tan desarrollado. Las empresas de ventanas competían con otros parámetros que las ecológicas, el diseño siempre había sido un factor competitivo clave en el sector de la construcción. Eso ha cam-

biado radicalmente, sobre todo durante los últimos años, ya que, gracias a la innovación, las ventanas están empezando a contribuir positivamente al rendimiento energético de los edificios. Ese cambio ilustra un elemento esencial de la estrategia corporativa para la eco-innovación. La reputación ecológica en el mercado es decisiva para incentivar a la empresa a desarrollar estrategias para la competitividad ecológica. Las empresas deben tener alguna expectativa de que sea posible y atractivo atraer rentas ecológicas. Dichas expectativas pueden cambiar, debido tanto a factores internos como externos, pero es importante la extensión del mercado ecológico.

La rápida ecologización reciente de la cadena de ventanas, que se extiende al sector más amplio de la construcción, ilustra la etapa más consolidada del mercado ecológico en la última década, que funciona bastante bien en la actualidad. Ya existen instituciones de apoyo al mercado o también se pueden establecer rápidamente, y existen expectativas y visiones ecológicas compartidas por parte de las empresas en la cadena de ventanas. Las compañías interdependientes están adoptando en general el mismo enfoque ecológico, aunque no necesariamente al mismo ritmo. En consecuencia, las necesidades de la coordinación entre empresas y los costes de transacción dinámicos se ven radicalmente reducidos en comparación con la situación en la década de 1980 y 1990, cuando el mercado ecológico se encontraba en una etapa temprana, lenta e irregular de desarrollo. Hoy en día es bastante fácil adquirir las capacidades ecológicas, y las prácticas medioambientales están bien consolidadas.

El caso muestra cambios bastante radicales en la evolución de la economía eco-

lógica de los últimos veinte años, que es el período de mayor emergencia del mercado ecológico en economías más avanzadas y con más riqueza como la danesa. Este caso ilustra con claridad la evolución de la economía ecológica, que implica cambios cualitativos en el sistema económico. Observamos que las cuestiones medioambientales pueden actuar como un nuevo criterio de selección y las empresas se animan a aprovechar las nuevas oportunidades de beneficio ecológico. Cada vez más el mercado actúa como un aparato de selección ecológica aún más eficaz. La competencia ecológica cada vez es más importante e influye, y mucho, en la selección de productos, y en muchas empresas y sectores en los que es más importante la competitividad ecológica, en la selección de proveedores y clientes, (que a menudo son importantes como socios de aprendizaje ecológico), empleados, instituciones financieras y de seguros, etc. Con el creciente mercado ecológico, existen costes sumergidos de la eco-innovación, y es aún más fácil emprender eco-innovaciones para los recién llegados, pero los rendimientos económicos también pueden ser menores, ya que hay muchos más actores intentando atraer rentas ecológicas.

La ola ecológica se ha notado especialmente en el mercado de la construcción, y en la actualidad está bastante viva (marketing activo), mientras que la ola de la nanotecnología, mucho más nueva e inmadura, parece ir en declive, por lo menos en comparación con la atención que se dedicaba a las nanocuestiones a principios del milenio. En la actualidad el nanomarketing es bastante silencioso (marketing pasivo, si no evasivo). La incertidumbre relacionada con

los riesgos asociados a la nanotecnología juegan un papel significativo en la formación del mercado.

La ola ecológica en la economía influye mucho y de forma bastante directa en la introducción de la nanotecnología en la cadena de ventanas. Puede ser debido simplemente al hecho de que las cuestiones relacionadas con el cambio climático son en la actualidad un impulsor cada vez mayor del desarrollo económico, también en el sector de la construcción, que tanta energía consume. Sin embargo, una hipótesis podría ser que la nanotecnología está pasando al ámbito de beneficio social como los problemas medioambientales, la salud, la alimentación y el suministro de energía en gran medida debido a una necesidad extraordinaria de compensar sus posibles riesgos con beneficios sociales. Sobre todo en la primera etapa de la evolución tecnológica que caracteriza el desarrollo actual de la nanotecnología, cuando la incertidumbre en cuanto al alcance y los efectos de la tecnología es considerable, existe una gran necesidad de legitimar la nueva tecnología y crear una reputación positiva. Por eso parece que la nanotecnología ha nacido no solo muy ligada a los riesgos, sino también con grandes preocupaciones morales. Las enormes expectativas iniciales sobre la consecución de varios beneficios sociales parecen convertirse en tendencias económicas. Eso puede provocar que una gran parte de la nanotecnología sea ecológica. Sin embargo, hay que seguir contrastando esta hipótesis.

En general, el caso ilustra que las condiciones competitivas para la eco-innovación han sufrido un cambio considerable en un breve período de tiempo desde el final de la década pasada.

La naturaleza del cambio económico

La naturaleza del cambio ecológico de la economía ha tenido últimamente un efecto bastante transformador en el mercado de la construcción. Vemos empresas que asumen nuevas funciones y reconfiguran sus capacidades en busca de nuevas oportunidades de beneficios ecológicos. La ola ecológica parece que está ejerciendo una influencia importante en las estrategias empresariales, normas de búsqueda y capacidades.

El proceso de evolución de la economía ecológica parece estar muy afectado por la historia. Las estrategias, prácticas y capacidades no ecológicas que han durado de 30 a 40 años parecen haberse interrumpido, lo que podría significar que la eco-innovación pueda acelerarse en los años próximos probablemente. Por eso el caso indica que se produjo un cambio revolucionario a finales de la década pasada en el que el crecimiento ecológico experimentó un avance en el mercado de un alcance considerable. Está por ver la durabilidad de este avance en el mercado, pero parece ser que se están produciendo cambios estructurales duraderos, con la acumulación de nuevas estrategias, normas de búsqueda y capacidades más ecológicas y la destrucción creativa de aquellas capacidades no ecológicas.

Es importante recordar que el caso tiene lugar en una cadena que actualmente se encuentra muy afectada por el intenso programa sobre el cambio climático, debido al elevado nivel de consumo energético en el sector de la construcción. También es una cadena en la que los principales actores, (desarrolladores de tecnología, integradores y distribuidores), tienen el potencial de contribuir positivamente a

las soluciones ecológicas. Otros sectores y cadenas se ven afectados de forma distinta, y no sufren tanta presión sobre su comportamiento eco-innovador, o tienen que afrontar una reputación medioambiental peor (p. ej. las industrias muy contaminantes o las industrias con una gran cantidad de escándalos medioambientales).

En la actualidad la nanotecnología no tiene el mismo poder transformador en la economía, a pesar de las enormes inversiones globales en este ámbito, aún se encuentra en una etapa demasiado temprana de la evolución económica. No obstante, parece que el proceso de comercialización está entrando en una fase más formal.

En el campo tecnológico observamos una tendencia creciente hacia eco-innovaciones sistémicas y más radicales en cuanto a sofisticación tecnológica, en forma de innovación radical de materiales, aumento de materiales compuestos. Aunque no son nanotecnologías se ubican en el ámbito de la alta tecnología; pero sobre todo hay un interés mayor por parte de las empresas de ventanas más innovadoras por conseguir innovaciones ecológicas sistémicas para viviendas. Parece ser que las futuras casas ecológicas serán cada vez más inteligentes, y permitirán un uso flexible de la energía y los recursos. Las innovaciones de alta tecnología probablemente tendrán más importancia, lo que también crea nuevas oportunidades para la nanotecnología en la construcción ecológica. En la actualidad hay pocos signos de eco-innovaciones sistémicas basadas en la nanotecnología que necesiten innovaciones complementarias. Por el contrario, las tecnologías de nanorevestimientos, que posiblemente son los elementos

más conocidos de la nanotecnología, a menudo son interesantes para el negocio porque pueden solucionar problemas sin interferir en los productos existentes y los procesos de producción.

Una posible excepción son los sistemas de iluminación con LED basados en nanotecnología, que se encuentran en el proceso de sustituir los sistemas de luz incandescente, sobre todo debido a su mayor eficiencia energética, una innovación con efectos muy sistémicos y rupturistas. Las nuevas oportunidades para integrar LED con eficiencia energética en los materiales de construcción pueden llegar a influir en el uso de ventanas en el futuro, igual que con el uso de materiales de construcción transparentes basados en nanotecnología⁷. Estos aspectos suponen un reto estratégico para la industria del vidrio y de las ventanas, que al parecer los actores más innovadores están teniendo en cuenta.

El presente análisis ha ilustrado la necesidad de aplicar una perspectiva de capacidades evolutivas al análisis de la eco-

logización de la industria, con el fin de comprender mejor las condiciones competitivas para la eco-innovación en distintos contextos económicos. Éstos han ido cambiando significativamente a lo largo del tiempo, en los últimos tiempos de forma bastante radical.

Pese a que algunas particularidades están relacionadas con la evolución tanto del mercado ecológico como del de la nanotecnología, en las que no podemos entrar con detalles en este artículo, existen también similitudes interesantes, como la naturaleza orientada a misiones de la innovación, la capacidad de penetración, la flexibilidad en el uso de los términos ecológico y nano respectivamente en el mercado, etc., cuestiones que requieren un análisis más profundo.

Necesitamos más estudios sobre el desarrollo de nanotecnología ecológica para saber más de su alcance y dinámica. El presente análisis de la cadena de ventanas debería ser complementado con otros análisis de las dinámicas industriales ecológicas de otras cadenas de valor y en otras regiones.

⁷ Una empresa danesa ya ha inventado una «ventana» basada en falsos LED.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITKEN, R.J., CHAUDHRY, M.Q., BOXALL, A.B.A., HULL, M. (2006): «Manufacture and use of nanomaterials: current status in the UK and global trends». *Occupational Medicine* 56:300-306
- ANDERSEN, M.M. (1999): *Trajectory Change through Interorganisational Learning. On the Economic Organisation of the Greening of Industry*, Copenhagen Business School, PhD. Series, Copenhagen.
- (2002): «Organising Interfirm Learning—as the Market Begins to Turn Green», en De Bruijn, T.J.N.M. y A. Tukker (eds.), *Partnership and Leadership-Building Alliances for a Sustainable Future*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp.103-119.
- (2004): «An Innovation System approach to Eco-innovation—Aligning policy rationales». Ponencia presentada en *The Greening of Policies—Interlinkages and Policy Integration Conference*, 3-4 diciembre de 2004, Berlín, Alemania.
- (2007): *Eco-Innovation Indicators*, European Environment Agency Electronic Report, EEA, Copenhagen.
- (2008a): «Review: System transition processes for realising Sustainable Consumption and Production», capítulo en A. Tucker (eds.), *Greenleaf Publishing*.
- (2008b): «Eco-innovation—towards a taxonomy and a theory». Ponencia para el Congreso DRUID, Copenhagen, junio de 2008.
- (2008c): «Embryonic innovation—path creation in nanotechnology», ponencia presentada en el congreso DRUID de Copenhagen, 18-20 de junio de 2008, www2.druid.dk/conferences/viewpaper.php?id=703&cf=8.
- (2009): «Combating Climate Change through Eco-Innovation-Towards the Green Innovation System», en *Innovative Economic Policies for Climate Change*, The Economics Web Institute, Roma, 2009, Lule.
- (2010a): «On the phases and Faces of Eco-innovation: —on the Dynamics of the Greening of the Economy», ponencia para el Congreso DRUID, 16-18 de junio de 2010, Imperial College, Londres.
- (2010b): «Eco-innovation Dynamics—Creative Destruction and Creative Accumulation in Green Economic Evolution», ponencia para el Congreso Schumpeter 2010, Aalborg, 21-24 de junio.
- y T. FOXON (2009): «The Greening of Innovation Systems for Eco-innovation—Towards an Evolutionary Climate Mitigation Policy», ponencia para el Congreso DRUID, Copenhagen, junio de 2009.
- y RASMUSSEN, B., (2006): *Environmental opportunities and risks from nanotechnology*. Risoe-R-1550-EN Risø National Laboratory, Roskilde, <http://www.risoe.dk/rispubl/reports/ris-r-1550.pdf>.
- y MOLIN, M., (2007): *NanoByg: A survey of nanoinnovation in Danish construction*. Risoe-R-1234(EN) Risø National laboratory, Roskilde. <http://www.risoe.dk/rispubl/reports/ris-r-1602.pdf>. Acceso el 15 de diciembre de 2008
- ARNALL, A.H., (2003): *Future Technologies, Today's Choices: Nanotechnology, Artificial Intelligence and Robotics—A technical, political and institutional map of emerging technologies*. Greenpeace Environmental Trust, Londres. <http://www.greenpeace.org.uk/MultimediaFiles/Live/FullReport/5886.pdf>.
- BARROSO, M (2007): «Europe's energy policy and the third industrial revolution», speech by President of the European Commission, 1 october 2007.
- BARTOS, P.J.M., HUGHES, J.J., TRTIK, P. y ZHU, W. (eds.), (2004): *Nanotechnology in Construction* XVI. Springer.
- BMBF, (2004): *Nanotechnology Conquers Markets: German Innovation Initiative for Nanotechnology*. Federal Ministry of Education and Research (BMBF). http://www.bmbf.de/pub/nanotechnology_conquers_markets.pdf. Acceso el 15 de diciembre de 2008
- BRESNAHAN, T.F. y TRAJTENBERG, M., (1995): «General Purpose Technologies Engines of Growth?», *Journal of econometrics*, 65, 83-108.
- CRISP/SPRU (2003): *The Emperor's New Coating: New Dimensions for the Built Environment: the nanotechnology revolution*. CRISP, Londres. www.crisp-uk.org.uk/REPORTS/NanoReport-Final270103.pdf.
- DELEMARLE, A., KAHANE, B., VILLARD, L., LARÉDO, P. (2009): «Production in nanotechnologies: a flat world with many hills and mountains», *Nanotechnology Law and Business*, primavera 2009, 103-122.
- EC (2004): *Towards a European Strategy for Nanotechnology*. European Commission. <http://cordis.europa.eu/nanotechnology/actionplan.htm>. Acceso el 15 de diciembre de 2008.

- EC SANCO (2004): «Nanotechnologies: A Preliminary Risks Analysis», informe basado en un seminario organizado en Bruselas el 1 y 2 de marzo por el Directorado General para la Protección de la Salud y el Consumidor de la Comisión Europea (SANCO), Unión Europea, Bruselas.
- FELLENBERG, R. y HOFFSCHULZ, H. (2006): *Nanotechnologie und Bauwesen (Nanotecture)*. VDI Technologiezentrum, Düsseldorf.
- FRIENDS OF THE EARTH GERMANY-BUND, (2007): *For the Responsible Management of Nanotechnology*. http://www.bund.net/lab/reddot2/pdf/bundposition_nano_03_07.pdf. Acceso el 15 de diciembre de 2008.
- GANN, D. (2003): *A Review of Nanotechnology and its Potential Applications for Construction*.
- GEIKER, M.R. y ANDERSEN, M.M., (2009): «Nanotechnologies for sustainable construction». En: Khatib J. (ed.): *Sustainability of Construction Materials*. Woodhead Publishing Ltd., Reino Unido.
- ELVIN (2007): *Nanotechnology for Green Buildings*, Green Technology Forum, Indianapolis (www.greentechforum.net).
- HULLMANN, A. (2006): «The economic development of nanotechnology—An indicator based analysis.» ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nanoarticle_hullmann_nov2006.pdf. Acceso el 15 de diciembre de 2008.
- LANGLOIS, R.N. (1992): «Transaction Cost Economics in Real Time», *Industrial and Corporate Change*, 1, pp. 99-127.
- (2002): «Chandler in a Larger Frame; Markets, Transaction Costs, and Organizational Form in History», *Enterprise and Society*, 5/3, pp.355-375.
- (2003): «The Vanishing Hand», *Industrial and Corporate Change*, 12, pp. 351-385.
- y ROBERTSON, P.L. (1995): *Firms, Markets and Economic Change, A Dynamic Theory of Business Institutions*, Londres: Routledge.
- LAREDO, P., DELEMARLE, A. y KAHANE, B. (2010): «Dynamics of nanosciences and technologies: policy implications», ponencia presentada en el *Transatlantic Workshop on Nanotechnology Innovation and Policy*, 24-26 de marzo, Atlanta, Georgia, EE.UU.
- LIEBERMAN, M.B. y D.B. MONTGOMERY (1988): «First-mover advantages.» *Strategic Management Journal*, vol. 9, pp. 41-58, 1988.
- (1998): «First-mover (dis)advantages: Retrospective and link with the resource-based view.» *Strategic Management Journal*, vol. 19, pp. 1111-1125.
- LUNDEVALL, B.Å. (1992): *National Innovation Systems: towards a theory of innovation and interactive learning*. Londres, Pinter.
- LUTHER, W. y ZWECK, A., (2006): *Anwendungen der Nanotechnologie in Architektur und Bauwesen*. VDI Technologiezentrum, Düsseldorf.
- LUX RESEARCH (2007): *The Nanotech Report 2006: Investment Overview and Market Research for Nanotechnology*, Nueva York, NY.
- MOWERY, D.: «Nanotechnology and the U.S. national innovation system: Continuity and Change». Ponencia presentada en el *Transatlantic Workshop on Nanotechnology Innovation and Policy*, 24-26 de marzo, Atlanta, Georgia, EE.UU.
- MALINOWSKI, N., LUTHER, W., BACHMANN, G., HOFFKNECHT, A., HOLTMANNSPÖTTER, D. y ZWECK, A. (2006): «Nanotechnologie als wirtschaftlicher WACHSTUMSMARKT: INNOVATIONS-UND TECHNIKANALYSE», VDI TECHNOLOGIEZENTRUM, DÜSSELDORF.
- MANGEMATIN, V. y RIEU, C. (2009): *The determinants of science-based clusters growth: the case of nanotechnology*, GEM, mimeo.
- MILLIBAND, D. (2007): «Time for a green industrial revolution», speech by *UK Environment Secretary*, University of Cambridge, 5 March 2007.
- NANOFORUM (2003): «Nanotechnologies help solve the world's energy problems». Nanoforum. www.nanoforum.org. Acceso el 15 de diciembre de 2008.
- (2004): «Benefits, risks, ethical, legal and social aspects of nanotechnology». «Nanoforum. www.nanoforum.org. Acceso el 15 de diciembre de 2008.
- NELSON, R.R. (ed.), (1993): *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*, Oxford: Oxford University Press.
- NELSON, R.R., WINTER, S.G. (1982): *An evolutionary theory of economic change*, MA: Harvard University Press.
- NSET (2009): «The National Nanotechnology Initiative: Research and Development Leading to a Revolution in Technology and Industry», Anezo al presupuesto presidencia de 2010, Washington, DC: Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering and Technology, Committee on Technology, National Science and Technology Council, Executive Office of the President. http://www.nano.gov/NNI_2010_budget_supplement.pdf.

- ROTHAERMEL, F.T., THURSBY, M., (2007): «The nanotech versus the biotech revolution: Sources of productivity in incumbent firm research», *Research Policy*, 36, 6, 832-849.
- SCHMIDT, K.F. (2007): *Green Nanotechnology*. Woodrow Wilson International Center for Scholars-Project on Emerging Nanotechnologies. http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/2701/187_greennano_pen8.pdf.
- SHAPIRA, P. y YOUTIE, J. (2008): «Emergence of nanodistricts in the United States, path dependency or new opportunities», *Economic Development Quarterly*, 22, 3, 187-199.
- SHAPIRA, P., YOUTIE, J. y KAY, L. (2010): «National Innovation System Dynamics and the Globalization of Nanotechnology Innovation», ponencia presentada en el *Transatlantic Workshop on Nanotechnology Innovation and Policy*, 24-26 de marzo, Atlanta, Georgia, EE.UU.
- TEECE, D.J. (1986): «Profiting from Technological Innovation: Implications for Integration, collaboration, Licensing and Public Policy,» *Research Policy*, (15): 285-305.
- Youtie, J., Iacopetta, M., Graham, S. (2007): «Assessing the nature of nanotechnology: Can we uncover an emerging general purpose technology?». *Journal of Technology Transfer*, 32, 6, 123-130.
- ZHU, W., BARTOS, P. y PORRO, A. (2004): «Application of nanotechnology in construction: Summary of a State-of-the-art Report.» *Materials and Structures* 37:649-658.