
TECNOLOGÍAS MEDIOAMBIENTALES Y EMPRESA DOS DÉCADAS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

JAVIER AMORES SALVADÓ

JOSÉ EMILIO NAVAS LÓPEZ

Universidad Complutense de Madrid

Dos décadas han transcurrido desde que Shrivastava (1995:185) diera por vez primera visibilidad al concepto de Tecnologías Medioambientales en la literatura de gestión de empresas. De acuerdo a su definición, son Tecnologías Medioambientales «el equipamiento de producción, los métodos y procedimientos, los diseños de producto, y los mecanismos de distribución de productos

que conservan energía y recursos naturales, minimizan la carga medioambiental de las actividades humanas y protegen el medio ambiente. Incluyen tanto hardware (equipamiento para el control de la contaminación e instrumentos de medición) como tecnologías de producción limpia. También incluyen métodos operativos tales como gestión de residuos (reciclaje de materiales, intercambio de residuos) y prácticas de trabajo orientadas a la conservación (utilización conjunta de recursos, flexibilidad horaria) utilizadas para conservar y mejorar la naturaleza». Desde ese momento, el concepto de Tecnologías Medioambientales ha ido evolucionando conjuntamente con la gestión medioambiental de las empresas y con la creciente concienciación social sobre la necesidad de encontrar nuevas soluciones tecnológicas que sirvan para abordar el reto de la sostenibilidad medioambiental, dando lugar a nuevos planteamientos y aplicaciones del concepto.

En las siguientes líneas se analizarán esos nuevos planteamientos y aplicaciones en cada una de las áreas de conocimiento en las que el término tiene presencia. Partiendo de un análisis de citas se procede-

rá a determinar la repercusión de los trabajos sobre la materia con el triple objetivo de: a) valorar impacto de las tecnologías medioambientales en las distintas áreas de conocimiento; b) mostrar la importancia que tienen las distintas contribuciones analizadas individualmente y c) analizar de manera teórica las razones que explican la diferente repercusión que las tecnologías medioambientales tienen en las diferentes áreas de conocimiento.

Para llevar a cabo estos objetivos, el trabajo se estructura de la siguiente forma: En primer lugar, y tras definir el propósito, se desarrolla la metodología a utilizar para identificar las contribuciones más relevantes en la materia. En segundo lugar, se realiza un análisis cuantitativo y cualitativo de las contribuciones seleccionadas estableciendo una tipología de contribuciones según el impacto generado y según el enfoque que cada trabajo tiene de acuerdo a la estructura intelectual subyacente de la materia. Y finalmente, en tercer lugar se lleva a cabo la discusión y se desarrollan las principales conclusiones del trabajo.

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el análisis que se plantea y obtener los trabajos más relevantes referidos al tópico de estudio (Tecnologías Medioambientales) se ha seguido un procedimiento que se compone de cuatro fases diferenciadas.

En primer lugar, siguiendo a Ramos-Rodríguez y Ruíz-Navarro (2004), se ha accedido al catálogo de la *Web of Science* (con fecha 30/03/2016) seleccionando su colección principal y únicamente el *Social Science Citation Inde* (1). Una vez hecho esto se han incluido en el campo Tema los términos «Environmental Technologies» y «Green Technologies», teniendo en cuenta que desde este campo se verifica la aparición de los términos de búsqueda especificados en el título, en el abstract y en las palabras clave de los documentos. Con el objeto de tener una perspectiva lo más amplia posible de la literatura no se ha delimitado ámbito temporal alguno ni tampoco se ha filtrado por ningún área de conocimiento específica.

En segundo lugar, una vez obtenidos los documentos que se ajustan a la búsqueda realizada, se ha generado un fichero plano con los registros completos (autor, título, fuente, abstract, referencias citadas etc...) de cada una de las referencias para su tratamiento posterior.

En tercer lugar, el fichero plano obtenido ha sido posteriormente tratado mediante el software informático Bibexcel (2) con el objeto de realizar un análisis de citaciones que nos muestre la frecuencia de citaciones de las referencias bibliográficas seleccionadas.

En cuarto y último lugar se han seleccionado los documentos más citados a partir de un determinado umbral (en este caso más de 20 citas recibidas) y se han clasificado por áreas de conocimiento. No se ha optado por un criterio más restrictivo en lo que respecta al número de citas recibidas para no reducir en exceso la muestra objeto de estudio y poder así tener una visión general de las áreas de interés del tópico y de su riqueza conceptual subyacente.

RESULTADOS

Producción Científica. Análisis cuantitativo

Una vez aplicados los criterios anteriores y como resultado de la primera fase anteriormente detallada se obtuvieron un total de 178 referencias en las que la palabra «Environmental Technologies» o «Green Technologies» aparecía en el título, el abstract o dentro de las palabras clave.

Tras el análisis de los 178 documentos comentados, se observa una gran dispersión dentro del tópico, que es tratado desde muy diversas áreas de conocimiento (15 áreas distintas) y entre cuyos trabajos son muy pocos los que son citados en más de 20 ocasiones (un total de 31 documentos).

De entre las áreas de conocimiento que más frecuentemente tratan la materia objeto de estudio y muestran trabajos con un mayor número de citas destacan por su importancia las de Ciencias Ambientales (*Environmental Sciences*) con un total de 368 citas recibidas, Dirección de Empresas (*Management*) con 1675 citas, Operaciones con 322, Estudios Ambientales (*Environmental Studies*) con 231 y *Business* con 929, siendo el peso de las otras áreas cuantitativamente mucho menor.

En lo que respecta al impacto de los trabajos de la muestra final (31 documentos) es posible agrupar los documentos en torno a cuatro grandes grupos de la siguiente forma:

- Trabajos de impacto moderado: Se incluyen en este grupo aquellos documentos sobre la materia que han sido citados entre 20 y 49 veces. Suman un total de 18 documentos.
- Trabajos de impacto medio: Se incluyen en este grupo aquellos documentos que han sido citados entre 50 y 99 veces. Suman un total de 6 documentos.
- Trabajos de gran impacto: Se incluyen en este grupo aquellos documentos que han sido citados entre 100 y 200 veces. Suman un total de 4 documentos.
- Trabajos de impacto excepcional: Se incluyen en este grupo aquellos documentos que han sido citados 200 veces o más. Suman un total de 3 documentos.

Cabe destacar el gran impacto que tienen sobre el desarrollo de la materia los artículos incluidos en el último grupo cuyo número de citaciones recibidas se encuentra muy por encima de la media (establecida en 84 citas) y se localiza en la cola de la distribución de frecuencias con valores de 259, 319 y 367 citas respectivamente (Cuadro 1, y Figura 1, en la página siguiente).

ESTRUCTURA INTELECTUAL SUBYACENTE

Análisis cualitativo

Más allá del análisis cuantitativo es interesante conocer cuál es la estructura intelectual subyacente que se encuentra tras las diferentes contribuciones objeto de estudio. Así, en el caso de las tecnologías medioambientales es posible diferenciar tres clases de orientaciones en la literatura académica.

En un primer grupo de trabajos se encuentran aquellos en los que predomina la orientación hacia la empresa desde un enfoque gerencial, y que tienen como objeto de estudio principal las decisiones de inversión en las diferentes clases de tecnologías medioambientales y su impacto en el rendimiento medioambiental y en el rendimiento económico de las empresas.

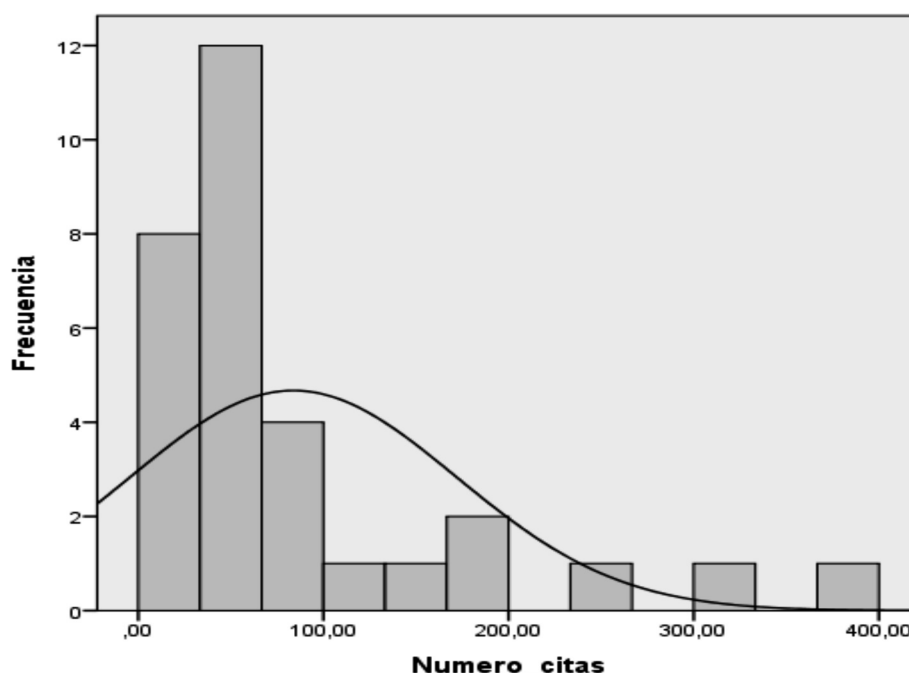
En un segundo grupo de trabajos se encuentran aquellos que, aunque no pueden desligarse completamente de la preocupación por las decisiones directivas y

CUADRO 1
MUESTRA DE TRABAJO
DOCUMENTOS CON 20 O MÁS CITAS ORDENADOS DE MENOR A MAYOR.

Autor	Año	Revista	Nº de citas
Bleischwitz R	2003	Ecological Economics	20
Jänicke, M; Lindemann S	2010	Environmental Politics	21
Hajmohammad S.; Vachon S.; Klassen RD.; Gavronski I.	2013	Journal of Cleaner Production	22
Innes R.; Bial J	2002	Journal of Industrial Economics	26
Clark W; Isherwood, W	2004	Energy Policy	26
Verheul, H.; Vergragt PJ	1995	Technology Analysis & Strategic Management	28
Managi S.; Silverberg G.; Cantono S	2009	Technological Forecasting and Social Change	33
Salinas, M.; Schwartz, ES.; Cortazar G.	1998	Management Science	34
Crespi F.; Costantini V.	2007	Ecological Economics	35
Geng, Yong.; NoorulHaq, A.; Mathiyazhagan, K.; Govindan K.	2013	Journal of Cleaner Production	36
Zhang, X.; Shen, L.; Wu YZ	2011	Journal of Cleaner Production	37
Zeng Y.; Fang YP	2007	Energy	37
Shi VG.; Cucchiella F.; Baldwin J.; Koh SCL	2012	Supply Chain management-An International Journal	40
Klassen RD	2000	International International Journal of Operations & Production Management	43
Kerr R.; Hall J	2003	Journal of Cleaner Production	43
Hounshell DA.; Taylor MR.; Rubin ES	2003	Environmental Science & Technology	44
Langella I.; Carbo J.; Dao V	2011	Journal of Strategic Information Systems	48
Klassen RD.; Vachon, S.	2007	International Journal of Production Research	54
Ollikainen M.; Amacher GS.; Koskela E	2004	Journal of Environmental Economics and Management	55
Kenworthy JR	2006	Environment and Urbanization	67
Lee SY	2008	Supply Chain management-An International Journal	89
Vachon S	2007	International Journal of Production Research	95
Klassen RD.; Vachon, S.	2006	Journal of Cleaner Production	98
Klassen RD.; Whybark DC	1999	Decision Sciences	109
Klassen RD.; Vachon, S.	2003	Production and Operations Management	139
Rothenberg S.; Geffen CA	2000	International Journal of Operations & Production Management	169
Lanjouw JO.; Mody A	1996	Research policy	170
Klassen RD.; Vachon, S.	2006	International Journal of Operations & Production Management	259
Shrivastava, P.	1995	Strategic Management Journal	319
Klassen RD.; Whybark DC	1999	Academy of Management Journal	367

FUENTE: Elaboración propia.

FIGURA 1
DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DEL NÚMERO DE CITAS DE LOS DOCUMENTOS QUE COMPONEN LA MUESTRA OBJETO DE ESTUDIO



FUENTE: Elaboración propia

analizan también la empresa, están enfocados a la función de operaciones, siendo su principal objeto de estudio el impacto de las tecnologías medioambientales en la gestión de la cadena de suministro y en el rendimiento medioambiental de las empresas.

Dentro de un tercer grupo se encuentran aquellos trabajos en los que predomina el estudio de las tecnologías medioambientales utilizando la **industria o el país** como unidad de análisis. En estos trabajos destaca el interés en las dinámicas de innovación en las industrias, la difusión tecnológica, el impacto de la regulación medioambiental y en el papel que juegan los instrumentos de política medioambiental en el desarrollo de las tecnologías medioambientales.

Y finalmente, en un cuarto grupo de contribuciones encontramos aquellas centradas en realidades específicas de carácter social que relacionan las tecnologías medioambientales con casos concretos relativos a la gestión sostenible de las ciudades o la participación ciudadana entre otros aspectos y que se encuentran alejadas del mundo de la empresa.

Orientación a la empresa: Enfoque gerencial. Sin duda el trabajo con más impacto en lo que se refiere al número de citas recibidas (367) dentro del campo de las tecnologías medioambientales es el realizado Klassen y Whybark (1999a). Los autores plantean y desarrollan una tipología de tecnologías medioambientales (tecnologías de prevención de la contaminación, de control de la contaminación y sistemas de gestión medioambiental) que luego será adoptada por gran parte de la literatura sobre el tópico. Asimismo, parten del marco teórico de recursos y capacidades para desarrollar el concepto de *Environmental Technology Portfolio* que definen como el patrón de inversión en tecnologías medioambientales a lo largo del tiempo. Argumentan que este patrón afecta significativamente tanto al rendimiento medioambiental como al rendimiento de la producción en empresas manufactureras y destacan que dentro de las tecnologías medioambientales anteriormente mencionadas la prevención está relacionada positivamente con el rendimiento medioambiental y también con el rendimiento económico de la empresa y el control está relacionado con un empeoramiento del rendimiento medioambiental.

También dentro de los trabajos considerados como de *impacto excepcional* según la agrupación antes realizada, destaca también Shrivastava (1995) con 319 citas recibidas. El autor también parte de la teoría de Recursos y Capacidades para definir y analizar de forma muy amplia el concepto de tecnologías medioambientales (al que incorpora la orientación gerencial) y sostiene que éstas son un activo estratégico para el logro de la ventaja competitiva. De este modo, en un escenario de adaptación de la empresa a los desafíos medioambientales, las tecnologías medioambientales constituyen una variable estratégica ya que de su correcta elección dependen los costes y los impactos sobre el medio que generan las empresas.

Así, la elección de la tecnología medioambiental adecuada determina aspectos tan importantes y diversos como el tipo de materias primas que se utilizarán, las eficiencias de producción, la contaminación emitida por los procesos productivos, la seguridad y salud en el trabajo así como la seguridad pública y la gestión de los residuos entre otros.

Dentro de los trabajos de impacto medio y con 109 citas, Klassen y Whybark (1999) consideran que el conocimiento que se tiene en relación a la selección de las tecnologías medioambientales es, en el mejor de los casos, superficial, y por ello elaboran un modelo conceptual de gestión medioambiental para las empresas manufactureras. Desde su punto de vista, la orientación medioambiental de las empresas dependerá de la inversión en tecnologías medioambientales. Así, en lugar de relacionar las empresas proactivas con la prevención de la contaminación, los autores encuentran que las empresas proactivas (los directivos proactivos en concreto) mantienen una cartera equilibrada con una considerable proporción de tecnologías de control de la contaminación (y no solo de prevención).

Para llegar a estas conclusiones los autores fusionan la literatura de gestión medioambiental (para analizar la orientación de la dirección en la selección de tecnologías medioambientales) con la de estrategia de operaciones (para categorizar las tecnologías medioambientales) y definen el concepto de orientación medioambiental de la dirección como el conjunto de objetivos, planes y sistemas que determinan la orientación productiva de la empresa y su respuesta a los problemas medioambientales y regulaciones derivadas. Asimismo, especifican aquellas características del directivo asociadas a la proactividad medioambiental.

Finalmente, hacen un análisis *cluster* en el que distinguen entre diferentes orientaciones hacia el medio ambiente diferenciando entre liderazgo, cumplimiento y carácter oportunista. Es interesante anotar que mientras que el liderazgo se relaciona con una inversión equilibrada en prevención y control, el grupo de cumplimiento se dedica fundamentalmente al control medioambiental y el grupo de oportunistas opta por la prevención.

Con un impacto moderado (48 citas) destaca el trabajo de Dao, Langella y Carbo (2011) que estudian de manera conceptual también desde la teoría de los recursos y capacidades y su Visión Natural la contribución de las tecnologías de la información y la comunicación a la sostenibilidad medioambiental de las empresas. En su análisis teórico hacen confluir argumentos procedentes de disciplinas aparentemente distantes como Recursos Humanos, Cadena de Suministro, Gestión de los Sistemas de Información o Sostenibilidad y concluyen que la integración de las tecnologías de la información (componentes tecnológicos tangibles, habilidades técnicas y de gestión tecnológica y conocimiento tecnológico) con el resto de recursos orientados a la sostenibilidad medioambiental no sólo permite conseguir los objetivos medioambientales sino que también contribuye al logro de la ventaja competitiva.

También con un impacto moderado (43 citas) se encuentra el trabajo de Klassen (2000). El autor investiga sobre las decisiones de inversión en tecnologías medioambientales (prevención de la contaminación, sistemas de gestión medioambiental y control de la contaminación) y destaca que las decisiones en este ámbito no son independientes y que son complementarias a las decisiones de inversión generales en el área de operaciones (inversiones en tecnología de proceso avanzada y en sistemas organizativos orientados a la calidad). Así, constatan que a medida que aumentan las inversiones en el área de operaciones, también aumenta la proporción del presupuesto dirigido a las tecnologías medioambientales, dando a entender que los responsables de las compañías ven esta clase de inversiones como algo auxiliar que sólo es considerado una vez que otras prioridades a su juicio más importantes han sido satisfechas. El autor señala igualmente que las inversiones en gestión de la calidad provocan un alejamiento de la compañía de las inversiones en control de la contaminación y que las inversiones en tecnologías avanzadas de proceso alejan a la compañía de la prevención de la contaminación y la orientan más al control de la contaminación y los sistemas de gestión medioambiental, lo que denota un intento de equilibrar el riesgo entre las inversiones en operaciones y en medio ambiente.

Por último y dentro de los trabajos con enfoque gerencial con impacto moderado (34 citas), Salinas, Cortazar y Schwartz (1998) abordan el problema de la inversión en tecnologías medioambientales desde una perspectiva financiera que tiene en cuenta los precios del producto final y el nivel de producción de la planta. Los autores centran su análisis en el sector minero y en las tecnologías de control de la contaminación, poniendo de manifiesto como esta clase de tecnologías suponen un alto desembolso para las compañías. Concluyen que las empresas del sector, ante la existencia de regulaciones que penalizan las emisiones contaminantes a partir de un determinado umbral, optan por reducir su producción (reduciendo así sus emisiones) en lugar de invertir grandes cantidades en dispositivos de control medioambiental que podrían ser poco rentables si el precio del producto baja.

Orientación a la empresa: Enfoque operaciones. Dentro de este grupo de trabajos sobre tecnologías medioambientales orientados a la función de operaciones destaca el trabajo de Vachon y Klassen (2006b) que con 259 citas es una de las contribuciones denominadas de impacto excepcional. Los autores abordan la problemática de estas tecnologías desde la teoría de la gestión de la cadena de suministro. Así, enriquecen el análisis sobre la materia con la inclusión del concepto de colaboración medioambiental, destacando en sus resultados la fuerte relación positiva que existe entre la integración tecnológica y dicha colaboración medioambiental. Eso le otorga a los aspectos medioambientales de la cadena de suministro un carácter estratégico ya que la integración tecnológica se realiza en las áreas estratégicas de la empresa tales como el desarrollo de producto, la reingeniería de procesos y la

formación técnica, todas ellas caracterizadas por la existencia de un importante componente de conocimiento tácito. En definitiva, según estos autores el paradigma colaborativo de la cadena de suministro tiene que redefinir su alcance para incluir aspectos relacionados con el desarrollo sostenible.

Por su parte Geffen y Rothenberg (2000) con una contribución que podríamos denominar de gran impacto (169 citas) destacan por analizar la materia desde la relación entre los proveedores y las empresas productoras enfatizando el papel de los proveedores en la mejora del rendimiento medioambiental y en el éxito de las tecnologías medioambientales. Según estos autores la puesta en marcha de innovaciones radicales frecuentemente requiere de la existencia de capacidades que van más allá de los límites de la propia empresa. Fundamentando sus argumentaciones en la literatura sobre gestión de empresas centran su atención en la conexión entre el conocimiento del proveedor y el enfoque directivo de la empresa productora. De esta forma, el rendimiento medioambiental mejora cuando confluyen el conocimiento especializado del proveedor y la gestión flexible y abierta al conocimiento externo.

Dando continuidad al trabajo de Geffen y Rothenberg (2000), Klassen y Vachon (2003) con una contribución de impacto medio (139 citas) conectan también la literatura sobre la gestión de la cadena de suministro con la gestión medioambiental. Se puede decir que complementan el trabajo anterior dado que incorporan al análisis el estudio de la conexión entre las relaciones existentes en la cadena de suministro y la intensidad y dirección de la inversión en tecnologías medioambientales. Los autores concluyen que las relaciones de colaboración dentro de la cadena de suministro influyen tanto en la intensidad como en la dirección de la inversión en dichas tecnologías. Más concretamente destacan principalmente que la colaboración de la planta productora con los clientes se relaciona con una mayor inversión en prevención de la contaminación.

Vachon y Klassen (2006) –impacto medio, 98 citas– desarrollan el concepto de *Green Project Partnership* entendido como el grado de interacción entre organizaciones dentro de la cadena de suministro (clientes y proveedores) en lo que respecta a la prevención de la contaminación. Los autores adoptan una perspectiva centrada en la producción, tomando como variable dependiente el rendimiento operativo (para clientes: calidad, flexibilidad, rendimiento medioambiental; para proveedores: mejor entrega) y analizando los acuerdos en proyectos verdes en la cadena de suministro. Aunque no profundizan, los autores toman como base teórica la teoría de Recursos y Capacidades mencionando explícitamente la Visión Natural de los Recursos y Capacidades (Hart, 1995). Concluyen además que las alianzas en proyectos verdes con los principales clientes generan un mejor rendimiento operativo que las alianzas similares con los principales proveedores.

Vachon (2007) –impacto medio, 95 citas–, profundiza en el estudio de las relaciones que se dan en la cadena de suministro y establece una conexión entre éstas y la clase de tecnología medioambiental utilizada en las empresas, retomando la clásica distinción entre prevención de la contaminación, control de la contaminación y sistemas de gestión para clasificar dichas tecnologías (Klassen y Whybark, 1999a). El autor concluye que las relaciones de colaboración de la empresa con sus proveedores están positivamente relacionadas con la inversión de ésta en tecnologías de prevención de la contaminación y no así las relaciones de colaboración con los clientes, lo que podrían interpretarse como que el verdadero motor para la gestión medioambiental sostenible se encuentra «aguas arriba» y no en la presión que ejercen los consumidores como demandantes de productos medioambientalmente beneficiosos.

Más concretamente e incidiendo en la misma idea, el trabajo de Lee (2008) –impacto medio, 89 citas– continúa la línea de las contribuciones precedentes acerca de la cadena de suministro. Sin embargo, enriquece la literatura sobre este tema analizando el caso específico de los pequeños y medianos proveedores del sector manufacturero surcoreano y los factores que les estimulan a participar en cadenas de suministro sostenibles. Así, las pequeñas y medianas empresas tendrán del sector tendrán más incentivos a participar en cadenas de suministro sostenibles si las grandes empresas compradoras, por una parte, utilizan en sus propios procesos prácticas medioambientalmente beneficiosas, y por otra, asisten y dan apoyo a las anteriores en sus esfuerzos por adaptarse a estas nuevas prácticas. De forma adicional, y en consonancia con las tesis principales de la Visión Natural de los Recursos y Capacidades (Hart, 1995), el autor concluye que las pequeñas y medianas empresas proveedoras tendrán más incentivos para participar en las cadenas de suministro sostenible en la medida que posean un mayor nivel de concienciación medioambiental, una mayor comunicación entre áreas funcionales y recursos financieros, humanos y tecnológicos adecuados.

También tomando como referencia la cadena de suministro, Vachon y Klassen (2007) –impacto medio, 54 citas– sostienen que la inversión de una empresa en tecnologías medioambientales no puede realizarse al margen de la cadena de suministro. Así, argumentan que cuanto más profunda es la conexión y la integración estratégica de la empresa con sus proveedores (incluyendo aspectos como el desarrollo de producto o el conocimiento compartido), más recursos son destinados a la prevención de la contaminación, y cuanto más intensa es la integración con los clientes, estos recursos irán dedicados en su mayor parte al control de la contaminación.

Shi, Koh, Baldwin y Cucchiella (2012) –impacto moderado, 40 citas– proponen un modelo conceptual que relaciona de manera explícita la literatura sobre la cadena de suministro con la Visión Natural de los Recursos y Capacidades y con la Teoría Institucional. Utilizando un enfoque muy amplio y de gran alcance los auto-

res plantean que son los factores institucionales los determinantes de la puesta en práctica de las prácticas medioambientales de las empresas (tanto internas como externas), y que la relación entre estas prácticas y el rendimiento económico/ financiero de las empresas está determinado en diferente medida e importancia por el rendimiento medioambiental y operativo. Además del propio modelo en el que confluyen tanto los antecedentes como los resultados de la gestión medioambiental, el trabajo ofrece interesantes aportaciones en cuanto a medidas a utilizar por los investigadores en la materia.

Las barreras a la puesta en marcha de cadenas de suministro sostenibles en el sector de los componentes para la industria del automóvil en la India (donde predominan las pequeñas y medianas empresas proveedoras) son estudiadas en profundidad en el trabajo de Mathiyazhagan, Govindan, NoorulHaq y Geng (2013) –impacto moderado, 36 citas–. Así, mediante un modelo basado en la utilización de ecuaciones estructurales analizan un total de 26 tipos de barreras potenciales que aparecen mencionadas en la literatura sobre el tópico (falta de apoyo gubernamental, falta de habilidades técnicas, falta de tecnología, materiales y procesos, falta de confianza en los beneficios medioambientales etc...). Tras el análisis empírico los autores concluyen que la principal barrera a la implementación de cadenas de suministro sostenibles es la falta de concienciación medioambiental de los proveedores.

Como último trabajo dentro de este bloque, Hajmohammad, Vachon, Klassen y Gavronski (2013) –impacto moderado, 22 citas–, contribuyen a la literatura de gestión de operaciones planteando un modelo teórico que analiza conjuntamente el *lean management* (prácticas complementarias e interrelacionadas en el área de operaciones cuyo fin es la reducción o eliminación de actividades no generadoras de valor), la gestión de la cadena de suministro, las prácticas medioambientales en la empresa y el rendimiento medioambiental. Mediante un modelo de ecuaciones estructurales, los autores muestran el papel mediador que juegan las prácticas medioambientales en la relación entre *lean management* y rendimiento medioambiental, destacando la importancia de los sistemas de gestión medioambiental o las medidas de prevención de la contaminación como parte de las anteriores. Asimismo, sus resultados demuestran que la relación entre los procesos de gestión de la cadena de suministro y el rendimiento medioambiental es casi inexistente. En definitiva, los autores demuestran empíricamente que por sí mismos el *lean management* y la gestión de la cadena de suministro no están directamente relacionados con el rendimiento medioambiental. Se hace por tanto imprescindible que la empresa destine recursos a la gestión medioambiental como elemento mediador entre la gestión de sus operaciones y el rendimiento medioambiental.

Orientación a la industria o país: Difusión tecnológica, política medioambiental y cambio tecnológico. Dentro del grupo de trabajos orientados a la industria o país, Lanjouw y Mody (1996) –gran impacto, 170 ci-

tas– llevan a cabo uno de los trabajos pioneros en lo que a tecnologías medioambientales se refiere centrado en la difusión de las innovaciones medioambientales. Así, utilizando las patentes medioambientales y desde una perspectiva macroeconómica (la unidad de análisis es el país) analizan la naturaleza y el alcance de las innovaciones medioambientales y su difusión internacional. El trabajo se circunscribe principalmente a las tecnologías de control de la contaminación y muestra la relación existente entre la regulación medioambiental y las innovaciones medioambientales.

Desde una perspectiva analítica centrada en la teoría de juegos y en el estudio de los incentivos de las empresas para invertir en tecnologías medioambientales, Amacher, Koskela y Ollikainen (2004) –impacto medio, 55 citas– investigan el caso de los duopolios de empresas que compiten en calidad medioambiental (entendiendo como tal la obtención de etiquetas ecológicas). De su trabajo se deriva que los incentivos de las empresas para invertir en tecnologías medioambientales dependen en gran medida y de manera esencial de sus estructuras de costes. Sin ahondar en la caracterización de las tecnologías medioambientales los autores aportan una visión novedosa y enriquecedora que tiene en cuenta los factores que subyacen tras las decisiones de inversión en tecnologías verdes.

Siguiendo a Lanjouw y Mody (1996) también presta especial atención al impacto de la regulación medioambiental en el desarrollo de tecnologías medioambientales el trabajo de Taylor, Rubin y Hounshell (2003) –impacto moderado, 44 citas–. El concepto de tecnologías medioambientales en este caso queda restringido a las tecnologías de control de la contaminación en las centrales de carbón. En concreto estos autores analizan cómo impactan las regulaciones medioambientales en la actividad inventiva y en la transferencia y difusión del conocimiento. Asimismo, también estudian el impacto de la innovación en el rendimiento y en el coste. La conclusión principal del trabajo es que la regulación medioambiental supone un estímulo más grande a la actividad innovadora que los programas de investigación patrocinados por los gobiernos y que la anticipación a la regulación por parte de las empresas también incentiva la actividad inventiva. Se concluye igualmente que la adopción de esta clase de tecnologías deriva en ganancias de eficiencia y reducciones del coste de capital.

Hall y Kerr (2003) –impacto moderado, 43 citas– se aproximan al concepto de innovación medioambiental desde una perspectiva que tiene en cuenta las dinámicas de innovación en las industrias. Así, acuden a los conceptos clásicos de paradigma y trayectoria tecnológica y la dicotomía innovación incremental e innovación radical. En su análisis toman como punto de referencia el caso de las pilas de combustible en la industria automovilística en contraposición al ya establecido paradigma de los motores de combustión, y concluyen que la percepción del carácter radical de una tecnología por parte de los grupos de interés es el factor clave para su adopción generalizada. En definitiva,

argumentan que muchas de las tecnologías que en principio pueden parecer innovaciones radicales, al final resultan ser innovaciones incrementales desde el punto de vista operativo.

Desde una perspectiva macroeconómica Fang y Zeng (2007) –impacto moderado, 37 citas– mencionan las tecnologías medioambientales como un elemento más dentro de un marco general destinado a conciliar el incremento en el consumo de energía derivado del crecimiento económico con el respeto al medio ambiente para el caso chino. Los autores constatan que China afronta en el ámbito de la gestión medioambiental una serie de problemas acuciantes que impiden el cambio hacia un modelo energético más medioambientalmente sostenible. Así, según su análisis, para llevar a cabo dicho cambio de modelo son necesarios una serie de instrumentos de gestión medioambiental y de políticas integradas a nivel nacional que operen al mismo tiempo (establecimiento de estándares medioambientales, sistemas de compensación, la creación de un mercado de energía verde etc...) y que deriven en último término en la utilización de tecnologías limpias en una economía baja en carbono.

Zhang, Shen y Wu (2011) –impacto moderado, 37 citas– aplican las tecnologías medioambientales al sector de la construcción en China. Mediante cuatro casos de estudio analizan si la construcción bajo parámetros de sostenibilidad (tecnologías para el aprovechamiento de la luz solar y el aislamiento térmico) es percibida por los profesionales del sector como fuente de ventaja competitiva. Asimismo, también estudian la clase de barreras a las que se enfrentan esta clase de construcciones. Los autores concluyen que si bien las tecnologías de construcción medioambientalmente sostenible son percibidas como fuente de ventaja competitiva en términos de reputación y reducción de costes (financiación favorable o precio del suelo) para las empresas, las principales barreras a las que se enfrenta el sector son el alto coste de los elementos y dispositivos necesarios para este tipo de construcciones y el alto precio final al que se vende al cliente.

Por su parte Constantini y Crespi (2007) –impacto moderado, 35 citas– plantean un enfoque novedoso acerca de las tecnologías medioambientales ya que analizan la evolución de las exportaciones de tecnología medioambiental orientada a las energías renovables y a la eficiencia energética por parte de los países de la Unión Europea. Sus resultados, fundamentados en la aplicación de modelos analíticos propios de los estudios de comercio internacional, coinciden con la hipótesis de Porter y van der Linde al afirmar que la estricta regulación medioambiental (en el caso de la Unión Europea en lo que respecta a su adaptación a las exigencias del Protocolo de Kioto) constituye un impulso esencial para el incremento de las inversiones en equipamiento tecnológico avanzado y es una fuente indirecta de ventaja competitiva a nivel internacional. Asimismo, para el caso específico de las tecnologías limpias en el ámbito energético, los autores indican

que dicho impulso podrá ser efectivamente explotado en términos de rendimiento exportador si se ve acompañado por la capacidad exportadora de las naciones.

Cantono y Silverberg (2009) –impacto moderado, 33 citas– centran su interés en la difusión de las tecnologías medioambientales y particularmente en el caso de las pilas de hidrógeno, caracterizadas por tener unos altos costes iniciales y serias dificultades para su difusión en los mercados. Los autores, basándose en los modelos de difusión tecnológica y planteando la relación existente entre difusión, economías de aprendizaje y subsidios, analizan el papel que éstos últimos (como elemento de política medioambiental) juegan en este proceso y concluyen que esta clase de subsidios no consiguen sus propósitos de facilitar la difusión de las tecnologías limpias cuando las economías de aprendizaje son muy reducidas (en cuyo caso los subsidios temporales no consiguen promover su difusión) o cuando las economías de aprendizaje son muy altas (en cuyo caso la difusión se daría en cualquier caso). Sin embargo, para un determinado rango de economías de aprendizaje, los subsidios a los clientes sí pueden ser útiles para la difusión de esta clase de tecnologías.

Managi (2006) –impacto moderado, 33 citas– aplica conceptos clásicos tales como el efecto aprendizaje y las economías de escala a los esfuerzos por mitigar la contaminación en el sector agrícola desde una perspectiva macroeconómica y con datos de panel a nivel estatal. Así, fundamenta su análisis en la Curva Medioambiental de Kuznets según la cual existe una relación de U-Invertida entre el rendimiento económico y la contaminación medioambiental. De este modo, el aumento en la eficiencia de los esfuerzos por mitigar la contaminación hace que estos esfuerzos sean cada vez menos costosos y que aumente la escala de los mismos, reduciendo consecuentemente la contaminación en un porcentaje que dobla la cantidad de esfuerzos dedicados. El autor mide los esfuerzos medioambientales de una forma amplia ya que considera como tales a los gastos estatales relativos a la adopción de tecnologías medioambientalmente beneficiosas, a la puesta en marcha de prácticas de gestión, a la provisión de asistencia técnica y financiera y la reutilización de recursos hídricos disponibles.

El papel de la regulación medioambiental es el elemento clave en el trabajo de Innes y Bial (2002) –impacto moderado, 26 citas– ya que analizan el impacto de ésta en la inversión medioambiental de las empresas en prevención de la contaminación. Lo hacen desde una perspectiva centrada en la economía industrial y la teoría de juegos, y sostienen que existe un óptimo en la inversión medioambiental de las empresas y que éste no se obtiene únicamente por medio de impuestos a las emisiones contaminantes sino que también (y de forma complementaria) se consigue mediante el establecimiento de estándares que dispensan un trato diferenciado según las empresas revelen disponer de tecnologías medioambientales superiores.

Jänicke y Lindemann (2010) –impacto moderado, 21 citas– analizan las tecnologías medioambientales en relación a la orientación de las políticas medioambientales. Constatan estos autores que, debido las oportunidades económicas que generan, entre los países industrializados hay una tendencia generalizada a seguir unas políticas medioambientales orientadas a la innovación, subrayando la necesidad de que estas políticas se centren en aquellas innovaciones ecológicamente eficientes y que desarrollen regulaciones inteligentes a través de instrumentos combinados de política medioambiental.

Por último dentro de este bloque destaca el trabajo de Bleischwitz (2003) –impacto moderado, 20 citas– que analiza el papel que juegan determinados mecanismos cognitivos e institucionales (entendidos éstos como sistemas de normas) en el desarrollo de las tecnologías medioambientales. Partiendo de una clasificación de tecnologías medioambientales más refinada (y que diferencia éstas entre tecnologías *end of pipe*, tecnologías integradas, tecnologías ecoeficientes y diseño de nuevos sistemas) pone el acento en las tecnologías ecoeficientes para afirmar que éstas se implementan sobre una base de conocimientos preexistente sin estar vinculadas a cambios radicales en la empresa. Así, desde su perspectiva, las tecnologías ecoeficientes se caracterizan por seguir un camino incremental de carácter evolutivo basado en reglas de carácter general no circunscritas exclusivamente al ámbito de los directivos medioambientales o del personal medioambiental de la empresa, sino susceptibles de ser aplicadas de manera general en la misma.

Realidades específicas: Enfoque social. Dentro de este cuarto bloque se incluyen aquellos trabajos que se alejan del estudio de la empresa o de la industria y que exploran las tecnologías medioambientales desde otras perspectivas con marcado carácter social.

En esta categoría destaca el trabajo de Kenworthy (2006), –impacto medio, 67 citas– que analiza el concepto de tecnologías medioambientales en relación a la gestión sostenible de las ciudades. En concreto destaca la aplicación de tecnologías medioambientales a la gestión del agua, la energía y el tratamiento de residuos con el objetivo de lograr que las ciudades lleguen a ser sistemas cerrados en consonancia con los principios de la economía circular. Desde su perspectiva, estas tecnologías constituyen una de las diez dimensiones clave para el desarrollo de las ciudades sostenibles.

Desde una orientación parecida Verheul y Vergragt (1995) –impacto moderado, 28 citas– analizan el fenómeno desde un enfoque alejado tanto de las empresas como de las instituciones y gobiernos. Así, ponen el énfasis en el papel de lo que califican como «experimentos sociales» (iniciativas ciudadanas o de organizaciones no gubernamentales) en el desarrollo de las tecnologías medioambientales.

Y por último dentro de este bloque se encuentra el trabajo de Clark y Isherwood (2004) –*impacto modera-*

do, 26 citas– que desde una perspectiva macroeconómica relacionan las tecnologías medioambientales (energías renovables y sistemas de almacenamiento) con las comunidades locales. Se propone un modelo orientado a que las comunidades locales sean energéticamente autosuficientes, destacando además, el papel fundamental de las administraciones en dicha tarea.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES ‡

Como resultado del análisis anterior es posible destacar algunas evidencias relativas tanto al equilibrio/desequilibrio del impacto de las tecnologías medioambientales entre áreas de conocimiento como sobre la evidente diferencia en la repercusión de las distintas contribuciones analizadas individualmente.

En lo que respecta al primero de los aspectos, se observa como la mayor parte de las contribuciones académicas se pueden agrupar en tres áreas de conocimiento que se adaptan de manera bastante fiel a los grupos señalados en el análisis cualitativo. Así, el mayor impacto en cuanto a citas recibidas lo tienen las contribuciones pertenecientes a las áreas de Business / Management (enfoque gerencial-1505 citas totales), seguidas de las contribuciones pertenecientes a las áreas Environmental Studies/Environmental Sciences (difusión tecnológica, política medioambiental y cambio tecnológico-449 citas totales) y de las contribuciones que se encuadran en el área de Operaciones (enfoque operaciones-288 citas totales).

Así, sumando el impacto (medido en citas) de las contribuciones relacionadas con la empresa (enfoque gerencial más enfoque operaciones) obtenemos un total de 1793 citas, cifra muy por encima de las 449 citas recibidas por los trabajos pertenecientes a las áreas de Environmental Studies/Environmental Sciences, lo que puede proporcionar una idea clara del interés que despierta la materia en cada uno de los casos. En este sentido, se hace patente la falta de conexión entre áreas (el desequilibrio en el impacto de los trabajos en una y otra es evidente), lo que pone de manifiesto la necesidad de trabajos integradores que analicen el fenómeno de las tecnologías medioambientales desde una perspectiva híbrida (micro-empresa; macro-industria o país).

En lo que respecta al segundo de los aspectos, analizando las contribuciones individuales también se aprecia un claro desequilibrio entre los trabajos catalogados como de impacto excepcional y el resto. A la vista de los resultados se puede sostener que los trabajos de Klassen y Whybark (1999a), Shrivastava (1995) y Vachon y Klassen (2006) constituyen la referencia teórica indispensable para el estudio de las tecnologías medioambientales. Así, el trabajo de Shrivastava (1995), además de ser un trabajo pionero en la materia, constituye una referencia porque define de manera muy clara el concepto de tecnologías medioambientales y sirve como

punto de partida para futuros desarrollos tanto conceptuales como empíricos. Por su parte, el trabajo de Klassen y Whybark (1999a), que como se ha dicho es el más citado, destaca por realizar una clasificación entre las diferentes tecnologías medioambientales (prevención, control y sistemas de gestión medioambiental) aportando un valor indudable para la correcta determinación de las estrategias medioambientales de las empresas, lo que sin duda ha sido determinante para su extraordinaria difusión. Y finalmente, aunque a cierta distancia de los dos trabajos anteriores, la contribución de Vachon y Klassen (2006b) constituye un referente en materia de colaboración medioambiental y cadenas de suministro sostenibles.

Para terminar, cabe preguntarse acerca de la razón por la que los trabajos sobre tecnologías medioambientales en las áreas cercanas a la empresa tienen mucha más repercusión que en el resto de áreas. En este sentido, ésta deriva de las tecnologías medioambientales hacia el área de management podría explicarse atendiendo al paradigma dominante en relación al concepto de Sostenibilidad (Ilge y Schwarze, 2009) que predomina en esta clase de estudios. Así, mientras que según el paradigma denominado Economía Ecológica o Ecological Economics se cuestiona el crecimiento como objetivo económico y se sostiene que el capital humano sólo puede sustituir a la naturaleza de forma muy limitada, según el paradigma denominado Economía Medioambiental o Neoclásical Environmental Economics (paradigma en el que se encuadran la mayoría de los estudios de gestión medioambiental y tecnologías medioambientales del área de management/business) se rechazan de manera general los cambios fundamentales en el sistema económico y se piensa que el progreso técnico puede solucionar los problemas derivados de la restricción de recursos a la que nos aboca el desafío medioambiental.

Es por tanto este énfasis en el progreso técnico propio del paradigma Neoclásical Environmental Economics el que podría explicar la gran repercusión que tienen los trabajos sobre tecnologías medioambientales en las áreas cercanas a la empresa en comparación al resto de áreas de conocimiento.

Finalmente, hay que destacar que el presente trabajo no está exento de limitaciones. En primer lugar, la metodología que se ha seguido para buscar los trabajos más relevantes podría mejorarse no sólo en lo relativo a los análisis efectuados (podrían incluirse otros análisis más refinados como el estudio de las cocitaciones) sino también en lo que respecta a las bases de datos objeto de consulta (en éste trabajo sólo se ha consultado la Web of Science). En segundo lugar, es necesario realizar un análisis más en profundidad de las conexiones entre los trabajos sobre tecnologías medioambientales y los diferentes paradigmas en torno al concepto de Sostenibilidad, análisis que podría ser un interesante ejercicio teórico y podría explicar la evolución seguida por los estudios de gestión medioambiental de la empresa.

NOTAS

- [1] Social Science Citation Index (SCCI) es una base de datos que contiene no sólo el título, los autores, la fuente, las palabras clave y otros datos relativos a cada artículo junto con sus referencias bibliográficas. Se trata de un índice gestionado por el U.S. Institute for Scientific Information (ISI) desde 1972.
- [2] Bibexcel es un software de análisis bibliométrico diseñado por el profesor Olle Persson del Institute of Information Sciences de la universidad de Umea (Suecia)

BIBLIOGRAFÍA

- AMACHER, G.S. ; KOSKELA, E. y OLLIKAINEN, M. (2004). «Environmental Quality Competition and Eco-Labeling». *Journal of Environmental Economics and Management*, nº 47, pp. 284-306.
- BLEISCHWITZ, R. (2003). «Cognitive and institutional perspectives of eco-efficiency». *Ecological Economics*, nº 46, pp. 453-467.
- CANTONO, S. y SILVERBERG, G. (2009). «A percolation model of eco-innovation diffusion: The relationship between diffusion, learning economies and subsidies». *Technological Forecasting & Social Change*, nº 76, pp. 487-496.
- CLARK, W. e ISHERWOOD, W. (2004). «Distributed generation: remote power systems with advanced storage technologies». *Energy Policy*, nº 32, pp. 1573-1589.
- CONSTANTINI, V. y CRESPI, F. (2008). «Environmental regulation and the export dynamics of energy technologies». *Ecological Economics*, nº 66, pp. 447-460.
- DAO,V.; LANGELLA, I. y CARBO, J. (2011). «From green to sustainability: Information Technology and an integrated sustainability framework». *Journal of Strategic Information Systems*, nº 20, pp. 63-79.
- FANG, Y. y ZENG, Y. (2007). «Balancing energy and environment: The effect and perspective of management instruments in China». *Energy*, nº 32, pp. 2247-2261.
- GEFFEN, C.A. y ROTHENBERG, S. (2000). «Suppliers and environmental innovation: The automotive paint process». *International Journal of Operations & Production Management*, nº 20, pp. 166-186.
- HAJMOHAMMAD, S.; VACHON, S.; KLASSEN, R. D. y GAVRONSKI, I. (2013). «Reprint of Lean management and supply management: their role in green practices and performance». *Journal of Cleaner Production*, nº 56, pp. 86-93.
- HALL, J. y KERR, R. (2003). «Innovation dynamics and environmental technologies: the emergence of fuel cell technology». *Journal of Cleaner Production*, nº 11, pp. 459-471.
- HART, S. L. (1995). «A Natural-Resource-Based View of the Firm». *The Academy of Management Review*, nº 20, pp. 986-1014.
- ILLGE, L. y SCHWARZE, R. (2009). «A matter of opinion-How ecological and neoclassical environmental economists and think about sustainability and economics». *Ecological Economics*, nº 68, pp. 594-604.
- INNES, R. y BIAL, J. (2002). «Inducing Innovation in the Environmental Technology of Oligopolistic Firms». *The Journal of Industrial Economics*, nº 50, pp. 265-287.
- JÄNICKE, M. y LINDEMANN, S. (2010). «Governing Environmental Innovations». *Environmental Politics*, nº 19, pp. 127-141.
- KENWORTHY, J. (2006). «The eco-city: ten key transport and planning dimensions for sustainable city development». *Environment & Urbanization*, nº 18, pp. 67-85.

KLASSEN, R.D. (2000). «Exploring the Linkage Between Investment in Manufacturing and Environmental Technologies». *International Journal of Operations & Production Management*, nº 20, pp. 127-147.

KLASSEN, R.D. y VACHON, S. (2003). «Collaboration and Evaluation in the Supply Chain: The Impact on Plant Level Environmental Investment». *Production and Operations Management*, nº 12, pp. 336-352.

KLASSEN, R.D. y WHYBARK, D.C. (1999). «Environmental Management in Operations: The Selection of Environmental Technologies». *Decision Sciences*, nº 30, pp. 601-631.

KLASSEN, R.D. y WHYBARK, D.C. (1999a). «The Impact of Environmental Technologies on Manufacturing Performance». *The Academy of Management Journal*, nº 42, pp. 599-615.

LANJOUW, J. y MODY, A. (1996). «Innovation and the International Diffusion of Environmentally Responsive Technology». *Research Policy*, nº 25, pp. 549-571.

LEE, S.Y. (2008). «Drivers for the participation of small and medium-sized suppliers in green supply chain initiatives». *Supply Chain Management: An International Journal*, nº 13, pp. 185-198.

MANAGI, S. (2006). «Are there increasing returns to pollution abatement? Empirical analytics of the Environmental Kuznets Curve in pesticides». *Ecological Economics*, nº 58, pp. 617-639.

MATHIAZHAGAN, K.; GOVINDAN, K.; NOORULHAQ, A. y GENG, Y. (2013). «An ISM approach for the barrier analysis in implementing green supply chain management». *Journal of Cleaner Production*, nº 47, pp. 283-297.

RAMOS-RODRIGUEZ, A. y RUÍZ-NAVARRO, J. (2004). «Changes in the Intellectual Structure of Strategic Management Research: A Bibliometric Study of the «Strategic Management Journal», 1980-2000. *Strategic Management Journal*, nº 25, pp. 981-1004.

CORTAZAR, G.; SCHWARTZ, E. y SALINAS, M. (1998). «Evaluating Environmental Investments: A Real Options Approach». *Management Science*, nº 44, pp. 1059-1070.

SHI, V.G.; KOH, L.; BALDWIN, J. y CUCCHIELLA, F. (2012). «Natural resource based green supply chain management». *Supply Chain Management: An International Journal*, nº 17, pp. 54-67.

SHRIVASTAVA, P. (1995). «Environmental Technologies and Competitive Advantage». *Strategic Management Journal*, nº 16, pp. 183-200.

TAYLOR, M.; RUBIN, E.S. y HOUNSHELL, D. (2003). «Effect of Government Actions on Technological Innovation for SO₂ Control». *Environmental Science & Technology*, nº 37, pp. 4527-4534.

VACHON, S. (2007). «Green supply chain practices and the selection of environmental technologies». *International Journal of Production Research*, nº 45, pp. 18-19.

VACHON, S. y KLASSEN, R.D. (2006). «Green project partnership in the supply chain: the case of the package printing industry». *Journal of Cleaner Production*, nº 14, pp. 661-671.

VACHON, S. y KLASSEN, R.D. (2006b). «Extending green practices across the supply chain. The impact of upstream and downstream integration». *International Journal of Operations & Production Management*, nº 26, pp. 795-821.

VACHON, S. y KLASSEN, R.D. (2007). «Supply chain management and environmental technologies: the role of integration». *International Journal of Production Research*, nº 45, pp. 401-423.

VERHEUL, H. y VERGRAGT, P. (1995). «Social Experiments in the Development of Environmental Technology: A Bottom-Up Perspective». *Technology Analysis & Strategic Management*, nº 7, pp. 315-326.

ZHANG, X.; SHEN, L. y WU, Y. (2011). «Green strategy for gaining competitive advantage in housing development: a China study». *Journal of Cleaner Production*, nº 19, pp. 157-167.