

HACIA UN MODELO EXPLICATIVO DE LOS OBSTÁCULOS AL CAMBIO TECNOLÓGICO AMBIENTAL EN LA INDUSTRIA.

Pablo del Río González es profesor asociado del Departamento de Economía y Empresa. Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales de Toledo. Universidad de Castilla-La Mancha. E-mail: pdelrio@jurto.uclm.es

1.- Introducción. Bienestar social y cambio tecnológico ambiental.

Las metas de bienestar, calidad de vida y calidad ambiental que toda sociedad anhela constituyen la base del concepto de Desarrollo Sustentable cuya ampliación de la idea de bienestar trasciende el ámbito estrictamente económico para extenderse hacia consideraciones sociales (tales como la salud, la educación, la cohesión comunitaria) y, sobre todo, ambientales. Por lo tanto, lograr un proceso de transición hacia la sustentabilidad integral que incluya aspectos económicos, ambientales y sociales constituye uno de los mayores retos a los que se enfrentan las sociedades modernas. Sin embargo, los teóricos del desarrollo sostenible han polemizado tradicionalmente acerca de que condiciones debe reunir la economía (a diferentes niveles territoriales: mundial, nacional, regional...) para poder ser considerada como “sustentable”. Estas discusiones han prestado especial atención al grado de sustituibilidad entre los distintos componentes del capital total de una economía (natural, manufacturado, humano y socio-cultural)¹ pero sin duda mucho menos a la capacidad del cambio tecnológico para mitigar el impacto de la actividad humana sobre el entorno natural en todos los sectores productivos. Puede afirmarse, por lo tanto, que una de las variables fundamentales para lograr el proceso de transición al que más arriba nos referíamos ha sido borrada del análisis.

Tal negación resulta tanto más sorprendente en tanto en cuanto existe un cierto consenso, incluso entre autores defensores de diferentes enfoques o versiones de la sustentabilidad, a la hora de señalar una serie de condiciones que debe cumplir una sociedad para iniciar un proceso de transición hacia el D.S. A nivel general se suele mencionar la necesidad de promover cambios en los patrones de consumo y producción que generen una menor degradación ambiental. Esto, a su vez, exige incentivos económicos, cambios institucionales, organizacionales y...cambios tecnológicos en todos los sectores productivos.

¹ Véase, entre otros, Turner et al (1993), Serageldin (1996) y Pearce et al (1997).

Una gran proporción del daño ambiental está relacionado con las actividades productivas de la industria. Varias industrias extraen recursos del medioambiente en la forma de materias primas y emiten y vierten residuos al mismo. Conforme la población mundial aumenta y las actividades socioeconómicas se expanden, estas actividades generan una fuerte presión sobre el entorno natural. En este contexto, resulta esencial que la industria adopte prácticas ambientales menos contaminantes y, más concretamente, tecnologías limpias, de forma que se compatibilice la conservación de los recursos ambientales con mejoras en los niveles de empleo y estándares de vida. Se trata de satisfacer las necesidades de la sociedad con un menor impacto ambiental (desvinculación positiva o *decoupling*), suministrando productos o servicios que generen un menor daño al medio ambiente a lo largo de todo su ciclo de vida. Por lo tanto, el progreso tecnológico puede jugar un papel necesario (aunque, quizás, no suficiente² en este proceso de transición hacia la sustentabilidad en tanto en cuanto se produzca la sustitución de unas tecnologías más contaminantes por otras que lo son menos. A este tipo de cambio tecnológico le llamaremos cambio tecnológico ambiental y el análisis de los factores que estimulan o impiden dicho cambio sitúa a la empresa industrial (como contribuidora esencial a la producción de bienes y servicios que todos consumimos y, por ende, a la contaminación, y como generadora, usuaria y adoptante del cambio tecnológico que es) en el centro del debate sobre la sustentabilidad.

Sin embargo, bajo el término “cambio tecnológico ambiental” o, simplemente, tecnologías ambientales (definidas estas como “*toda técnica, proceso o producto que conserve o restaure las calidades ambientales*” (Kemp 1997, p.11) se esconde una rica diversidad de cambios en los procesos o en los productos muy diferentes entre si tanto con respecto a las reducciones de emisiones al medio ambiente que permiten como en relación a los costes que les supone a las empresas adoptarlas. En general, existen cambios tecnológicos que suponen una gran transformación en los procesos productivos y cambios tecnológicos que dan lugar a pequeños modificaciones.

En este sentido dicha literatura ha diferenciado tradicionalmente entre “tecnologías de final de tubería” y “tecnologías limpias” (también denominadas “tecnologías de

² El cambio tecnológico no debe verse como la solución a todos los problemas ambientales. En unos casos existen limitaciones del cambio tecnológico para lograr situar a la sociedad en una senda de D.S.. En estos casos, el progreso tecnológico sólo puede lograr una pequeña reducción de los impactos ambientales, pues otros factores son más importantes (por ejemplo el cambio en las pautas de consumo y en los estilos de vida). En otras ocasiones, los impactos positivos para el D.S. derivados del cambio tecnológico pueden verse contrarrestados por algunos efectos secundarios negativos inducidos por el propio cambio (véase Huesemann (2001) y Binswanger (2001)).

prevención de la contaminación”, “tecnologías integradas de proceso” etc...). Las tecnologías de final de tubería son aquellas que “*se añaden a los procesos de producción existentes para transformar las emisiones primarias en otras sustancias más fáciles de tratar o de controlar*” (Coenen 1997, p.7), mientras que las tecnologías limpias o de proceso integrado se caracterizan por reducir las emisiones antes de que se produzcan (es decir, en origen) o bien por utilizar menos recursos ambientales por unidad de producto (en términos físicos o de valor). El verdadero interés del concepto de tecnología limpia se encuentra en la capacidad que ofrece para compatibilizar las metas de protección ambiental con una sociedad industrializada, permitiendo generar un proceso de desarrollo sostenible³ A grandes rasgos, puede decirse que la literatura que ha abordado la relación entre innovación tecnológica y protección ambiental coincide en señalar que las tecnologías limpias permiten lograr un determinado objetivo de protección ambiental a un menor coste social. La razón reside en que, por un lado, las tecnologías de final de tubería suelen dar lugar a un desplazamiento de la contaminación entre medios, resolviendo un problema ambiental aun a costa de crear otro. Las tecnologías limpias eliminan el problema ambiental antes de que este llegue a producirse. Por otro lado, la aplicación de estas últimas tecnologías puede (aunque no necesariamente) suponer generar beneficios para las empresas adoptantes bien por una reducción en los costes (por ejemplo, de suministro de materiales), bien por un aumento en los ingresos (por la posibilidad de ganar cuota de mercado vendiendo un producto ecológico), mientras que en el caso de las tecnologías de final de tubería resulta prácticamente imposible recuperar la inversión realizada.

Las cuestiones que surgen inmediatamente son las siguientes ¿si las tecnologías limpias son superiores desde el punto de vista social y, al menos en una perspectiva de medio/largo plazo, también desde el punto de vista privado, porqué la evidencia empírica en los países de la OCDE muestra que son las tecnologías de final de tubería las que han sido y son predominantes actualmente?¿Qué impide a las tecnologías ambientales en general, y particularmente a las tecnologías limpias hacerse un hueco en el mercado difundándose ampliamente en la sociedad?. El problema es que existen ciertas barreras para que el mercado estimule un cambio tecnológico ambiental de tipo

³ Por supuesto, esta distinción, útil con carácter descriptivo, resulta algo simplista, pues no capta la rica diversidad de opciones tecnológicas ambientales que existen en realidad. Por ejemplo, Skea (1995) diferencia entre tecnologías de limpieza ambiental, tecnologías de control de la contaminación, gestión de residuos, tecnologías limpias de proceso, reciclaje y productos limpios.

radical en las empresas, siendo necesario una intervención pública que, aunque no exenta de limitaciones, puede ser eficaz para promover dicho cambio. Identificar y analizar las razones por las que las tecnologías limpias tienen una mayor dificultad para introducirse en la sociedad y para ser utilizadas por las empresas constituye un fructífero campo de investigación científica y una cuestión de enorme relevancia para el bienestar social de las generaciones actuales y futuras al permitir recomendar la aplicación y diseño de marcos e instrumentos de política ambiental que promuevan el cambio tecnológico ambiental.

En el resto de este artículo trataremos de responder a las cuestiones planteadas, aprovechando ciertas sinergias que se producen entre las aportaciones realizadas en el marco de la denominada Economía del Cambio Tecnológico y de la Economía Ambiental, y que han sido analizadas en otro lugar (véase del Río 1998, Rennings 2000). En la siguiente sección planteamos el modelo utilizado, abordando posteriormente desde una perspectiva sistémica los posibles obstáculos al cambio tecnológico ambiental.

2.- Hacia un modelo de análisis de los obstáculos al cambio tecnológico ambiental.

El marco teórico.

Los obstáculos a la adopción de tecnologías más limpias no son sólo de carácter técnico, sino sociales y económicos. Por ello resulta necesario identificar y analizar los factores socioeconómicos que dan lugar o suponen barreras a la adopción de tecnologías limpias por parte de las empresas industriales. Un análisis aplicado de este tipo debería identificar las tecnologías limpias en un sector determinado y su grado de adopción, los motivos e incentivos, y también los obstáculos, para su adopción.

Antes de pasar a analizar los posibles obstáculos al cambio tecnológico ambiental en general sería conveniente definir el marco teórico en el que dicho análisis se basa⁴.

Existen estudios muy recientes, aunque todavía muy poco numerosos⁵ que prestan atención al análisis de los patrones de cambio tecnológico ambiental. Este tipo de estudios conciben el cambio tecnológico como un proceso social, dinámico y sistémico, sujeto a interacciones constantes entre diferentes actores. Tratan de explorar las

⁴ Dicho marco se describe pormenorizadamente en del Río (2002).

⁵ Véase, entre otros, Kemp (1996), Malamanan (1996), del Río (1998), Unruh (2000), Hemmeslkamp et al (2000).

condiciones tecnoeconómicas, sociales e institucionales por las que un cambio tecnológico con un menor impacto ambiental surge y se difunde, los obstáculos que existen a esa difusión y la forma en que la política pública puede estimular ese proceso de cambio tecnológico ambiental.

Los estudios más relevantes en este sentido utilizan ciertas aportaciones teóricas y empíricas derivadas de la llamada Economía del Cambio Tecnológico, que suministra pautas para el estudio de los factores de cambio tecnológico en las empresas. Recientemente, un grupo de estudiosos del cambio tecnológico (los llamados economistas evolutivos) han realizado una serie de aportaciones tremendamente relevantes en el contexto del análisis que aquí nos proponemos realizar. El marco teórico propuesto por la Economía Evolutiva permite abordar los condicionantes, estímulos y barreras del proceso de cambio tecnológico ambiental.

Como reacción a los modelos tecnológicos de caja negra (los modelos neoclásicos), que interpretan la tecnología como una variable determinista y exógena, los enfoques económicos evolutivos del cambio tecnológico tratan de mostrar que la tecnología no se desarrolla según una lógica interna, sino que es resultado de la interacción entre grupos y fuerzas sociales. De la variedad de opciones técnicas al alcance de la empresa cuando esta se plantea la adopción tecnológica, la opción elegida es el resultado de la influencia de un conjunto de factores económicos, sociales, culturales, institucionales etc (Williams et al 1996). Subrayan, por lo tanto, la complejidad y la naturaleza evolutiva del avance tecnológico, que es considerado endógeno a los incentivos e intereses económicos, al conjunto de conocimientos, a las capacidades de las empresas y a la estructura institucional. El cambio tecnológico surge de dentro del sistema económico y social, como consecuencia de la interacción entre factores de oferta y de demanda y de la interrelación entre actores sociales. No se crean tecnologías fuera de su contexto social, sino que aquellas forman parte de los procesos de transformación sociotécnica (Kemp et al 1998).

Aunque bajo la denominación de “Economía Evolutiva” se agrupan aportaciones teóricas realizadas desde ópticas diferentes, aunque complementarias, si es posible identificar unos supuestos teórico-metodológicos comunes que, a nivel micro y meso económico y resumiendo un tanto por razones de espacio, tienen que ver con la concepción de la empresa y, por ende, del propio proceso de cambio tecnológico.

Esta perspectiva teórica parte de la idea de incertidumbre (Nelson y Winter (1977). Retoman la idea de “racionalidad limitada” (*bounded rationality*) de Herbert Simon (1957), para afirmar que la empresa se enfrenta a una situación de incertidumbre a la hora

de tomar decisiones. Las empresas tienen dificultades para conocer y más aún para elegir las tecnologías económica y técnicamente mejores (óptimas). Por ello, resulta difícil que su comportamiento sea óptimo, siendo más probable que sea meramente “satisfaciente” (*satisficing behavior*), es decir, que desarrollen varias estrategias para tratar con los diferentes tipos de incertidumbres a los que se enfrentan y que en ese proceso realicen juicios complejos sobre los riesgos y beneficios que pueden encontrarse. En este contexto de falta de información e incertidumbre, pueden prevalecer los criterios tradicionales de toma de decisiones (rutinas) basados en la “costumbre” y en la “forma tradicional de hacer las cosas”, que no tienen porqué ser óptimos. En esta situación de incertidumbre, los gestores utilizan reglas y procedimientos de decisión relativamente simples que guían las actividades de innovación. La empresa toma las decisiones y actúa en función de un conjunto de rutinas y reglas organizacionales, que a su vez están basadas en procesos de aprendizaje acumulativos en el tiempo. Por decirlo de otro modo, las empresas son percibidas como una combinación de habilidades y rutinas, las cuales determinan las acciones que se van a tomar en un entorno cambiante (Nelson y Winter 1982). A su vez, la aplicación de esas rutinas da lugar a la acumulación de conocimiento en la empresa, acumulación que es, por lo tanto, dependiente de la senda tomada y diferente a la de otras empresas.

Por lo tanto, el tratamiento de esa incertidumbre provoca que las empresas innoven a lo largo de trayectorias, regímenes o paradigmas conocidos y familiares (Nelson y Winter 1982, Dosi 1988, Freeman 1992) y que el cambio tecnológico se oriente, durante grandes espacios de tiempo (el que media entre cambios de paradigmas o de regímenes tecnológicos), en una determinada dirección. El seguimiento de ciertas rutinas de búsqueda por parte de la empresa provoca que se generen nuevos conocimientos y nuevos artefactos, en una palabra, variaciones, que pueden o no tener éxito en el entorno de selección (es decir, pueden o no ser seleccionadas). Este último concepto incluye el mercado pero también instituciones, organizaciones, etc... La tecnología es seleccionada en el entorno de selección pero, a su vez, la tecnología modifica ese entorno de selección en una relación que puede caracterizarse como de coevolución (Rip et al 1998).

En resumen, para los economistas evolutivos, el cambio tecnológico es el resultado de actividades de búsqueda heurística interactiva, implica incertidumbre y aprendizaje y sigue determinadas trayectorias ó sendas. Para reducir la incertidumbre, las empresas tienen

cierta tendencia a elegir lo que se conoce (no necesariamente lo mejor), generándose cierta inercia tecnológica

Dos características fundamentales del enfoque evolutivo son las de ser un enfoque sistémico y dinámico.

Es sistémico en varios sentidos. Por un lado, por las interacciones constantes que se producen entre las diferentes fases (invención, innovación y difusión), frente a una cierta secuencialidad entre dichas fases considerada por el enfoque lineal predominante con anterioridad. La tecnología se perfecciona en la difusión, en la que también se producen innovaciones que permiten mejorar la tecnología y reducir su coste unitario.

En nuestra opinión, dicho enfoque sistémico del cambio tecnológico incluye dos ideas fundamentales:

1.- Por un lado, algunos autores consideran que la mayoría de las innovaciones no constituyen suceso discretos, sino que forman parte de un sistema tecnológico y que es difícil modificar un componente del mismo sin sustituir el sistema entero (Freeman 1994, Henderson et al 1990). Como afirma Weber (1998, p.214), *“casi todas las tecnologías están formadas por varios componentes, representando así un sistema en un sentido puramente técnico”*. A este primer aspecto se le denomina “interrelación tecnológica” y trata de representar los elementos técnicos de un sistema como un sistema complejo dinámico que trasciende las características de sus componentes.

2.- Una concepción más amplia aunque complementaria del enfoque sistémico del cambio tecnológico se refiere al conjunto de fuerzas, factores y actores que influyen en la tasa y dirección del mismo. Las organizaciones e instituciones sociales (incluyendo los mercados), las normas sociales y las actitudes influyen en la emergencia y funcionamiento de sistemas particulares de producción y uso de artefactos (Grübler 1997, p.16). Sistema tecnológico en este sentido sería *“una red de agentes que interactúan en un área económica o industrial bajo una infraestructura o conjunto de infraestructuras y que está implicada en la generación, difusión y utilización de la tecnología”* (Carlsson et al 1993, p.77).

Ambos aspectos forman parte de una explicación sistémica del cambio tecnológico y, obviamente, están interrelacionados. Indican la importancia de considerar

conjuntamente lo social y lo técnico para lograr entender el complejo proceso del cambio tecnológico y señalan a la idea de “coevolución” entre lo técnico y los socioeconómico. Las tecnologías se difunden en un contexto tecnológico y socioeconómico amplio. En esa difusión influyen por tanto, aspectos relativos a las características de la propia tecnología, de las empresas adoptantes y del entorno económico, social e institucional.

Por otro lado, una característica esencial de los nuevos modelos evolutivos es la de enfatizar la inercia que existe en los grandes sistemas sociotécnicos (más conocida en la literatura del cambio tecnológico como “*lock-in*”) y que conduce a la sociedad en soluciones tecnológicas ineficientes (o insostenibles desde el punto de vista ambiental). La relativa estabilidad del cambio tecnológico está íntimamente relacionada con el proceso coevolutivo arriba señalado. La coevolución entre la tecnología y su entorno socioeconómico puede conducir a una situación de relativa estabilidad tecnológica, a dependencias de la senda y, posiblemente a un bloqueo en tecnologías inferiores desde el punto de vista privado y social (*lock-in*).

La dirección del cambio tecnológico está constreñida por las ideas ingenieriles acerca de cómo enfrentarse a los problemas, pero también por los métodos y técnicas disponibles, por el contexto social e institucional, los criterios de selección de inversiones utilizados por las empresas privadas, los procedimientos organizacionales, los estándares técnicos, las normas sociales, por las infraestructuras existentes y la demanda de los consumidores y por la incorporación de las tecnologías en el sistema económico y en los hábitos de vida (Kemp 1997 y Rip et al 1998). Los actores sociales (consumidores, empresas, gobiernos, ingenieros...) se encuentran “comprometidos” con un determinado régimen tecnológico y, más concretamente, con los elementos que lo conforman: el conocimiento acumulado, las prácticas ingenieriles, el valor de las inversiones pasadas, el interés de las empresas, requisitos de los productos, relaciones intra e interorganizacionales y políticas públicas (Kemp et al 1998, p.6).

Para estos autores, el proceso de cambio tecnológico se produce a lo largo de determinadas trayectorias que tienen la virtualidad de no poder ser abandonadas fácilmente, debido a que se han beneficiado de mejoras continuas en la tecnología, de

una mejor comprensión por parte del usuario y de la adaptación del entorno socioeconómico (entorno de selección) al régimen tecnológico dominante⁶

Los enfoques anteriores explican, por lo tanto, el conjunto de instituciones implicadas en la continuidad y discontinuidad de la tecnología y las dificultades existentes para que se produzca un cambio tecnológico radical. En realidad, todos prestan atención a la característica de irreversibilidad propia del cambio tecnológico, así como a la relativa regularidad de los patrones de desarrollo tecnológico. Estas regularidades son consecuencia directa de las estrategias de los actores y de las interacciones entre ellos (coevolución) y no algo dado a priori.

Sin embargo, creemos que esos modelos deben complementarse con aspectos que traten explícitamente las condiciones internas (capacidad tecnológica, estructura organizativa, estrategia ambiental) de las empresas adoptantes (o potencialmente adoptantes) así como de ciertas características de la evolución tecnológica.

Con respecto a las características internas, interesa destacar aquí que el la adopción de tecnologías por parte de la empresa depende de su capacidad para asimilar conocimientos tecnológicos desarrollados fuera de la empresa, es decir, de su competencia tecnológica, que depende, entre otras cosas, de las inversiones pasadas en I+D y de la cualificación de la fuerza de trabajo⁷. Aparte de poder la empresa tiene que querer adoptar una determinada innovación tecnológica (aspectos que normalmente están íntimamente relacionados), lo cual depende de la organización, gestión y

⁶ El entorno de selección es un concepto más amplio que el de mercado e incluye a este, pues concibe el mercado como un entorno de selección socialmente construido y creado por la influencia de procesos legales, políticos y culturales que favorece la supervivencia de determinados tipos de tecnología (Williams et al 1996). Incorpora la demanda de productos de la empresa, presiones competitivas procedentes de empresas rivales y leyes, regulaciones y presiones políticas y de la sociedad civil que tienen un impacto en los procesos, productos y formas de organización de las empresas. Pero también forman parte del mismo las preferencias de los consumidores, los estilos de vida, las formas de gestión empresarial, la formación de los trabajadores, la infraestructura física, las relaciones proveedor-usuario, el funcionamiento interno del sistema de ciencia y tecnología, el medio ambiente natural y el medio ambiente construido (que incluye el stock de capital que incorpora innovaciones pasadas), y la interacción entre ese stock de capital, las instituciones sociales y las nuevas trayectorias tecnológicas (Freeman 1992). En realidad existen tres dimensiones del entorno de selección: el *entorno empresarial* (dominado por las relaciones de mercado con clientes y suministradores), el *entorno regulador* (gobierno) y el *entorno social más amplio* (organizaciones de consumidores, grupos ambientales, opinión pública etc...). Las empresas sufren presión selectiva por parte de esos tres entornos y esa presión afecta tanto a las tecnologías adoptadas por la empresa como a la propia evolución de una tecnología en el tiempo.

⁷ La razón, apuntada por los economistas evolutivos, es que el cambio tecnológico es un fenómeno acumulativo y retroalimentador: los cambios dependen de las técnicas existentes, de la acumulación de experiencia y de conocimientos pasados. Todos ellos determinan los siguientes pasos del desarrollo tecnológico (Kemp et al 1998, p.3). El cambio tecnológico depende de la capacidad de las empresas e instituciones de desarrollar y aplicar nuevo conocimiento a través de una proceso de aprendizaje (Soete et al 1993, p.11).

estrategia de la empresa. Estos aspectos son mencionados por la economía evolutiva, pero interesa aquí subrayarlos, en tanto en cuanto constituyen factores determinantes de la adopción de tecnologías ambientales y serán tratados posteriormente.

También conviene poner de manifiesto la importancia que tiene en la adopción, en un contexto dinámico de competencia entre tecnologías no contemporáneas, los efectos dinámicos de aprendizaje y de economías de escala que forman parte de los denominados rendimientos crecientes de la adopción (RCA), tratados en el artículo anterior, y que pueden generar un bloqueo tecnológico o lock-in en tecnologías inferiores (véase Arthur (1988), David (1985) y Foray (1992))⁸.

Los efectos de aprendizaje (aprendizaje por la práctica (Arrow 1962), aprendizaje por el uso (Rosenberg 1982) y aprendizaje como consecuencia de la interacción entre suministrador y usuario (Lundvall 1988)) permiten la reducción de costes y el perfeccionamiento de la tecnología (no sólo mejor funcionamiento, sino, también, más amplias aplicaciones, ciclos de vida más largos y mayor fiabilidad) en cuestión conforme esta se adopta y difunde, se extiende y se conoce más. Esto, a su vez, refuerza la difusión de la tecnología. La importancia de estos efectos es que, al ser preverlos y reproducirlos en un laboratorio, se configuran como elemento insustituible en el proceso de mejora tecnológica, constituyéndose en un obstáculo insalvable para las nuevas tecnologías. Esto da lugar a un círculo vicioso: las nuevas tecnologías no se adoptan y difunden porque no se han beneficiado de esos efectos de aprendizaje. Y no se han beneficiado de estos porque no se han difundido.

Algo parecido ocurre con las economías de escala en la producción. Las tecnologías incorporadas en productos se hacen más atractivas conforme se benefician de la reducción de los costes unitarios del producto que tiene lugar cuando la producción aumenta (mayor escala). Foray relaciona esa reducción de costes con el aprendizaje por la práctica y con la posibilidad de distribución de los costes fijos en varias unidades. La difusión de la tecnología permite esa reducción de costes, pero esa difusión no se

⁸ Estos autores aplican sus modelos, sin embargo a la competencia entre tecnologías contemporáneas que aparecen en un mismo momento. Por el contrario la situación en la que una nueva tecnología debe competir con otra ya dominante parece más frecuente y relevante a los efectos de este trabajo. Dichos modelos también pueden aplicarse en esta situación.

producirá o lo hará lentamente, como consecuencia de los elevados costes iniciales y relativa imperfección técnica de la nueva tecnología en el momento de su aparición⁹.

De la combinación de aspectos internos y externos a la empresa con otros más relacionados con las características de las tecnologías pueden extraerse importantes implicaciones, todo ello bajo la idea de coevolución.

Por lo tanto, consideramos que un modelo de cambio tecnológico que trate de explicar los obstáculos y condiciones necesarias para dicho cambio debe prestar atención a esos aspectos socioinstitucionales en el estudio de las regularidades tecnológicas y combinar esa perspectiva con aspectos internos a la empresa y otros relativos a las características sistémicas de las tecnologías.

El enfoque ecléctico aquí adoptado tiene en cuenta todas las cuestiones anteriores, complementarias entre si. A pesar de considerar el proceso de cambio tecnológico como sistémico entre fases se presta singular atención a la adopción y difusión de tecnologías limpias por parte de las empresas¹⁰. Por ello, la unidad de análisis considerada son tanto las empresas adoptantes como las tecnologías adoptadas.

3.- Los obstáculos al cambio tecnológico ambiental

Los incentivos y obstáculos al cambio tecnológico ambiental (los factores de cambio) de las empresas para desarrollar y adoptar tecnologías ambientales) dependen del grado de cambio en la organización empresarial que esas tecnologías generen (es decir, de las características de las tecnologías), de ciertas condiciones y características internas de las empresas y, especialmente, de un contexto económico e institucional que recompense la aplicación de ese cambio tecnológico ambiental.

Por lo tanto, una cierta irreversibilidad caracteriza a la tecnología y esta depende de la coevolución entre varios actores y los tres grandes grupos de factores mencionados. Esto contribuye a explicar porque las nuevas tecnologías ambientales (y, especialmente, las tecnologías limpias), no han logrado introducirse en el mercado y en la sociedad,

⁹ Otros RCA son las interrelaciones tecnológicas, los rendimientos crecientes de la información y las externalidades de red, aspectos ya considerados anteriormente.

¹⁰ La razón es que, en realidad, lo que verdaderamente da lugar a beneficios económicos, sociales y ambientales no es tanto la invención de un producto o proceso, ni siquiera la explotación comercial inicial de los mismos (innovación) sino, más bien, su difusión generalizada

fenómeno al que denominamos bloqueo tecnológico o lock-in, en un sentido más amplio que el original utilizado por Arthur (1988).

La adopción de tecnologías ambientales se ve constreñida, por lo tanto, por varios tipos de obstáculos interrelacionados, entre los que cabe destacar:

*Factores internos a la empresa: El tamaño, las condiciones financieras de la empresa, la incorporación de las cuestiones ambientales en la organización y estrategia empresarial y la inercia en las rutinas de organización.

*Factores externos a la empresa: El papel de la regulación ambiental, la presión, cooperación y flujos de información procedentes de toda una serie de actores sociales (suministradores de equipo, competidores, autoridades ambientales, consumidores, centros de investigación, ONGs ambientales e instituciones financieras, aseguradoras, inversores...).

*Características tecnológicas y beneficios y costes de la adopción: entre otros, intensidad de capital y la necesidad de grandes inversiones iniciales, el grado de sustitución de los procesos productivos existentes que provoca la adopción de la nueva tecnología y las reducciones de costes y mejoras de la tecnología previstas durante su difusión (efectos de aprendizaje y de escala dinámicos).

A continuación pasamos a analizar, concretamente, los obstáculos con los que puede encontrarse la introducción de tecnologías ambientales radicales teniendo en cuenta las interrelaciones que se producen entre los mismos, como se ha apuntado en el apartado anterior. Ceñiremos el análisis, necesariamente breve, a las barreras para la adopción de tecnologías limpias en la industria¹¹.

***El tamaño empresarial.**

En principio no debería ser, por sí mismo, un obstáculo al cambio tecnológico ambiental. Sin embargo, los estudios empíricos realizados demuestran que suelen ser las grandes empresas las que adoptan tecnologías ambientales de tipo radical (tecnologías limpias), mientras que las pequeñas empresas suelen realizar, como mucho, sólo pequeños cambios. La razón es múltiple. Por un lado, las grandes empresas están más expuestas a una imagen exterior negativa por contaminante (como pone de

¹¹ Un análisis más amplio puede consultarse en Del Río (2002).

manifiesto la literatura sobre gestión ambiental y empresa. Véase, por ejemplo, Fisher et al 1993, Welford 1996 y Cabezudo 1997). Quizás por ello, las autoridades ambientales controlan más a este tipo de empresas que, por ello, se ven más presionadas a adoptar medidas de protección en general y, más concretamente, a adoptar tecnologías limpias. Sin embargo, quizás la explicación más segura se deba al alto grado de correlación que suele existir entre tamaño empresarial y situación financiera. En efecto, a menudo las pequeñas empresas, especialmente en sectores tradicionales (papel, textil...) tienen una situación financiera débil, que inhibe la decisión de adoptar una tecnología ambiental, más cuando esta supone un elevada inversión inicial.

***Las condiciones financieras.**

La adopción de una tecnología limpia suele implicar realizar desembolsos iniciales fuertes, que requieren de la previa existencia de recursos financieros. Si la empresa no dispone de recursos financieros propios o tiene cierta incapacidad para acceder a recursos financieros externos o, simplemente, no considera que merezca la pena endeudarse para instalar una tecnología ambiental, entonces es probable que la decisión de adoptar una tecnología ambiental no llegue nunca a producirse.

***Competencia tecnológica.**

La adopción de un cambio tecnológico implica contar con una competencia tecnológica mínima en la empresa, es decir, con una mínima capacidad de absorción de tecnologías desarrolladas por otros. Por un lado, esa competencia es necesaria para aprovechar los flujos de información sobre tecnologías ambientales. Por otro lado, las tecnologías limpias se encuentran frecuentemente incorporadas en bienes de equipo difíciles de manejar sin unos conocimientos técnicos suficientes. Esto exige contar con una fuerza de trabajo formados. No es estrictamente necesario que la formación sea, concretamente, la que exige la tecnología. Pero si es crucial que los trabajadores tengan la formación mínima para ser capaces de aprender a manejar la nueva tecnología sin un enorme esfuerzo. En todo caso, las nuevas tecnologías provocan cierta obsolescencia en las habilidades técnicas acumuladas y adaptadas a la tecnología antigua.

La exigencia de contar con una fuerza de trabajo formada supone una limitación para la adopción de tecnologías limpias, especialmente en las pequeñas empresas de algunos sectores tradicionales. En efecto estas empresas, que no cuentan con dicha competencia tecnológica no tienen capacidad de absorber y procesar los flujos de información existentes sobre nuevas tecnologías ambientales y, aun en el caso de que logran identificar que tecnología ambiental es adecuada para su empresa su adopción les podría suponer una fuerte inversión para formar a sus trabajadores o la contratación de expertos.

***Organización y estrategia ambiental.**

Las empresas perciben el reto ambiental de manera diferente entre si. Para unas, la protección ambiental sólo es algo que hay que hacer por obligación, por imponerlo la regulación ambiental. Estas empresas, que consideran que las cuestiones ambientales sólo suponen costes adicionales no recuperables con unos mayores ingresos y que, por lo tanto, siguen una estrategia ambiental de tipo defensivo (o reactivo) son reacias a plantearse medidas de protección ambiental adicionales a las exigidas por la regulación y, por ende la adopción de una tecnología que reduzca los impactos ambientales. Aunque resulta difícil generalizar, este tipo de actitud es más frecuente entre las empresas pequeñas que entre las muy grandes y en sectores tradicionales (o de baja tecnología, según la taxonomía de OCDE 1996) más que en los más dinámicos (o de alta tecnología).

Por el contrario, existen otras empresas con un elevado grado de proactividad ambiental, es decir, empresas que han incorporado las cuestiones ambientales dentro de su cultura empresarial y, por lo tanto, en la organización, estrategia y gestión. Son empresas que afrontan el reto ambiental como una oportunidad de negocio, percibiendo beneficios tangibles e intangibles en la toma de medidas ambientales más estrictas que las establecidas en la regulación. Algunas de ellas adoptan tecnologías limpias para anticiparse a la regulación ambiental posicionándose estratégicamente en el mercado. Otras exploran la posibilidad de aprovechar la imagen ambiental para incrementar sus ingresos vendiendo un producto como “ecológico” (ya sea por mayores ventas, por transmisión a los precios de las mejoras ambientales realizadas o por ambas). Otras, en fin, pueden percibir que las tecnologías limpias permiten un ahorro en los costes que

permite recuperar a corto, medio o largo plazo la inversión realizada. Aparte de estos beneficios tangibles existen otros beneficios intangibles derivados de la adopción de tecnologías limpias (por ejemplo, una mejor relación con las autoridades ambientales o con la comunidad vecinal o un mejor entorno de trabajo).

La incorporación a la empresa de la variable ambiental se manifiesta en una cierta transformación de la propia estructura y organización corporativa, por ejemplo, en la creación de un departamento ambiental, en una política ambiental escrita o en la adopción de un sistema de gestión ambiental (SGA). Aunque no necesariamente, estas empresas tienden a incluir consideraciones ambientales en todos los aspectos de la empresa y, por lo tanto, resulta más probable que se tome la decisión de adoptar una tecnología limpia.

Es importante tener en cuenta que significa implantar un SGA en este contexto de adopción de tecnologías ambientales. Por un lado, dicha implantación refleja una toma de conciencia de la dirección de la empresa sobre los asuntos ambientales. Para algunos autores, no es que la empresa sea más propensa a adoptar una tecnología limpia porque tiene un SGA, sino que la mayor probabilidad de la adopción es consecuencia de una organización empresarial más proclive a los temas ambientales (que se manifiesta en la implantación de un SGA). Consideramos, sin embargo, que no debe subestimarse el efecto directo que dicha implantación tiene para mitigar algunas de las barreras que existen a la adopción de tecnologías ambientales pues organización, estrategia y estructura empresarial coevolucionan y se autorrefuerzan. Los SGAs crean las condiciones en la empresa para que se perciban oportunidades de prevención de la contaminación y mejoran la información de la misma sobre su propio comportamiento ambiental. Esto constituye, sin duda, un estímulo fundamental para el cambio tecnológico ambiental aunque es más posible que motive la adopción de tecnologías ambientales de tipo incremental.

La inercia organizacional y el miedo al cambio incorporando la variable ambiental ha sido, por lo tanto, una potente fuerza de lock-in en muchas de las empresas industriales.

***Administración pública y regulación.**

La regulación (ambiental) ha sido, tradicionalmente, el principal impulso para que las empresas adopten tecnologías ambientales, como muestran casi todos los estudios empíricos sobre el tema. El riesgo de pagar altas cantidades en concepto de multa, ver cerrada la fábrica o, incluso incurrir en responsabilidades penales ha sido un eficaz estímulo para que los gestores de la empresa corrijan algunos de los problemas ambientales causados, lo que puede estimular la adopción de ciertas tecnologías ambientales. El problema es, sin embargo, que la regulación ambiental en los países de la OCDE ha provocado que las tecnologías adoptadas sean, mayoritariamente, de tipo EOP dando lugar a un lock-in en esas tecnologías que, como consecuencia de las inversiones realizadas, en muchas ocasiones ha impedido considerar la adopción de alternativas limpias que suponen una inversión cuantiosa. Es esta, quizás, la más potente fuerza de lock-in.

Cabe aquí analizar, siquiera brevemente, las razones por las que los instrumentos utilizados han motivado la adopción de tecnologías EOP que tiene que ver tanto con los instrumentos de regulación utilizados (fundamentalmente, estándares de emisión y estándares tecnológico y en mucha menor medida, instrumentos económicos) como, posiblemente más importante, con la forma de aplicarlos (con cortos periodos de cumplimiento de la regulación, relaciones de confrontación entre regulador y regulado, falta de flexibilidad etc...).

En efecto, tanto los estándares de emisiones (que exige reducciones a la empresa en sus emisiones y vertidos, pero permitiendo que esta realice esas reducciones con los medios que desee) como los estándares tecnológicos (que no sólo fijan los objetivos de reducción sino que, además, establecen los medios tecnológicos que la empresa debe aplicar para lograrlo) desincentivan que la empresa reduzca sus niveles de contaminación más allá de los objetivos establecidos por el propio estándar y, por lo tanto, desmotivan la adopción de tecnologías limpias (especialmente los segundos). La empresa no gana nada (ni reduce sus costes, ni incrementa sus ingresos) si reduce sus emisiones más de lo fijado por la ley. En este sentido, la utilización de instrumentos económicos (especialmente de impuestos y de permisos de emisión comercializables) puede generar ese incentivo.

Lo anterior, sin embargo, no explica enteramente porque las empresas adoptan tecnologías EOP para cumplir con los objetivos de la regulación. La razón, en el caso de

los estándares tecnológicos es que estos suelen “recomendar” la aplicación de tecnologías EOP y dejan muy poca libertad a la empresa para adoptar otros enfoques tecnológicos. En el caso de los estándares de emisiones, las empresas prefieren adoptar tecnologías EOP por varios motivos. En primer lugar, estas tecnologías son conocidas y han sido probadas por otras empresas. Esto puede no ocurrir con las tecnologías limpias, muchas de las cuales no han sido aplicadas en gran escala y, por lo tanto, existe una cierta incertidumbre con respecto a su rendimiento. Pero quizás más importante es el hecho de que las tecnologías EOP son fácilmente añadibles a los procesos productivos existentes, sin necesidad de modificar estos sustancialmente. En un contexto de incertidumbre y miedo al cambio, como es el que caracteriza a muchas empresas industriales, las tecnologías EOP permiten a las empresas continuar con la forma tradicional de hacer las cosas. Por el contrario las tecnologías limpias cuestionan el propio proceso productivo y obligan a una sensible modificación del mismo. Además, como veremos posteriormente, suponen una inversión inicial más elevada (aunque, en ocasiones, recuperable) que las tecnologías EOP. Finalmente, no sólo el tipo de instrumentos utilizados (estándares) sino, también, la forma tradicional de aplicarlos en los países mencionados provocan la adopción de EOP. Las regulaciones que exigen cambios en un corto periodo de tiempo o que cambian continuamente estimulan, por las razones anteriormente mencionadas, la adopción de tecnologías EOP, más fáciles de cumplir con las exigencias de regulación en tanto en cuanto no suponen grandes cambios.

Lo anterior nos lleva a preguntarnos que medidas de política pública deberían aplicarse para reducir la posibilidad de un lock-in, estimulando la difusión de tecnologías limpias. Aunque esta cuestión ha sido analizada extensamente en otra parte (véase del Río 1998 y 2002; del Río et al 1999) cabe mencionar varios tipos de medidas generales. En primer lugar, y como han demostrado a nivel teórico ciertos trabajos de Economía Ambiental, los instrumentos económicos son más eficientes en términos dinámicos (es decir, suponen un estímulo mayor al cambio tecnológico) que los instrumentos de regulación (véanse, por ejemplo, Pearce y Turner 1995 o Field 1996). Los trabajos empíricos realizados parecen avalar esa conclusión (véanse, entre otros, Kemp 1997). Sin embargo, es posible que la Economía Ambiental haya pecado de un cierto “instrumentalismo” (Janicke 2000), es decir, un excesivo énfasis en los instrumentos. Casi tan importante como estos es la forma de aplicarlos y el marco institucional en el

que se aplican, que pueden influir en la propia eficiencia dinámica de los mismos¹². Existen, por lo tanto, una serie de condiciones de contexto que facilitan que un instrumento determinado (sea del tipo que sea) genere una respuesta tecnológica limpia (del Río 2002): horizontes temporales de cumplimiento a largo plazo, con establecimiento de metas intermedias cada vez más rigurosas, estabilidad en la regulación (es decir ausencia de cambios en la misma), enfoque ambiental integrado (que no genere beneficios en un medio a costa de contaminar otro) y enfoque sectorial (es decir, que tenga en cuenta las condiciones y características de cada sector a la hora de aplicar la regulación). Estas condiciones resultan especialmente eficaces en un contexto institucional de relación de cooperación y colaboración (en lugar de sistemático enfrentamiento) entre regulador y regulado (empresa) y con un enfoque de regulación que mantenga un sabio equilibrio entre flexibilidad y rigurosidad en la ejecución de la regulación. La aplicación de instrumentos económicos es, por lo tanto, una condición necesaria pero quizás no suficiente, para estimular el cambio tecnológico limpio.

Por otro lado, las medidas consideradas por la Economía Ambiental para estimular las tecnologías limpias pueden ser perfectamente complementarias de otras derivadas de aportaciones realizadas en el marco de la Economía del Cambio Tecnológico, y que podrían tratar de dirigirse a mitigar algunos de las fuentes de lock-in mencionadas. Por ejemplo, facilitar el suministro de información a las empresas (especialmente a las pequeñas) sobre la existencia de oportunidades tecnológicas limpias, fomentar el contacto y la cooperación entre los distintos actores, establecer condiciones financieras especiales para aquellas empresas que decidan invertir en tecnologías limpias, subvencionar (parcialmente) la adquisición de un bien de equipo que incorpore la nueva tecnología, facilitar el desarrollo “in vitro” de tecnologías limpias con una alto potencial de reducción de costes a medio o largo plazo etc... La combinación inteligente de los tres tipos de medidas (las defendidas por la Economía Ambiental, las propuestas por la Economía del Cambio Tecnológico y el establecimiento de medidas de contexto) puede generar efectos sinérgicos que estimulen el desarrollo y aplicación de tecnologías limpias.

¹² Por ejemplo, Ashford (1993) defiende que, en función de cómo se apliquen, los estándares pueden incentivar también el desarrollo y difusión de tecnologías limpias.

***Interacciones con otros actores de la red.**

La empresa se encuentra imbuida en una red de relaciones con otros actores, de los que recibe estímulos al cambio ya sea como consecuencia de relaciones de mercado como de no mercado (resultado de relaciones de cooperación, transmisión de información o presión al cambio). Entre esos actores podemos citar competidores, suministradores de equipo, instituciones financieras, aseguradoras e inversores, autoridades ambientales (ya tratadas en el punto anterior), clientes y consumidores. Por el momento, sin embargo, los estímulos que la empresa recibe de esos actores no inducen el desarrollo o adopción de tecnologías limpias. Aunque las razones fueron analizadas en otro sitio (véase del Río et al 1999 y Cabezudo et al 2000) baste aquí recordar que, en general, y con respecto a clientes y consumidores estos no valoran suficientemente aún los aspectos ambientales de los productos y procesos de la empresa (o bien no tienen la información suficiente para hacerlo) de forma que ese atributo tenga un peso significativo en las decisiones de compra, frente a los tradicionales de precio y calidad. En este sentido la empresa que adopte una tecnología limpia se ve incapaz de recuperar la inversión realizada con unos mayores ingresos (por mayores ventas o por transmisión de los mayores costes a precios), especialmente en mercados muy competitivos. En cuanto al papel de los suministradores de equipo (que, en muchas ocasiones son los que más informan a la empresa sobre la existencia de oportunidades tecnológicas limpias) están interesados en seguir promoviendo las tecnologías que son la base de su negocio (es decir, las EOP). Los competidores pueden ser una fuente de presión al cambio, si las tecnologías limpias les permiten ser más competitivos. Sin embargo, por las razones apuntadas, los casos en los que es así pueden ser poco numerosos. Finalmente, aunque inversores, instituciones financieras y aseguradoras tienden cada vez más a considerar el comportamiento ambiental de las empresas a las que conceden préstamos, en las que invierten o a las que aseguran, todavía son hoy una fuente débil de presión al cambio ambiental (excepto en algunos sectores y empresas). Por lo tanto, la interacción con los actores mencionados no facilita, por ahora, la salida del lock-in hacia tecnologías limpias.

***Base instalada y altas inversiones iniciales.**

En general, todas las tecnologías ambientales (tanto las EOP como las limpias) suponen altas inversiones iniciales para las empresas que las adoptan. Sin embargo, los desembolsos suelen ser mucho mayores en el caso de las tecnologías limpias. La razón es doble. Por un lado, la adquisición de las propias tecnologías puede resultar más cara. Las tecnologías limpias vienen incorporadas en sofisticados y costosos bienes de equipo. Pero más importante es que las tecnologías EOP se añaden fácilmente al proceso existente, mientras que las tecnologías limpias provocan una modificación drástica y una reconfiguración del mismo. En efecto, estas últimas provocan la sustitución no sólo de inversiones físicas pasadas (en muchas ocasiones no amortizadas) sino que, al exigir una diferente competencia tecnológica por parte de los trabajadores de la empresa, pueden hacer obsoletas las cualificaciones y habilidades técnicas de la fuerza de trabajo existente. Esto puede exigir entrenar a los trabajadores de la misma en las nuevas tecnologías, a través de cursos de formación y/o la contratación de técnicos especializados en las nuevas tecnologías. Los cambios en el proceso pueden ser tan radicales que provoquen cambios en la propia organización y estructura de la empresa. En todo caso, todos esos cambios implican inversiones y costes tangibles (ya sea monetarios o en tiempo) e intangibles (cambios en las relaciones de poder en la empresa o, simplemente, en la forma tradicional de hacer las cosas), provocando un rechazo a la adopción de tecnologías limpias y favoreciendo la adopción de tecnologías EOP.

***Costes y beneficios de la adopción.**

Una pregunta fundamental que nos debemos hacer es si la adopción de tecnologías limpias resulta rentable, desde el punto de vista privado (de la empresa), pues si no fuese así esta podría ser la más importante (y quizás única) fuerza de lock-in. Aunque esto depende de la tecnologías que estemos considerando y, por lo tanto, es limitado dar una respuesta de tipo general, si es posible afirmar que, aunque las inversiones iniciales necesarias en tecnologías limpias suelen ser muy altas, suelen recuperarse a corto, medio o largo plazo (dependiendo del caso). El problema es que, a menudo, el coste de oportunidad de adoptar tecnologías limpias es elevado, siendo otras inversiones más rentables.

Pero no siempre. Existen inversiones en tecnologías limpias que se recuperan a muy corto plazo (son las denominadas tecnologías win-win o de “doble beneficio” es decir,

rentables para la empresa y beneficiosas para el medio ambiente). Estas tecnologías pueden tener periodos cortos de retorno de la inversión. La economía convencional debe explicar porqué, frente a lo que cabría esperar, existen alternativas tecnológicas de tipo win-win en prácticamente todos los sectores industriales y que no han sido aplicadas. La razón está en que, como se ha defendido aquí, existen otros obstáculos a la adopción de tecnologías limpias.

***Evolución de la tecnología. Efectos de aprendizaje.**

Cuando se adopta una perspectiva dinámica, los costes y beneficios de una tecnología deben considerarse de forma diferente. Como muestra la historia de la tecnología, y se han encargado de subrayar los modelos de competencia tecnológica de Arthur (1989), David (1985) y Foray (1992) mencionados más arriba, los costes de la misma suelen caer durante su difusión. Por un parte, la mayor experiencia acumulada en la difusión provoca, además de una reducción en los costes unitarios de producción por economías de escala, un mejor conocimiento por parte del usuario y da lugar a mejoras posteriores de la misma (efectos de aprendizaje). Por lo tanto, la introducción de una nueva tecnología se enfrenta a los beneficios obtenidos por la vieja tecnología durante su difusión que hacen más competitiva a esta, pero que no pueden ser reproducidos por la nueva tecnología a menos que esta se difunda, lo cual es difícil precisamente porque resulta menos competitiva que la tecnología antigua y dominante.

Este círculo vicioso (o lock-in tecnológico en sentido estricto) es, precisamente, el que en ocasiones impide la adopción de tecnologías limpias que, si se considerase una perspectiva dinámica, experimentarían una sensible reducción en sus costes, pues muchas de ellas muestran un importante potencial para la reducción de costes a largo plazo. Los estudios miden esto por la posición de la tecnología en su curva de aprendizaje. La curva de aprendizaje muestra una relación decreciente entre el coste unitario de la tecnología y la producción acumulada en el tiempo. Es posible que las tecnologías limpias se encuentren en un punto inicial de su curva de aprendizaje, con altos costes unitarios, pero gran potencial de reducción de los mismos mientras que las tecnologías EOP y han avanzado a lo largo de su curva de aprendizaje y muestran unos costes unitarios mucho menores pero, también dificultades de reducciones futuras en los mismos. Sin embargo, es posible que ese mayor potencial de reducción para las

tecnologías limpias no llegue a manifestarse nunca como consecuencia de la dificultad que tiene esa tecnología limpia para alcanzar puntos más avanzados en su curva de aprendizaje. La razón es que esos mayores costes no favorecen la difusión que a su vez permite reducir los costes unitarios y mejorar la tecnología como consecuencia de los efectos de aprendizaje y de las economías de escala. Cuando se produce la competencia entre una tecnología dominante y una nueva que trata de hacerse un hueco es probable que la tecnología limpia avance muy lentamente a lo largo de su curva de aprendizaje.

Es obvio que con esos costes esta tecnología no será capaz de competir por si misma (es decir, sin ningún tipo de ayuda pública que facilite el avance de la tecnología limpia a lo largo de su curva de aprendizaje) con la tecnología convencional, a pesar de que su potencial para la reducción de costes a largo plazo es enorme y puede llegar a ser más eficiente que la tecnología convencional. Por supuesto, sólo un estudio empírico puede mostrar esas posibilidades de reducción para tecnologías concretas.

***Incertidumbre, riesgo y evaluación de la tecnología.**

Finalmente, es importante subrayar que la adopción de una tecnología limpia implica un evidente riesgo para la empresa adoptante, en tanto en cuanto estas tecnologías suelen ser menos conocidas y su impacto sobre la propia empresa puede ser relativamente incierto. Estos problemas de incertidumbre y riesgo pueden provocar que las empresas adopten tecnologías EOP, más conocidas y menos arriesgadas.

Un factor que influye en esa percepción de riesgo es el hecho de que la mejora continua en el rendimiento y las reducciones continuas en los costes convierten poco a poco a la tecnología dominante en el estándar de evaluación (Foray 1989; Foray et al 1990). La tecnología dominante es capaz de imponer los tipos de características que serán utilizadas para comparar las tecnologías. Para Foray, la tecnología dominante produce sus propios estándares de evaluación que determinan los criterios de comparación a través de la referencia a sus ventajas inherentes¹³.

¹³ En una situación de lock-in, la tecnología dominante “*impone en las otras tecnologías sus propios estándares de evaluación económica, desarrollados en referencia a sus calidades naturales. Estos estándares tendrán de hecho la función de definir la naturaleza del rendimiento, los futuros objetos de comparación y de dirigir la evaluación, teniendo en cuenta las ventajas naturales*” (Foray 1989, p.29).

4.- Conclusiones

El cambio tecnológico permite compatibilizar en muchos casos los objetivos económicos y ambientales y constituye por ello una variable fundamental en la consecución de unos mayores niveles de bienestar social. Analizar los factores para el cambio tecnológico ambiental (tanto factores impulsores como obstáculos) puede suministrar una información valiosa para la toma de decisiones política que permita identificar posibles cuellos de botella en ese cambio aplicando las medidas necesarias para resolver la situación. Es importante señalar que muchos centros de investigación punteros en Europa (como el ZEW alemán, MERIT holandés, SEI sueco, RISO danés, SPRU británico, IPTS...) y en el mundo y varios proyectos de investigación financiados por la Comisión Europea están trabajando actualmente en esta línea de investigación definida como prioritaria y de una importancia creciente.

A lo largo de este trabajo hemos tratado de ofrecer una explicación sintética y amplia de las barreras existentes para el cambio tecnológico ambiental en general y, más concretamente, para la adopción de tecnologías limpias. Para ello se construyó un modelo que permitiera la identificar sistémico los obstáculos específicos al cambio.

El análisis debería complementarse, sin embargo, con trabajos empíricos que aplicaran el modelo esbozado a sectores concretos con un doble objetivo intelectual (demostrar que el modelo puede aplicarse y suministrar información relevante) y político (que facilite la toma de decisiones). Esta aplicación se ha llevado a cabo en del Río (2002).

Por otro lado, y por motivos de espacio, sólo se han podido mencionar algunas de las implicaciones que para la toma de decisiones políticas tiene el modelo. La identificación de un marco de política pública y de medidas concretas que permitan salir de una situación de bloqueo tecnológico o lock-in forma parte de otro artículo.

Referencias bibliográficas.

ARROW, K. (1962) "The economic implications of learning by doing". *Review of Economic Studies* 29, pp.155-173.

ARTHUR, W.B. (1988). "Competing technologies: An overview". En DOSI, G., FREEMAN, C., NELSON, R., SILVERBERG, G. y SOETE, L. (eds.). *Technical Change and Economic Theory*. Pinter Publishers. Londres.

ASHFORD (1993). "Understanding Technological Responses of Industrial Firms to Environmental Problems: Implications for Government Policy". En FISHER, K. y SCHOT, J. (eds.)(1993). *Environmental Strategies for Industry*. Island Press. Washington. pp.277-307.

BINSWANGER, M.(2001). "Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect?". *Ecological Economics*, vol.36, nº 1, pp.119-132.

CABEZUDO,S.(1997). *Compatibilidad entre la estrategia empresarial y el desarrollo sostenible*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.

CABEZUDO, S., DEL RÍO, P. y CADENAS, A. (2000). "Las fuerzas del cambio empresarial en medio ambiente". Capítulo del libro *Hacia un Desarrollo Económico y Medioambiental Sostenible*. Ekonomi Gerizan (2000), nº 7. Cajas de Ahorros Vasco Navarras, pp 155-174.

CARLSSON, B. and JACOBSSON, S. (1993). "Technological system and economic performance: the diffusion of factory automation in Sweeden". En FORAY, D. FREEMAN, C. (eds.). *Technology and the Wealth of Nations*. Pinter Publishers. Londres, pp. 77-92.

COENEN, R y KLEIN-VIELHAUER, S. (1997). "Importancia de la tecnología medioambiental para el desarrollo sostenible desde el punto de vista económico y ecológico". *IPTS Report nº 14*, mayo 1997. Sevilla.

DAVID, P. (1985). "Clio and the Economics of QWERTY". *American Economic Review*. Mayo 1985, 75(2), pags. 332-337.

DEL RÍO, P. (1998). *La Ecología Industrial: Una interpretación evolutiva del proceso de transición tecnológica hacia la sustentabilidad*. Tesina de doctorado. Departamento de Estructura Económica y Economía del Desarrollo. Facultad de Económicas y Empresariales. Universidad Autónoma de Madrid. Mayo 1998.

DEL RÍO (2002). *Cambio tecnológico y Desarrollo Sostenible. Determinantes a la adopción de tecnologías ambientales en la industria del papel*. Tesis. Departamento de Estructura Económica y Economía del Desarrollo. Facultad de Económicas y Empresariales. Universidad Autónoma de Madrid.

DEL RÍO, P. y CADENAS, A. (1999). "Cambio Tecnológico, Desarrollo Sostenible e Irreversibilidades: Implicaciones para la política pública de la perspectiva evolutiva". *Economía Industrial*, nº 327, pp. 151-163.

DOSI, G. (1988a). "Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation". *Journal of Economic Literature*, vol XXVI, Septiembre 1988.

FIELD, B.C. (1995). *Economía Ambiental: Una introducción*. McGraw-Hill. Colombia.

FISHER, K. y SHOT, J. (1993). *Environmental Strategies for Industry*. Island Press. US.

FORAY, D. (1989). "Les modèles de compétition technologique. Une revue de la littérature". *Revue d'Economie Industrielle*, 48, pp.16-34.

FORAY, D. (1992). "Propiedades dinámicas de la difusión y efecto de irreversibilidad", en GÓMEZ URANGA, M. ET AL (eds.). *El cambio tecnológico hacia el nuevo milenio*. Icaria. Barcelona.

FREEMAN, C. (1992). *The Economics of Hope*. Pinter publishers. Londres.

FREEMAN, C. (1994). "The Economics of technical change". *Cambridge Journal of Economics* 18, pags. 463-514.

FUSSLER, C. (1999). *Eco-innovación. Integrando el medio ambiente en la empresa del futuro*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid.

- GRÜBLER, A. (1997). "Time for a Change: On the patterns of Diffusion of Innovation". En AUSUBEL, J. and LANGFORD, H. (eds.)(1997). *Technological Trajectories and the Human Environment*. National Academy Press. Washington D.C. , pp.14-32.
- HENDERSON, R. y CLARK, K. (1990). "Architectural innovation: The reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms". *Administrative Science Quarterly* 35, pp.9-30.
- HUESEMANN, M (2001). "Can pollution problems be effectively solved by environmental science and technology?. An analysis of critical limitations". *Ecological Economics* 37, pp.271-287.
- JÄNICKE, M., BLAZEJCZAK, J., EDLER, D. and HEMMELSKAMP, J. (2000). "Environmental Policy and Innovation: an International Comparison of Policy Frameworks and Innovation Effects". EN HEMMELSKAMP, J. LEONE, F. y RENNINGS, K. (eds.)(2000). *Innovation-oriented Environmental Regulation: Theoretical Approaches and Empirical Analysis*. Physica Verlag. Heidelberg, pp.125-152.
- KEMP (1996) "The transition from Hydrocarbons: The Issues for Policy". En FAUCHEUX, S., PEARCE, D. y PROOPS, J. (eds.). *Models of Sustainable Development*. Edward Elgar. Cheltenham (RU). pp.151-175.
- KEMP, R. (1997). *Environmental Policy and Technical Change: A comparison of the technological impact of policy instruments*. Edward Elgar. Cheltenham. UK.
- KEMP, R.; RIP, A. and SCHOT, J. (1998a). *Constructing Transition Paths Through the Management of Niches*. Mimeo. Universidad de Twente. Publicado en RAGHU, G. and KARNOE, P. (eds.). *Path Creation and Dependence*.
- LUNDVALL, B.A. (1988). "Innovation as an interactive process: from user to producer interaction to the national system of innovation". En DOSI, G., FREEMAN, C., NELSON, R., SILVERBERG, G. y SOETE, L. (eds.). *Technical Change and Economic Theory*. Pinter Publishers. Londres.
- NELSON, R. y WINTER, S. (1977). "In search of a useful theory of innovation". *Research Policy* (6), pp.36-76.
- NELSON, R y WINTER, S. (1982). *An evolutionary Theory of Economic Change*. Belknap Press. Cambridge (Mass.).
- OECD (1996). *Technology and Industrial Performance*. Paris.
- PEARCE, D., ATKINSON, G., MORAN, K. y YOUNG, C. (1997). *Measuring Sustainable Development*. Edward Elgar. Cheltenham, U.K
- PEARCE, D. y TURNER, K. (1995). *Economía de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente*. Celeste Ediciones. Madrid.
- RIP, A. y KEMP, R. (1998). "Technological Change". En RAYNER, S. Y MALONE, E. (1998). *Human Choice and Climate Change. An International Assessment*, vol.2, Batelle Press, Washington D.C., pp.327-399.
- ROSENBERG, N. (1982). *Inside the black box*. Cambridge University Press. Cambridge.
- SERAGELDÍN, I. (1996). "Sustainability and the Wealth of Nations". *Environmentally Sustainable Development Studies and Monographs Series n°5*. The World Bank, Washington.
- SIMON, H.A. (1957). *Models of man*. John Wiley. New York.
- SKEA, J. (1995). Environmental technology, en FOLMER, H.; GABEL, H.L. y OPSHOOR, H.O (eds.). *Principles of Environmental and Resource Economics*. Edward Elgar. UK, pp.389-412.
- SOETE, L. y ARUNDEL, A. (1993). *An integrated approach to European innovation and technology diffusion policy. A Maastricht Memorandum*. European Commission. Luxemburgo.

TURNER, R.K. (1993). *Sustainable Environmental Economics and Management*. Belhaven Press. Londres.

WEBER, M. (1998). "Innovation, Diffusion and Political control of cogeneration technology in the UK since privatisation". En COOMBS, R.; GREN, K., RICHARDS, A. and WALSH, V. (eds.). *Technological Change and Organization*. Edward Elgar, Cheltenham (Reino Unido), pp. 210-237.

WELFORD, R. (1996). *Corporate Environmental Management. Systems and Strategies*. Earthscan. Londres.

WILLIAMS, R and EDGE, D. (1996). "The Social Shaping of Technology". *Research Policy*, vol. 25, pp.865-899.