

REVISTA INTERNACIONAL DE ECONOMÍA

«Fuentes, Métodos y Efectos Microeconómicos de la Innovación»

Traducción del original «Sources, Procedures and Microeconomic Effects of Innovation», publicado en el *Journal of Economic Literature*, Vol. XXVI (Sept. 1988), págs. 1120-1117

Giovanni Dosi (*)

Universidad de Sussex y Universidad de Roma

Palabras clave: Innovación, cambio tecnológico, efectos microeconómicos.

Nº de clasificación JEL: O12, O3, O33

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se ocupa de los determinantes y efectos de las actividades de innovación en las economías de mercado contemporáneas. En términos muy generales, los agentes económicos con fines de lucro asignarán recursos a la exploración y el desarrollo de nuevos productos y nuevas técnicas de producción si saben de, o creen en, la existencia de algún tipo de oportunidades técnicas y científicas todavía sin explotar; si esperan que habrá un mercado para sus nuevos productos y procesos; y, finalmente, si esperan algún beneficio económico, neto de los costes incurridos, derivado de las innovaciones. A su vez, el éxito de algunos agentes al introducir o imitar nuevos productos y procesos productivos cambia sus costes de producción, su competitividad

(*) Fabio Arcangeli, Paul David, Frank Engelman, Christopher Freeman, Massimo Moggi, Richard Nelson, Luigi Orsenigo, Nathan Rosenberg, Michele Salvati, G.N. von Tunzelman, dos evaluadores anónimos y los participantes en el congreso de la Comisión de Distribución, Crecimiento y Progreso Técnico del Consejo Nacional Italiano de Investigación (CNR), Roma, 16 de noviembre de 1985, han colaborado en varios borradores de este trabajo. Le debo un agradecimiento especial a Moses Abramovitz por su ayuda paciente y perspicaz. Este trabajo fue iniciado en la Unidad de Investigación de Política Científica (SPRU), Universidad de Sussex, como parte del programa de investigación del Centro de Investigación Designado, patrocinado por el Consejo de Desarrollo Económico y Social (ERSC). Agradezco también la ayuda inicial a la investigación que condujo a este artículo proporcionada por el Consejo Nacional Italiano de Investigación (CNR). La investigación estadística se ha realizado con la ayuda de Stephano Brioschi, Ilaria Fornari y Giovannu Prennushi.

en el mercado y, en último término, es parte de la evolución de los sectores afectados por las innovaciones.

El propósito de este ensayo es analizar los procesos que conducen desde las oportunidades tecnológicas nocionales hasta los esfuerzos de innovación reales y, finalmente, a los cambios en las estructuras y comportamiento de los sectores productivos.

Así trataré sobre las fuentes de oportunidades de innovación, el papel de los mercados a la hora de asignar recursos a la exploración de estas oportunidades y de determinar el ritmo y dirección de los avances tecnológicos, las características de los procesos de búsqueda de innovaciones y la naturaleza de los incentivos que impulsan a los agentes privados a comprometerse con la innovación.

No es mi propósito revisar toda la literatura relacionada con la innovación (1). Mi trabajo se limita a un grupo seleccionado de contribuciones (en su mayoría empíricas) y me centro en la naturaleza microeconómica de las actividades de innovación y los efectos de la innovación sobre las técnicas de producción, características de los productos y los patrones de cambio de las estructuras industriales. La discusión estará orientada a identificar (a) las principales características del proceso de innovación, (b) los factores que impulsan o retrasan el desarrollo de nuevos procesos productivos y nuevos productos, y (c) los procesos que determinan la selección de innovaciones concretas y sus efectos sobre las estructuras industriales.

Hay dos grandes grupos de problemas: en primer lugar, la caracterización, en *general*, del proceso de innovación y, en segundo lugar, la interpretación de los factores que explican las diferencias observadas en los modos de búsqueda de las innovaciones y en las tasas de innovación entre los distintos sectores y empresas y a lo largo del tiempo.

Generalmente, la búsqueda, desarrollo y adopción de nuevos procesos y productos en economías sin planificación centralizada son el resultado de la interacción entre (a) las capacidades y el estímulo generados dentro de cada empresa y en las industrias y (b) causas más amplias externas y las industrias individuales, tales como el estado de la ciencia en distintos campos; las facilidades para la comunicación del conocimiento; la oferta de calificaciones técnicas, de especialistas de ingenieros y otros; las condiciones que controlan la movilidad ocupacional y geográfica y/o la disposición o resistencia de los consumidores al cambio; condiciones de mercado, particularmente en lo que se refiere a la competencia entre empresas y al crecimiento de la demanda; facilidades financieras y criterios de asignación de fondos a las empresas industriales; tendencias macroeconómicas, especialmente por lo que respecta a sus efectos sobre los cambios en precios relativos de los inputs y los outputs; la política económica (por ejemplo, sistema fiscal, legislación sobre patentes, política industrial y compras públicas). Es imposible considerar aquí cada uno de estos factores en detalle, por lo que el estudio

(1) Una panorámica extensiva de la literatura sobre innovación y cambio técnico se puede encontrar en Freeman (1982). Véase también National Science Foundation (1983). Un estudio más específico sobre cambio técnico y crecimiento de la productividad se encuentra en Nelson (1981a). Otras panorámicas sobre la economía del cambio tecnológico más orientadas a la literatura teórica incluyen Charles Kennedy y Anthony Thirwall (1981) y Paul Stoneman (1983).

se centrara en los procedimientos, determinantes y efectos de los esfuerzos de innovación de las empresas; no obstante, en cada fase del análisis, intentaré mostrar cómo esos factores más generales afectan a las oportunidades, incentivos y posibilidades de innovación en las distintas empresas y sectores.

La evidencia empírica se apoya en estudios de distintos sectores y tecnologías: sin embargo, se dedica una atención especial a las características y efectos de las innovaciones basadas en la microelectrónica. La razón obvia es lo extendido de estas tecnologías y el alcance de las transformaciones que están induciendo en el sistema económico contemporáneo.

Varias formas de innovaciones afectan a todos los sectores de la actividad económica. El presente trabajo, sin embargo, se centra en la producción de bienes

Cuadro n.º 1. I+D: Gasto por país y por fuente de financiación, Crecimiento real y Empleo

País	EE.UU.	Japón	Alemania Federal	Reino Unido	Francia	Italia
% de crecimiento anual de los Gastos Totales Nacionales en I + D (a precios constantes)						
• 1969-75	-0,6	0,8	6,2	1,3	2,3	4,9
• 1975-81	4,2	7,9	4,7	3,1	4,2	4,6
• 1981-83	3,8	8,2	1,9	-0,7	4,7	4,9
I+D como % del PNB (1983)	2,7	2,8	2,8	2,8	2,5	1,6
Empleo en I+D por cada mil unidades de Fuerza Laboral Total (1983)	6,6	5,8	4,7 ^a	3,6 ^a	3,9	2,3
I+D Financiada por Empresas como % de la I+D total (1983)	49,0	65,3	58,1	42,1	42,0	45,5
I+D Realizada por Empresas como % de I+D total (1983)	71,1	63,5	69,8	61,0	56,8	57,0
I+D Militar como % de I+D total (1983 ^b)	27,8	0,6	13,5 ^c			

Notas: I) A menos que se especifique lo contrario, los datos de las filas 4 a 8 se refieren a 1983; ii) A pesar de los esfuerzos de normalización promovidos en particular por la OCDE, es probable que persistan algunas discrepancias entre los distintos países en cuanto a la cobertura y definiciones; iii) debe actuarse con cautela al comparar las filas 4 y 5; las diferencias son probablemente resultado tanto de discrepancias estadísticas como de diferencias en el salario relativo de los trabajadores de la investigación con respecto al salario medio de cada país.

(a) 1981 (Fuente utilizada para el empleo en I+D: National Science Foundation).

(b) Calculado por Patel y Pavitt (1986).

(c) Toda Europa Occidental.

Fuente: National Science Foundation (1986), OCDE (1986), Peri Patel y Keith Pavitt (1986) y elaboración propia (en términos de ratios con el PNB y fuerza laboral total).

(principalmente, manufacturados) y pone el énfasis en los esfuerzos relacionados con la mejora de las técnicas de producción y la búsqueda de nuevos productos.

La segunda sección muestra alguna evidencia empírica sobre la asignación de recursos a la investigación y sobre los rasgos de la innovación por países y sectores. La interpretación de estos patrones observados comenzará en la sección 3 con un análisis de las características del proceso de investigación orientado al descubrimiento y desarrollo de las innovaciones. La sección 4 estudia la naturaleza de las oportunidades y el conocimiento del que se nutren las innovaciones y los incentivos que impulsan a los agentes motivados por el beneficio a innovar y/o imitar las innovaciones de otros. Sostengo la idea de que la interpretación sugerida sobre el proceso de innovación ayuda a explicar por qué los sectores difieren en sus modos y grados de innovación. Además, las empresas dentro de cada sector difieren, también, en su propensión a innovar. En la quinta sección se discute este fenómeno. Finalmente, la sección 6 aborda la relación entre las actividades de innovación y la dinámica de las estructuras y comportamientos industriales.

2. BÚSQUEDA DE INNOVACIONES. LOS ESQUEMAS GENERALES

Los países industriales modernos dedican una parte significativa de su renta y de su fuerza laboral a actividades formales de investigación pura y aplicada y al desarrollo tecnológico, tanto dentro de instituciones sin fines de lucro (universidades, laboratorios estatales, etc.) como de las empresas. El cuadro n.º 1 proporciona una visión del empleo y el gasto en I + D por país, cuotas de investigación de las empresas y fuentes de financiación (2).

En lo que se refiere a la composición de los gastos en I + D (en el cuadro n.º 2 figura la evidencia empírica para los EE.UU.), alrededor de la décima parte se dedica a investigación pura, más de un cuarto a investigación aplicada y el resto a desarrollo. No es de extrañar que la investigación pura, por su carácter de bien público, sea financiada principalmente por el gobierno federal, las universidades y otras instituciones sin fines de lucro, mientras que la industria cubre alrededor de la mitad de los costes de la investigación aplicada y el desarrollo, no obstante, la industria privada también dedica cerca de un 20% de sus gastos totales en I + D a investigación pura.

(2) En un esfuerzo por homogeneizar las definiciones y la recogida de datos sobre gastos en investigación, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) ha propuesto, en el «Manual Frascati» que «La Investigación y el Desarrollo Experimental comprendan trabajo creativo emprendido de manera sistemática con el fin de aumentar el stock de conocimientos... y la utilización de ese stock de conocimientos para diseñar nuevas aplicaciones» (OCDE 1981, pág. 25). Dentro de esa definición general, la investigación «pura» corresponde, en términos generales, a actividades orientadas al crecimiento del conocimiento, investigación «aplicada» comprende la búsqueda de «aplicaciones», y «desarrollo» se refiere a las actividades de diseño, puesta en práctica y producción de prototipos de las «nuevas aplicaciones». Aun así, el detalle de las actividades realmente encuestadas en los diferentes países —en términos tanto de gasto como de empleo— con frecuencia no es estrictamente homogéneo y se hace necesario actuar con precaución al comparar las cifras de inversión en I + D entre los distintos países. Para una discusión en profundidad sobre los problemas de medición de la I+D, véase Freeman (1982).

Cuadro n.º 2. **Gasto en I+D de los EE.UU. por tipo y fuente de financiación.**
Varios años

	(En %)			
	1960	1970	1980	1983
TOTAL I + D	100	100	100	100
INVESTIGACIÓN BÁSICA, financiada por	8,9 (100)	13,6 (100)	12,9 (100)	12,6 (100)
— Gobierno Federal	5,3 (59,7)	9,5 (70,1)	8,9 (68,8)	8,4 (66,4)
— Industria	2,5 (28,6)	2,0 (14,9)	2,0 (15,7)	2,3 (18,4)
— Universidades"	0,5 (6,0)	1,3 (10,0)	1,3 (10,0)	1,3 (10,0)
— Otras Instit. sin fines de lucro	0,5 (5,7)	0,7 (5,1)	0,7 (5,6)	0,7 (5,3)
INVESTIGACIÓN APLICADA, financiada por	22,3 (100)	21,9 (100)	22,4 (100)	23,4 (100)
— Gobierno Federal	12,5 (55,9)	11,8 (53,8)	10,5 (47,0)	10,6 (45,4)
— Industria	9,1 (40,6)	9,3 (42,4)	10,7 (47,7)	11,6 (49,6)
— Universidades	0,5 (2,1)	0,4 (1,7)	0,7 (3,0)	0,7 (2,0)
— Otras Instit. sin fines de lucro	0,3 (1,3)	0,3 (2,0)	0,5 (2,3)	0,5 (2,0)
DESARROLLO financiado por	68,9 (100)	64,5 (100)	64,6 (100)	64,0 (100)
— Gobierno Federal	46,8 (68,1)	35,7 (55,3)	27,6 (42,7)	27,6 (43,1)
— Industria	21,8 (31,7)	28,6 (44,4)	36,7 (56,7)	36,0 (56,3)
— Universidades"	0,01 (0,1)	0,0 (0,1)	0,1 (0,2)	0,02 (0,2)
— Otras Instit. sin fines de lucro	0,01 (0,1)	0,2 (0,2)	0,2 (0,3)	0,02 (0,3)

Fuente: National Science Foundation (1986).

Notas: i) Los datos entre paréntesis son porcentajes del subtotal de cada categoría de investigación; ii) Las subdivisiones entre «pura», «aplicada» y «desarrollo» están tomadas de la clasificación del National Science Foundation.

(*) La investigación de universidades financiada por el gobierno federal está incluida en el apartado de «Gobierno Federal».

Además, dentro del amplio escenario de las inversiones en I + D a nivel nacional, se pueden observar marcadas diferencias intersectoriales en la asignación de recursos a la investigación (véase cuadro n.º 3). En lo que concierne a las fuentes de estas inversiones y su localización institucional, en las economías de mercado contemporáneas alrededor de la mitad de la inversión total en I + D es, como ya se ha dicho, financiada por las empresas y entre la mitad y dos tercios de la I + D la llevan a cabo las empresas (véase cuadro n.º 1).

Los cuadros n.ºs 1 a 3 muestran sólo los recursos comprometidos en innovación que financian actividades formales de investigación, típicamente en laboratorios de I + D; sin embargo, además de la I + D formal, y en muchos aspectos complementándola, una cantidad significativa de mejoras e innovación se origina a través de mejoras de diseño, «aprendizaje mediante la práctica» (*learning by doing*), y «aprendizaje mediante la utilización» (*learning by using*), (véase, por ejemplo, Arrow, 1962a; Rosenberg, 1982;

Cuadro n.º 3. **Gasto en I+D como porcentaje del valor añadido por sector y por país y ratios sectoriales de utilización de I+D respecto al gasto**

Sector	EE.UU.	Japón	Alemania Federal	Francia	Reino Unido	Italia	Ratio estimado para EE.UU. de Utilización / Generación de I+D ^a
Industria eléctrica y electrónica	12,7	8,5	8,8	13,7	16,2	5,7	0,34
Productos químicos	6,5	7,7	5,8	7,0	6,8	5,5	
— Química orgánica e inorgánica	4,3	8,0			5,3		0,50
— Productos farmacéuticos	12,1	10,0	8,4	7,6	17,8	6,0	0,17
— Refinerías de petróleo	6,4	3,0	0,6	3,4	2,0	4,6	1,31
Instrumental	20,5	(8,6) ^b	8,3	(5,4) ^b	8,5	(1,2) ^b	0,14
Maquinaria de oficina y computadores	21,7	7,5			19,38		0,11
Maquinaria industrial no eléctrica	2,5	2,9	4,2	2,4	2,5	2,7	0,17
Aeroespacial	32,6	7,2	30,8	10,0	30,9	6,6	0,37
Equipo de transporte	10,0		5,5		3,1		
— Vehículos de motor	12,6	6,5	5,9	n.d.	4,2	n.d.	0,20
— Barcos	n.d.	7,8	1,2	n.d.	0,8	n.d.	
— Otro equipo de transporte	n.d.	n.d.	1,6	n.d.	0,0	n.d.	0,32
Alimentación, bebidas y tabaco	0,7	1,3	0,5	0,3	0,8	2,4	1,18
Textil y confección	2,7	1,3	0,5	0,5	0,3	0,3	1,31
Caucho y productos plásticos	2,5	2,8	1,9	4,4	1,1	1,8	1,12
Metales férricos	1,6	2,9	1,6	1,1	1,1	0,5	1,63
Metales no ferrosos	2,4	4,3	1,8	2,4	2,1	3,2	1,06
Productos metálicos transformados	1,1	1,2	1,4	1,0	0,8	0,0	0,49
Madera y muebles	0,7	— ^c	— ^c	— ^c	— ^c	— ^c	1,33
Papel e imprenta	0,7	— ^c	— ^c	— ^c	— ^c	— ^c	1,31
Piedra, arcilla y cristal	1,9	— ^c	— ^c	— ^c	— ^c	— ^c	0,86
Total Manufacturas	8,1	4,9	5,4	(4,6) ^d	6,6	(2,9) ^d (1,7) ^e	0,42

Notas: Las intensidades sectoriales de I+D se han calculado como el ratio entre la I + D realizada por las empresas y el valor añadido sectorial. Debe actuarse con especial precaución al comparar los datos a lo largo de una fila: la cobertura de los datos de valor añadido difiere entre países (por ejemplo, para Italia, Incluye sólo a empresas con más de veinte empleados).

(a) Ratio del total de la I+D utilizada de la I+D realizada por el sector según estimaciones de Freferlick M. Scherer (1982).

(b) Instrumental profesional incluye equipo fotográfico.

(c) No se dispone de datos comparables.

(d) Estimaciones basadas en el subconjunto del sector manufacturero para el que se dispone de datos sectoriales.

(e) Basado en datos agregados de la OCDE sobre la economía italiana.

Fuente: OCDE (1986), National Science Foundation (1986), OECD. *Estadística sobre Estructuras Industriales*, varios años y Scherer (1982); para establecer comparaciones, el autor ha agregado los datos de gastos en I+D y valor añadido cuando ha sido necesario.

David, 1975; Hollander, 1965 y Yelle, 1979). Tales esfuerzos informales se encuentran generalmente incorporados en personas y organizaciones (principalmente empresas) (Teece 1977, 1986; Pavitt, 1986a) y su coste es difícil de calcular. Asimismo, los sectores difieren en la importancia relativa de los cuatro modos básicos de avance tecnológico: (a) procesos formales de investigación, caros económicamente, y cuyos costes se encuentran medidos en las estadísticas; (b) procesos informales de difusión de la información y de las cualificaciones tecnológicas (por ejemplo, a través de publicaciones, asociaciones técnicas, procesos de mira y aprende —*watch and learn*—, transferencias de personal); (c) aquellas formas particulares de «externalidades», internalizadas dentro de cada empresa, asociadas con el aprendizaje mediante la práctica y el aprendizaje mediante la utilización; y (d) la adopción de innovaciones desarrolladas por otras industrias e incorporadas en el equipo de capital y los inputs intermedios (Pavitt, 1984).

En la interpretación de la evidencia empírica sobre actividades de innovación en las economías contemporáneas uno se enfrenta, en primer lugar, a la cuestión de la naturaleza del proceso que conduce desde la percepción de una oportunidad explotable económicamente a su desarrollo. En otras palabras, ¿qué es lo que la gente hace en realidad?, ¿cómo investigan?, ¿por qué los sectores difieren en sus procedimientos de investigación?

En segundo lugar, uno debería explicar las direcciones observadas de cambio tecnológico. ¿En qué medida representan tales esquemas observados reacciones a las señales de mercado? ¿Hay otros factores que influyen sobre los patrones de cambio tecnológico?

En tercer lugar, se debería explicar por qué los sectores difieren en los recursos que comprometen a las actividades de investigación y en las tasas a las que generan nuevos productos y procesos productivos. Para expresarlo de manera resumida, denomino «propensión a innovar» al resultado empírico de ambos conjuntos de fenómenos y trato de desenmarañar sus determinantes.

En lo que sigue, me ocupo, sucesivamente, de estas cuestiones.

3. INNOVACIÓN: LAS CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN

En los últimos 20 años, se han realizado diversos análisis del proceso de innovación, referidos tanto a la relación entre inputs y outputs de las actividades de innovación (es decir, la relación entre los recursos dedicados a la búsqueda de innovaciones y las tasas de generación de innovaciones, como quiera que ésta se mida), como a la naturaleza del proceso de innovación en sí mismo. En esta sección me centro primero en el segundo problema.

Estos análisis, que pueden clasificarse bajo el epígrafe general de «estudios de innovación» (Zvi Griliches, 1984b), incluye los de Abernathy y Utterback (1975, 1978), E.W. Constant (1980), David (1975), Freeman (1982), Klein (1977), Nelson y Sydney Winter (1977 y 1982), Rosenberg (1976, 1982), Devandra Sahal (1979, 1981, 1985), Pavitt (1979, 1984), Eric von Hippel (1979, 1982) y Dosi (1982, 1984). Los objetivos analíticos de

estos estudios son diferentes y sus contribuciones bastante heterogéneas. No obstante, la mayoría de ellos apunta hacia algunas características comunes de la innovación que, bajo mi punto de vista, son de crucial importancia para la economía del cambio tecnológico.

3.1. La innovación como Solución de Problemas: Paradigmas Tecnológicos

En términos muy generales, la innovación tecnológica lleva consigo la *solución de problemas*—por ejemplo, en la transformación del calor en movimiento, modelización de materiales en ciertas formas, la producción de compuestos con ciertas propiedades, etc.—, cumpliendo simultáneamente algunos requisitos de costes y de posibilidades en el mercado. Generalmente, los problemas están «mal estructurados», en el sentido de que la información disponible (por ejemplo, sobre los límites de la velocidad de corte de cierta máquina, las razones físicas por las que se avería cuando opera a mayor velocidad) no proporciona por sí misma una solución al problema (análisis relevantes sobre esta clase de cuestiones se pueden encontrar en Simon 1973, 1979, y Nelson y Winter 1982; véase también Egidi 1986 y Dosi y Egidi 1987). En otras palabras, una «solución innovadora» a un cierto problema conlleva «descubrimiento» y «creación», puesto que no se puede derivar un algoritmo general que a partir de la información sobre el problema genere su solución «automáticamente» (más sobre esto en Dosi y Egidi 1987). Ciertamente, la «solución» de problemas tecnológicos implica la utilización de información obtenida de la experiencia previa y conocimiento formal (por ejemplo, de las ciencias naturales): sin embargo, también conlleva capacidades específicas y *no codificadas* de los inventores. Siguiendo a Nelson y Winter (1982) y Winter (1984), utilizó el término *base de conocimiento* para denominar al conjunto de inputs de información, conocimiento y capacidades de que los inventores se nutren cuando buscan soluciones innovadoras. Una primera caracterización que se puede hacer de las diferentes tecnologías es en términos de su «carácter público» y universal, frente al carácter tácito y la especificidad de sus bases de conocimiento (Winter, 1984). Siguiendo a Michael Polanyi (1967), *el carácter tácito* se refiere a aquellos elementos del conocimiento, visión y otros, que los individuos poseen y que están mal definidos, sin codificar, sin publicar, que ni ellos mismos pueden expresar y que difieren de persona a persona, pero que en alguna medida significativa pueden compartirse con colaboradores y colegas que poseen una experiencia común. Por el contrario, los inputs científicos son generalmente universales y públicos. Nelson (1986) cita los resultados del cuestionario de Yale, mostrando que en 30 sectores de 130, la investigación universitaria —especialmente en química, materiales, informática y metalurgia— se considera muy importante para el carácter innovador del sector; en los casos de las biotecnologías Francois Chesnais (1986) analiza una compleja red de proyectos en común entre universidades e industria. Asimismo, la base de conocimiento en varios sectores químicos está directamente ligada al conocimiento científico sobre las propiedades químicas y físicas de moléculas orgánicas complejas.

No obstante, incluso en estas actividades bastante basadas en el conocimiento científico y, aún más, en otras tecnologías, el conocimiento público es complementario a formas de conocimiento más específico y tácito, generado dentro de las unidades

innovadoras (para evidencia empírica, véase Freeman, 1982; SPRU, 1972; J. Langrish, 1972; Gibbons y Johnston, 1974, y Pavitt, 1984). Por ejemplo, en ingeniería mecánica (máquina-herramienta) una parte importante de la base de conocimiento consiste en el conocimiento tácito sobre el comportamiento de generaciones previas de máquinas, sus condiciones típicas de utilización, las necesidades productivas de los usuarios y así sucesivamente. En el caso de la microelectrónica, nos encontramos con tres formas de conocimiento importantes y complementarias: (a) avances en la física del estado sólido (por ejemplo, las propiedades eléctricas de los semiconductores al nivel de micron/submicron), (b) *conocimientos relacionados con la construcción de equipo de producción y prueba de semiconductores*, y (c) lógica de programación. En lo que se refiere a las aplicaciones de la microelectrónica, incorporadas en componentes y equipo, las formas fundamentales de conocimiento consisten en (i) arquitectura e ingeniería de sistemas; (ii) lógica de programación (tanto la lógica incorporada en los computadores como en los programas). (iii) las relaciones entre el tratamiento de la información y los procesos mecánicos o químicos a los que se aplica (por ejemplo, las relaciones entre un control electrónico y los movimientos mecánicos de una máquina-herramienta o los flujos en una planta química) y (d) los mecanismos interactivos (por ejemplo, sensores).

La idea esencial es que esta variedad (específica a la tecnología y específica al sector) en la base de conocimiento de la búsqueda de innovaciones implica también grados diferentes de *carácter tácito* del conocimiento subyacente al éxito en la innovación y, como se discutirá posteriormente, también ayuda a explicar las diferencias entre sectores en la organización típica de las actividades de investigación. Cualquiera que sea la base de conocimiento de la que se nutre la innovación, cada actividad encaminada a resolver problemas implica el desarrollo y refinamiento de «modelos» y procedimientos específicos.

En otros trabajos (Dosi, 1982, 1984), sugiero que existe una amplia similitud, en términos de definiciones y procedimientos, entre *ciencia* y *tecnología*. De manera más precisa, como la moderna filosofía de la ciencia sugiere la existencia de paradigmas científicos (o programas de investigaciones científicas), así también hay *paradigmas tecnológicos*. Tanto los paradigmas científicos como los tecnológicos incorporan una *perspectiva*, una definición de los problemas relevantes, un esquema de indagación. Un «paradigma tecnológico» define contextualmente las necesidades que se han de satisfacer, los principios científicos utilizados para la tarea, el material tecnológico a utilizar. En otras palabras, un paradigma tecnológico se puede definir como un «esquema» de solución de determinados problemas tecnoeconómicos basados en principios muy selectos derivados de las ciencias naturales, juntamente con reglas específicas orientadas a la adquisición de nuevos conocimientos y a salvaguardarlos, cuando sea posible, de una rápida difusión a los competidores. Ejemplos de tales paradigmas tecnológicos incluyen la máquina de combustión interna, la química sintética basada en el petróleo y los semiconductores. Una mirada más atenta a los esquemas de cambio técnico sugiere, sin embargo, la existencia de «paradigmas» con diferentes niveles de generalidad, en varios sectores industriales.

Un paradigma tecnológico es tanto un *ejemplar*—artefacto que ha de ser desarrollado y mejorado (tal como un coche, un circuito integrado, un torno, cada uno

con sus características tecnoeconómicas particulares)— como un *conjunto de elementos heurísticos* (por ejemplo, ¿hacia dónde nos dirigimos?, ¿dónde deberíamos buscar?, ¿de qué tipo de conocimiento nos nutrimos?).

Estos aspectos del cambio técnico, que están relacionados con la mejora de algunos atributos de comportamiento típicos de los ejemplares (por ejemplo, coches de combustión interna de cuatro ruedas, avión de reacción), subyacen en la idea de «postes indicadores tecnológicos» de Sahal (Sahal, 1981, 1985); un poste indicador tecnológico sería un artefacto básico cuyas características tecnoeconómicas están siendo mejoradas progresivamente. Los artefactos básicos (tales como un coche) están también especificados funcionalmente (por ejemplo, los atributos locomotores de un coche) en relación a alguna utilización en el sistema socioeconómico (un coche se utiliza conjuntamente con tiempo humano para la movilidad de una familia y también en actividades productivas de mercado). (Un intento de asociar las características de los paradigmas tecnológicos y las utilidades socioeconómicas o «necesidades», se presenta en Paolo Saviotti y J. Stanley Metcalfe, 1984). En este sentido, los paradigmas tecnológicos definen «paquetes» de características de los diversos bienes. Si, siguiendo a Kevin Lancaster (1971), se definen estos últimos en términos de la combinación de atributos hedonistas, los paradigmas tecnológicos restringen la combinación que resulta en el espacio nocional de características a un cierto número de paquetes prototipo.

Por otro lado, el desarrollo y la mejora de estos «ejemplares» básicos conlleva el desarrollo de competencias específicas y «reglas». Rosenberg (1976) resalta la importancia de «mecanismos de enfoque», esto es, problemas típicos, oportunidades y objetivos que tienden a enfocar el proceso de investigación en direcciones particulares.

Por supuesto, los procedimientos, competencias y elementos heurísticos implicados en el proceso de búsqueda son, en grados variables, específicos a cada tecnología. En otras palabras, cada paradigma tecnológico conlleva una «tecnología del cambio técnico» (3) específica. Por ejemplo, en algunos sectores (como la química orgánica), estos procedimientos se refieren a la habilidad para acoplar el conocimiento científico básico con el desarrollo de nuevas moléculas que presenten las características requeridas. Así, a menudo, se investiga a partir de los compuestos existentes, con la ayuda del conocimiento científico de la relación entre las estructuras químicas y las propiedades físicas, de la previa experiencia y de la suerte. En otros sectores (como microelectrónica), los métodos de búsqueda de innovaciones conllevan avances científicos en los flujos eléctricos submicron en semiconductores, el desarrollo de la informática más sofisticada capaz de «escribir» en los circuitos integrados al nivel deseado de miniaturización, y avances en la lógica de programación que se incorpora a los circuitos integrados. En ingeniería mecánica, el proceso de búsqueda está generalmente «enfocado» hacia las elecciones implícitas en la utilización de máquinas (por ejemplo, entre velocidad, flexibilidad para varios usos y precisión de corte). Las cualificaciones requeridas por este proceso de búsqueda generalmente implican también

(3) Este es también el título de una importante conferencia, coordinada por R. Nelson en el Royal College of Arts, Londres, julio 1985. Véase también Nelson (1981b).

experiencia no escrita y relativamente tácita en el diseño y utilización de equipamiento mecánico y, mas recientemente, en la relación entre controles electrónicos y movimientos mecánicos. En otros sectores (como por ejemplo, algunas fases del sector textil, confección, cuero y calzado) las «habilidades de búsqueda» fundamentales son las capacidades de entender, anticipar e influenciar las tendencias en los gustos y la moda.

A menudo ocurre que los modelos de resolución de problemas prototipo, las reglas sobre cómo buscar y en qué objetivos concentrarse y las creencias sobre «lo que el mercado quiere» se convierten en una visión compartida por la comunidad de ingenieros.

Un paradigma es explotado económicamente y reproducido a lo largo del tiempo también a través de instituciones que imparten formación a los futuros técnicos sobre los métodos de mejora de los ejemplares básicos, y los juicios de los colegas están basados asimismo en el éxito alcanzado en el refinamiento y utilización de estos métodos (en este sentido, la historia de Nobel del desarrollo de las escuelas de ingenieros norteamericanos y su relación con la industria, y la historia de Hughes de la electrificación constituyen gráficas ilustraciones del proceso institucional que va unido al establecimiento de «paradigmas tecnológicos»: véase David Nobel, 1987 y Thomas Hughes, 1982).

3.2. Paradigmas Tecnológicos y Esquemas de Innovación: Trayectorias Tecnológicas

Una implicación crucial de la forma paradigmática general del conocimiento tecnológico es que las actividades de innovación son fuertemente *selectivas*, *orientadas* en direcciones bastante precisas, *acumulativas* en la adquisición de capacidades para la resolución de problemas. Esto explica también los esquemas de innovación relativamente ordenados que se observan en las tecnologías simples, como muestran varios estudios de «predicción tecnológica» (una panorámica extensiva y discusión sobre el tema se encuentra en Martino, 1976). Definamos como una *trayectoria tecnológica* (Nelson y Winter, 1977; Sahal, 1981; Dosi, 1982; Gordon y Munson, 1981; Saviotti y Metcalfe, 1984) la actividad del proceso tecnológico junto con las elecciones económicas y tecnológicas definidas por un paradigma.

Así, por ejemplo, el proceso tecnológico en la tecnología aeronáutica ha seguido dos trayectorias bastante precisas (una civil y otra militar) caracterizadas por mejoras log-lineales en las elecciones entre potencia, peso de despegue bruto, velocidad de crucero, carga en las alas y rango de crucero (Sahal, 1985 y una comunicación oral de P. Saviotti sobre investigación en curso en la Universidad de Manchester). En microelectrónica, el cambio técnico puede ser representado de manera precisa por una trayectoria exponencial de la mejora de la relación entre la densidad de los circuitos integrados electrónicos, la velocidad de cómputo y el coste por unidad de información (Dosi, 1984). De manera más general, hay una evidencia creciente de que las «avenidas de innovación» específicas constituyen un aspecto extendido de los esquemas observados de cambio técnico (Sahal, 1985). Por supuesto, no existe a priori una razón económica por la que se deban observar grupos limitados de características

tecnológicas en un momento determinado y trayectorias ordenadas a lo largo del tiempo. En realidad, dado que los consumidores tienen distintas preferencias y los usuarios de equipo diferentes necesidades técnicas, si la tecnología tuviera los atributos maleables de la información y si la búsqueda de innovaciones fuese un proceso puramente aleatorio, se tendería a observar una especie de «curvas de indiferencia tecnológicas» en cada momento de tiempo y, a lo largo del tiempo, una búsqueda aleatoria en el espacio de características n -dimensional. Naturalmente, «cuán distintos» son los consumidores y los usuarios de bienes, elementos de equipo, componentes intermedios, etc., es, en principio, una cuestión empírica. Sin embargo, diferencias relativamente amplias (dada la gran dimensionalidad del espacio de características y de requisitos técnicos demandados por los consumidores y usuarios de bienes) no se pueden excluir por empirismo causal ni por argumentos teóricos de carácter general. Además, para cualquier distribución de características en cualquier momento arbitrario t , uno debería esperar que el crecimiento de la renta y la división del trabajo entre diferentes actividades productivas incrementaría tal diversidad de demandas micro. Si las tecnologías fuesen simplemente piezas de información (o «recetas») que se pudieran sumar, combinadas de manera convexa, etc., también tenderíamos a observar una variedad crecientemente dispersa de combinaciones técnicas y de resultados en los productos y los inputs productivos existentes. A lo largo del tiempo, esto llevaría a la exploración del espacio íntegro de características de los productos finales, máquina-herramienta, componentes, etc. En realidad, la evidencia obtenida sugiere que todavía se observan «exploraciones» limitadas a algunos subconjuntos, mucho más pequeños, del espacio nocional de características. Es precisamente la paradigmática naturaleza acumulativa del conocimiento tecnológico lo que explica el carácter relativamente ordenado de los esquemas observados de cambio tecnológico.

Los ingenieros generalmente tratan de mejorar las características deseables que son específicas a un cierto producto, herramienta o mecanismo considerando las elecciones entre ellas. Relacionado con esto, la evidencia histórica indica que se ha derivado un impulso importante para la innovación a partir de *desequilibrios* entre las dimensiones técnicas que caracterizan una «trayectoria» (o «avenida»), por ejemplo, entre la velocidad de corte y la resistencia en máquina-herramienta o la velocidad de la lanzadera en los telares del siglo XVIII y la velocidad de giro de los husos. Se puede encontrar una discusión de varios ejemplos de este proceso de solución de desequilibrios técnicos, que Hughes (1987) denomina «prominencias adversas» y «problemas críticos» (ver Rosenberg, 1976, especialmente el capítulo 6). Se pueden hallar también argumentos que extienden el alcance de los «desequilibrios» a la relación entre el cambio técnico y el papel social y el comportamiento de distintos grupos de trabajadores en William Lazonick (1979, 1987) y Von Tunzelmann (1982). Otros ejemplos se pueden ver en David Landes (1969).

Por el contrario, un cambio en el paradigma implica generalmente un cambio en las trayectorias. Junto con bases de conocimiento diferentes y distintos prototipos de artefactos, las dimensiones tecnoeconómicas de la innovación también varían. Algunas características pueden que se vuelvan fáciles de conseguir, pueden emerger nuevas características deseables y otras pueden perder importancia. De manera relacionada,

la visión de los ingenieros sobre los avances tecnológicos futuros cambia, unida a un énfasis cambiante en las distintas elecciones que caracterizan los nuevos artefactos. Así, por ejemplo, la trayectoria tecnológica en componentes eléctricos activos basada en válvulas termiónicas tuvo, como dimensiones fundamentales a lo largo del tiempo, parámetros de pérdida de calor, miniaturización y fiabilidad. Con la aparición de componentes de estado sólido, la pérdida de calor fue mucho menos relevante, mientras que la miniaturización aumentó enormemente en importancia y también las tasas a las que el progreso se podía disparar. De manera más general, también se ha sugerido que los principales cúmulos de paradigmas tecnológicos predominantes (por ejemplo, aquellos relacionados con la química sintética basada en el petróleo, con la producción electromecánica, o, más recientemente, con la microelectrónica) conllevan la utilización intensiva de algún input crucial disponible en abundancia a bajo coste (por ejemplo, la energía en los dos primeros casos y el tratamiento de la información en el último: Carlota Pérez, 1987).

3.3. La Tecnología: ¿Información Libremente Disponible o Conocimiento Específico? (4)

La visión de la tecnología que se acaba de presentar es muy diferente del concepto de tecnología como información aplicable de manera general y fácil de reproducir y reutilizar (Arrow, 1962b), donde las empresas pueden producir y utilizar las innovaciones sumergiéndose libremente en un «stock» general de conocimiento científico. Implica que las empresas producen bienes de manera diferenciada técnicamente en productos y métodos de otras empresas y que llevan a cabo innovaciones principalmente sobre la base de la tecnología interna o propia, pero con algunas contribuciones de otras empresas y del conocimiento público. En tales circunstancias, el proceso de investigación de las empresas industriales para mejorar su tecnología *no* es probable que sea tal que se examine el stock total de conocimiento tecnológico nocional antes de tomar decisiones técnicas (véase Nelson y Winter, 1982). Dada su naturaleza altamente diferenciada, las empresas perseguirán, por el contrario, mejorar y diversificar su tecnología, buscando en zonas que les permitan utilizar y construir sobre su base tecnológica existente y también sobre sus mercados existentes, canales de distribución, etc. (Teece, 1982, 1986). En otras palabras, los procesos de investigación tecnológica en cada empresa son también procesos acumulativos. Lo que la empresa puede esperar conseguir tecnológicamente en el futuro está estrechamente restringido por lo que ha sido capaz de hacer en el pasado.

La distinción entre *tecnología* e *información* —donde la última es sólo un subconjunto de la primera— tiene importantes consecuencias analíticas para la teoría de la producción. Para ilustrar esta distinción tomemos una analogía científica (nótese también que *ciencia* está de alguna manera más cerca de *información* en que el móvil de la comunidad científica es desvelar resultados, mientras que en la tecnología generada

(4) Este apartado está basado en parte en Dosi, Pavitt y Soete (1988), que a su vez se basa en Pavitt (1984d).

privadamente es ocultarlos y apropiarlos, véase Partha Dasgupta y David, 1985). Ciertamente, una buena parte de «ciencia» puede ser incorporada en «información». Hay revistas, libros de texto y clases en la universidad de libre acceso que diseminan esta información. Además, se dan condiciones de mercado para acceder a ella; por ejemplo, hay un mercado de libros de texto y condiciones económicas de acceso a la educación superior (por ejemplo, el precio de las matrículas, la disponibilidad o escasez de becas para los estudiantes sin medios); sin embargo, en cualquier sentido propio de la palabra, conseguir un doctorado no es simplemente adquirir información, y es incluso menos cierto que existe un mercado de doctorados. En esta analogía «información» es a capacidades tecnológicas de innovación como una suscripción a la *American Economic Review* es a ganar el Premio Nobel de Economía: en ambos casos hay un elemento irreducible que no es información y no puede ser comprado o vendido, sino que depende de las cualificaciones y capacidades aumentadas acumulativamente. En cada tecnología existen elementos de conocimiento *tácito* y *específico* que no están escritos ni pueden escribirse en forma de «cianotipo», y no pueden ser, por tanto, enteramente difundidos en forma de información pública o de propiedad privada (véase Polanyi, 1967, y la discusión sobre este tema en Nelson y Winter, 1982) (5). Por supuesto, esto no implica que tales capacidades y formas de conocimiento tácito sean completamente inamovibles. Las personas pueden ser contratadas por otras empresas o pueden emprender sus propios negocios (y en ocasiones ofrecer productos y conocimientos a los competidores de sus antiguas empresas), los procedimientos de aprendizaje de una empresa pueden ser imitados por otras empresas y así sucesivamente. Sin embargo, todavía se mantiene en pie el hecho de que las actividades de innovación presentan — en grados diferentes— características acumulativas, locales y específicas a una empresa. Esto se ve confirmado por los estudios empíricos.

Se ha encontrado que la *información* sobre lo que están haciendo otras empresas se difunde muy rápidamente (Edwin Mansfield, 1985); sin embargo, la capacidad para producir o replicar resultados innovadores se extienden con menos facilidad. Las innovaciones que tienen éxito están más relacionadas con los niveles existentes de capacidad tecnológica y de marketing de las empresas que las innovaciones que han fracasado (Robert Cooper, 1983; Modesto Maidique, 1983); tienden a producirse en áreas de productos próximas a los campos actuales de la empresa; las actividades que las empresas llevan a cabo implican costes de aprendizaje iniciales que se recuperan más tarde como resultado de mejoras acumulativas en el comportamiento del producto y en aplicaciones de mercado más amplias (Enos, 1962; David, 1975; Rosenberg, 1976, 1982; Sahal, 1981; Teubal, 1982; Gardiner, 1984; Rothwell y Gardiner, 1984).

(5) Egidi (1986) desarrolla una analogía entre «tecnología» y estructuras lingüísticas. Así como la semántica y la sintaxis de los lenguajes naturales conforman lo que se dice y cómo se dice, la tecnología conlleva cadenas coherentes de rutinas («...primero tómese un trozo de hierro y el martillo, luego hágase así y así, después colóquese bajo el torno...», etc.). A su vez, estas rutinas implican habilidades que no pueden deducirse ni de la naturaleza de los inputs (el trozo de hierro, el martillo, el torno, etc.) ni de la secuencia de operaciones. Obviamente éste es también el caso de la producción lingüística: el conocimiento del Diccionario Oxford (la semántica) y de la gramática inglesa (la sintaxis) delimita y conforma lo que se puede decir, pero no es en absoluto suficiente para generar la capacidad de escribir *Hamlet*. En una perspectiva diferente, los cambios en las tecnologías como un proceso creativo de generación de nuevas cualificaciones se discuten en Mario Amendola (1983) y Amendola y Jean-Luc Gaffard (1986).

Una vez se reconoce la naturaleza acumulativa y específica a la empresa de la tecnología, su desarrollo a lo largo del tiempo deja de ser aleatorio y está restringido a zonas muy relacionadas tecnológica y económicamente (por ejemplo, redes de distribución y mercados relacionados) con las actividades actuales. Si esas zonas se pueden identificar, medir y explicar, también es posible predecir probables patrones futuros de actividades de innovación en empresas, industrias y países (véase David, 1975; Dahal, 1981, 1985; Pavitt, 1984; Dosi, Pavitt y Luc Soete, 1988).

Se sugiere aquí que cada paradigma tecnológico conlleva un balance específico entre determinantes exógenos de la innovación (por ejemplo, avances en ciencia pura realizados en la universidad) y determinantes que son endógenos al proceso de competencia y acumulación tecnológica de industrias y empresas particulares. Además, cada paradigma implica *modos de búsqueda, bases de conocimiento y combinaciones entre formas de conocimiento tecnológico de propiedad privada y públicas* que son específicos.

Dados estos aspectos de la tecnología y de la innovación tecnológica, ¿cómo se organizan los procesos de búsqueda? ¿Quiénes son los agentes que los llevan a cabo? ¿Cómo se relacionan con el resto del sistema económico?

3.4. Cómo Construyen Bases de Conocimiento las Organizaciones

La creciente complejidad de las actividades tecnológicas y de investigación en este siglo favorece las organizaciones formales (laboratorios de I+D de grandes empresas, de universidades y del estado, etc.) en contraposición a innovadores individuales, como el ambiente más propicio a la producción de innovaciones. Esto también viene reflejado por el crecimiento secular en la proporción de patentes corporativas frente a patentes individuales registradas en los EE.UU., así como en otras economías occidentales.

David Mowery (1980, 1983) ha reconstruido el crecimiento de las actividades de investigación y desarrollo en la industria norteamericana desde los comienzos de este siglo. Como resultado notable, encuentra que la I + D realizada por la industria —que crece a una tasa mucho mayor que la producción industrial o el empleo— también tiende a ser internalizada dentro de las compañías manufactureras. En otras palabras, contrariamente a la hipótesis de Stigler (George Stigler, 1956), el crecimiento de la I + D no ha conducido a un proceso comparable de división del trabajo basado en el mercado ni al surgimiento de «oferentes de innovación» especializados. La I + D interna es la forma predominante de organización en la búsqueda tecnológica corporativa (sobre este punto véase también Lenoard Reich, 1985; Rosenberg, 1985, y Nelson, 1986). Como dijo Richard Nelson: «el moderno laboratorio industrial de I + D, ligado dentro de la empresa con producción y frecuentemente también con marketing, tenía una serie de ventajas frente a confiarse a laboratorios externos de investigación y desarrollo, particularmente cuando las características de las tecnologías relevantes eran de alguna manera idiosincrásicas y tácitas y la I + D necesitaba ser ajustada a esas idiosincrasias y a las estrategias particulares de las empresas. Además de la ventaja general de la

integración en tales circunstancias, enfatizada por Oliver Williamson (1985), aquí, como pone de relieve Mowery, la integración tendría la ventaja adicional de facilitar un mejor flujo de información desde el laboratorio de I + D hasta aquellos que tienen que poner en práctica la nueva tecnología y a la inversa. También serviría para limitar las filtraciones de información entre organizaciones» (Nelson, 1986, pág. 10). Por supuesto, se observan también a menudo en el mercado transferencias de innovaciones y de competencias técnicas, tales como licencias y acuerdos de asesoría; sin embargo, «el modo predominante de investigación industrial en el sector privado, al menos en los Estados Unidos, es la organización integrada de investigación, parte de una empresa de negocios que se ocupa de al menos otra actividad verticalmente relacionada con la investigación y el desarrollo, como producción, marketing, distribución, ventas y servicios» (Teece, 1986, pág. 1). Además, incluso cuando existen licencias y otras formas de transferencia de tecnología entre empresas, éstas no constituyen un sustituto absoluto de la investigación dentro de la empresa. Se necesita tener suficiente capacidad interna como para reconocer, evaluar, negociar y finalmente adaptar la tecnología potencialmente disponible de otros.

El análisis de Williamson (1975, 1985) sobre los costes de transacción debidos a las asimetrías de información, problemas de control y posibilidades de comportamiento oportunista constituye claramente parte de la interpretación de este fenómeno. Las transacciones de mercado que conllevan actividades de investigación generalmente implican (a) especificaciones incompletas de los contratos, dada la incertidumbre sobre los resultados de la investigación; (b) falta de protección adecuada de la información de propiedad privada; (c) posibilidad de fenómenos de «captura» con los oferentes de investigación, que en consecuencia pueden obtener rentas de esa ventaja asimétrica; (d) pocos incentivos para minimizar los costes; (e) costes de control (sobre todos estos puntos, véase Teece, 1988).

Además de estos factores que tienen que ver con los costes de transacción, la discusión precedente sobre la naturaleza de la tecnología y la búsqueda de innovaciones sugiere otro conjunto de factores relacionados con las características del conocimiento y la resolución de problemas. En realidad, los elementos heurísticos sobre «cómo hacer las cosas» y «cómo mejorarlas» se encuentran a menudo incorporados en *rutinas organizativas*, que, a través de la práctica, la repetición y mejoras más o menos incrementales hacen que ciertas empresas sean «buenas» explorando ciertas oportunidades técnicas y trasladándolas a productos de mercado específicos. En tales materias, existe un grado significativo de indivisibilidad organizativa, puesto que el aprendizaje organizativo puede muy bien no ser aditivo en el aprendizaje de los individuos o los grupos que componen la organización. En realidad, fue Adam Smith el primero en hacer hincapié en la posible dicotomía entre «aprendizaje por parte del sistema» (por ejemplo, los efectos beneficiosos para la eficiencia económica de la división del trabajo), por un lado y la brutalidad degradante que tareas repetitivas e inconscientes podrían implicar para algunos grupos de trabajadores, por otro lado. Los procesos de especialización y división del trabajo entre empresas constituyen buenos ejemplos de esta posibilidad. Los individuos y los grupos pueden muy bien disminuir el alcance del conocimiento y las competencias que se les exige que pongan en la

producción o búsqueda de innovaciones (en cierto sentido, puede que se les exija que «olviden»), mientras que al mismo tiempo estos mismos individuos y grupos quedan ligados mediante rutinas que aumentan la eficiencia organizativa (cualquiera que sea el criterio con que se evalúe esta última). Por ejemplo, el surgimiento de la factoría moderna ha implicado también la descapacitación de categorías particulares de artesanos; las habilidades de varios grupos de trabajadores artesanos se vuelven redundantes, las capacidades para *construir* ciertas máquinas se separan cada vez más de las capacidades asociadas con su utilización; la introducción de técnicas electromecánicas de producción en masa automatizada en grandes plantas ha reducido aún más el conocimiento que se requiere de una parte significativa de la fuerza de trabajo. Estos mismos procesos, sin embargo, han estado asociados con grandes aumentos en la capacidad de las organizaciones empresariales (más y más complejas) para aprender, esto es «almacenar» y desarrollar internamente procedimientos para una creciente eficiencia productiva.

La exploración de las características de las competencias organizativas con referencia específica a la investigación de una innovación se encuentra todavía en fase preliminar (véase Pavitt, 1986a; Teece, 1986, 1988; Winter, 1987a, 1987b y Neil Kay, 1979, 1982). Sin embargo, en mi opinión, existe un ingrediente fundamental (junto con los costes de transacción y los factores de control puestos de relieve por Williamson, 1985) en la explicación, tanto de la integración de la investigación dentro de las unidades de producción y marketing como, de manera más general, de *los límites de las empresas* en las economías de mercado contemporáneas. De manera más precisa, Teece (1986) y Pavitt, Mike Robson y Joe Townsend (1987), independientemente, han adelantado la conjetura de que estos límites o fronteras están definidos por el alcance de sus «competencias centrales», es decir, por el alcance de lo que son «capaces de hacer bien» y la relevancia de este conocimiento específico para las actividades de innovación, producción y marketing de un determinado producto. Esto —se sugiere— afecta también al alcance de la integración vertical eficiente y la diversificación de una empresa dada (en Dosi, Teece y Winter, 1987, se ahonda más en este tema).

Las rutinas organizativas y los procedimientos de alto nivel para alterarlas en respuesta a cambios en el entorno, y/o a fallos en su comportamiento, conlleva una tensión continua entre los esfuerzos para mejorar las capacidades para hacer las cosas *existentes*, controlar los contratos *existentes*, asignar los recursos *dados*, por una parte y el desarrollo de capacidades para hacer cosas nuevas o cosas viejas de maneras nuevas, por otra. Esta tensión se complica por la naturaleza intrínsecamente incierta de las actividades de innovación, a pesar de su creciente institucionalización dentro de las empresas. El resultado técnico (e, incluso más, el comercial) de las actividades de investigación no se puede conocer *ex-ante* (se puede encontrar evidencia empírica sobre proyectos de investigación individuales en Mansfield, 1968 y Mansfield et al., 1977). En general, la incertidumbre asociada a las actividades de innovación es mucho mayor que la tratada por los modelos económicos tradicionales. Implica no sólo falta de conocimiento de los costes precisos y los resultados de las distintas alternativas, sino que con frecuencia implica también falta de conocimiento sobre cuáles son las alternativas (véase Freeman, 1982; Nelson, 1981a; Nelson y Winter, 1982). De hecho, distinguiremos entre (i) la noción de incertidumbre tradicional en el análisis económico,

definida en términos de información imperfecta sobre la ocurrencia de una *lista conocida de sucesos* y (b) lo que podríamos llamar *incertidumbre fuerte*, cuando se desconoce la lista de sucesos posibles, así como las consecuencias de acciones concretas para un suceso dado (más sobre esto en Dosi y Egidi, 1987). Sugiero que, en general, la búsqueda de innovaciones se caracterizan por una incertidumbre fuerte. Esto se aplica sobre todo a aquellas fases de cambio técnico que se podrían llamar *preparadigmáticas*. Durante estos períodos altamente exploratorios uno se enfrenta a una doble incertidumbre referida tanto a los resultados prácticos de la búsqueda de innovaciones como a los principios científicos y tecnológicos y los procedimientos de resolución de problemas en los que podrían basarse los avances tecnológicos. Cuando se establece un paradigma tecnológico, esto trae consigo una reducción de la incertidumbre, en el sentido de que centra las direcciones de búsqueda y constituye la base para la formación de expectativas tecnológicas y de mercado con mayor seguridad. (En este sentido, las trayectorias tecnológicas no son sólo la descripción ex post de los esquemas de cambio técnico, sino también, como ya se ha mencionado, la base de los elementos heurísticos como «¿hacia dónde nos dirigimos?»). No obstante, incluso en el caso de investigación técnica «normal» (en contraposición a la exploración «extraordinaria» asociada con la búsqueda de nuevos paradigmas), la incertidumbre fuerte está presente. Incluso cuando la base fundamental de conocimiento y las direcciones esperadas de avance sean bastante bien conocidas, a menudo ocurre que se debe comenzar a trabajar en investigación exploratoria, desarrollo y diseño, antes de saber cuál será el resultado (cuáles serán las propiedades de un nuevo compuesto químico, qué aspecto tendrá un diseño, etc.) y lo que costará obtener algunos resultados factible o, en realidad, si se obtendrá algún resultado útil (Mansfield et al. 1977).

Como consecuencia, las empresas tienden a trabajar con rutinas relativamente generales e independientes de los sucesos (con reglas del tipo «...gástese x% de las ventas en I + D», «...distribúyase la actividad de investigación entre investigación básica, proyectos de alto riesgo e innovaciones incrementales de acuerdo con ciertas proporciones rutinarias...» y en algunas ocasiones metarreglas del tipo «con tipos de interés altos o beneficios bajos, disminúyase la investigación básica», etc.). Este hecho viene corroborado por una extensa evidencia sobre el comportamiento de los directivos y también por recientes contrastes econométricos más rigurosos; véase Griliches y Ariel Pakes (1986), que encuentran que «el esquema de la inversión en I + D dentro de una empresa es esencialmente un paseo aleatorio con una varianza de error relativamente baja» (págs. 10-11). En este sentido, la hipótesis de Schumpeter sobre la rutinización de la innovación (Joseph Schumpeter, 1942) y la persistencia de la incertidumbre asociada a la innovación puede que no entren en conflicto, sino que se complementen mutuamente. Como sugería el Schumpeter «tardío», uno puede aventurar que la investigación corporativa a gran escala se ha convertido en la forma predominante de organización de la innovación porque es la más efectiva para explotar e internalizar las características tácitas y acumulativas del conocimiento tecnológico (Mowery, 1980; Pavitt, 1986). Además, las compañías tienden a adoptar políticas (reglas) estables, puesto que se enfrentan a entornos complejos e impredecibles en los que no pueden prever los estados de la naturaleza futuros, ni siquiera «asociar» sucesos nocionales a acciones y resultados (Dosi y Orsenigo, 1986; Heiner, 1983, 1988). La investigación

corporativa internalizada explota el carácter acumulativo y la complejidad del conocimiento tecnológico. Junto con las reglas estables, las empresas tratan así de reducir la incertidumbre de la búsqueda de innovaciones, sin conseguir eliminarla por completo.

La internalización y la rutinización en presencia de la incertidumbre y complejidad del proceso innovador también señalan la importancia de disposiciones organizativas particulares para el éxito o fracaso de intentos individuales de innovación. Este fue el hallazgo del proyecto SAPPHO (Unidad de Investigación de Política Científica, 1972 y Rothwell et al. 1974), posiblemente la investigación más extensiva sobre las fuentes del éxito o fracaso *comercial* de las innovaciones. Los aspectos institucionales, tanto los internos a la empresa —como la naturaleza de los acuerdos organizativos entre comerciales y técnicos, o la autoridad jerárquica dentro de la empresa innovadora— y entre una empresa y su entorno exterior—como buenos canales de comunicación con los usuarios, las universidades, etc.— resultan ser muy importantes. Además, se ha argumentado (Pavitt, 1986; Robert Wilson, Peter Ashton y P. Thomas Egan, 1984) que, para unas oportunidades de innovación e incentivos dados, las distintas formas de organización interna corporativa (la forma U frente a la forma M, estructura centralizada en contraposición a descentralizada, etc.) afectan a la innovación y al éxito comercial positiva o negativamente, de acuerdo con la naturaleza concreta de cada paradigma tecnológico y su estado de desarrollo.

En general, cada norma organizativa de una empresa conlleva procedimientos para la asignación de recursos a actividades concretas (en nuestro caso, a actividades de innovación) y para la utilización eficiente de estos recursos en la búsqueda de nuevos productos, nuevos procesos y procedimientos para la mejora de las rutinas existentes; sin embargo, la naturaleza específica de estos procedimientos difiere entre empresas y sectores. Por ejemplo, los recursos comprometidos varían entre industrias, así como también las tasas a las que se produce el aprendizaje. A continuación trato de la interpretación de estos fenómenos.

4. OPORTUNIDADES, INCENTIVOS Y LOS ESQUEMAS INTERSECTORIALES DE INNOVACIÓN

Claramente, los recursos comprometidos por agentes con fines de lucro deben conllevar tanto la percepción de algún tipo de oportunidad como algún conjunto efectivo de incentivos. ¿Son las diferencias intersectoriales observadas en la inversión en innovaciones, el resultado de estructuras de incentivos diferentes, oportunidades distintas, o ambas? Jacob Schmookler, en su obra clásica, argumentaba que la imaginación creativa y la universalidad de la ciencia moderna proporcionan un conjunto de oportunidades amplio e *intersectorialmente indiferente*, oportunidades que se explotan en grados distintos en cada actividad económica siguiendo distintos incentivos económicos, y, en particular, diferentes esquemas de crecimiento de la demanda (Schmookler, 1966). (De hecho, a él no le preocupaba tanto la inversión en innovaciones como el resultado de la innovación, que media mediante patentes. Sin embargo, se puede aplicar el mismo argumento: para oportunidades idénticas, la elasticidad de los

outputs de la innovación respecto a los inputs de I+D debería ser la misma). La tesis de Schmookler ha sido criticada sobre bases tanto teóricas como empíricas (véase Rosenberg, 1976, capítulo 15 y Freeman, 1982). El análisis precedente del proceso de innovación apoya estas críticas y ayuda a clarificar los méritos y limitaciones de la hipótesis de Schmookler.

4.1. Oportunidades Tecnológicas: Ciencia Exógena y Aprendizaje Específico

En primer lugar discutiré el papel de las oportunidades científicas para la innovación y, posteriormente, la importancia de otras fuentes de oportunidades.

El conocimiento científico juega un papel crucial para la apertura de nuevas posibilidades de avances tecnológicos importantes. En este siglo, el surgimiento de nuevos paradigmas tecnológicos importantes ha sido con frecuencia directamente dependiente de y estado *directamente ligado* a importantes avances científicos: véase, por ejemplo, el origen de la química sintética (John Beer, 1959; Freeman, 1982), los transistores (Nelson, 1962; H.S. Kleiman, 1977; Dosi, 1984), y la bioingeniería (Orsenigo, 1988). Ciertamente, en la civilización occidental hay una larga historia de ligazones entre ciencia y tecnología, apuntando a que existe una relación entre ellas bastante estrecha, al menos desde Leonardo da Vinci y Galileo. Lo que es nuevo y cada vez más importante en este siglo es que la generación y utilización de parte del conocimiento científico es interno a, y con frecuencia una condición necesaria de, el desarrollo de nuevos paradigmas tecnológicos. Hasta finales del siglo XIX, las innovaciones tecnológicas las introducían generalmente artesanos imaginativos; por ejemplo, los motores fueron desarrollados por inventores de mente práctica, mucho antes de los trabajos de Carnot en termodinámica. En este siglo, en lo que se refiere a innovaciones importantes, estamos más cerca del «arquetipo del transistor», en el que el descubrimiento de ciertas propiedades mecánicas cuánticas de los semiconductores, que otorgaron un Premio Nobel en Física, y el desarrollo tecnológico del primer mecanismo microelectrónico han ido unidos (Nelson, 1982; Ernest Braun y Stuart MacDonald, 1978; Dosi, 1984).

A simple vista, el papel creciente de los inputs científicos en el proceso de innovación se puede considerar evidencia de la importancia de factores exógenos en los procesos competitivos entre agentes privados con fines de lucro. Esto es cierto, pero está sujeto a dos cualificaciones.

En primer lugar, la relación entre ciencia y tecnología va también de la última a la primera. Se ha observado, por ejemplo, que el desarrollo de instrumentos científicos ha tenido un gran impacto en progresos científicos subsiguientes. En general, sin embargo, el alcance, tiempo y los canales de influencia de los avances tecnológicos sobre la ciencia tienen una naturaleza diferenciada de la influencia más directa de los descubrimientos científicos sobre las oportunidades tecnológicas. Una discusión detallada está fuera del alcance de este trabajo. (Sobre estos temas, véase John Bernal, 1939; Rosenberg, 1982, y Derek de Solía Price, 1984). En segundo lugar, los avances científicos juegan un papel *directo* importante, especialmente en las primeras fases del desarrollo de nuevos paradigmas tecnológicos. A menudo, lo que ocurre es que el

establecimiento de un nuevo paradigma importante conlleva también la solución de problemas de naturaleza teórica y/o el desarrollo de mecanismos, compuestos, moléculas, etc., que son en sí mismos un reto para los científicos (el transistor, el polipropileno y la ingeniería genética son ejemplos obvios).

En cierto sentido, el progreso del conocimiento científico general produce un conjunto creciente de paradigmas tecnológicos *potenciales*. En otro trabajo (Dosi, 1984), analizo los mecanismos específicos a través de los cuales unos pocos de estos paradigmas potenciales son realmente desarrollados, aplicados económicamente y con frecuencia se convierten en dominantes. Así es suficiente decir que este proceso de selección depende, en general, de (a) la naturaleza y los intereses de las «instituciones puente» (Freeman, 1982) entre la investigación pura y las aplicaciones económicas (estas instituciones que pueden ser privadas, como Bell Labs, o públicas, son instrumentales en la aplicación de avances teóricos al desarrollo de mecanismos prácticos, incluso bajo incentivos económicos directos remotos o inexistentes); (b) con bastante frecuencia, especialmente en este siglo, factores estrictamente institucionales, tales como agencias públicas (por ejemplo, el ejército); (c) los mecanismos de prueba y error para la exploración de las nuevas tecnologías, a menudo asociadas con la empresa «schumpeteriana»; (d) el criterio de selección de mercados y/o los requisitos tecnoeconómicos de los primeros usuarios (por ejemplo, las especificaciones técnicas de la NASA y el Pentágono en los primeros tiempos de los circuitos integrados, los requisitos de la FDA en el caso de la bioingeniería y las necesidades técnicas de la marina norteamericana en el caso de reactores nucleares).

Una vez que se establece el paradigma tecnológico, los objetivos y los elementos heurísticos de la búsqueda tecnológica con frecuencia tienden a diverger de aquellos de la indagación científica. Esto es parcialmente debido al diferente móvil de las comunidades tecnológica y científica. (Por ejemplo, el desarrollo del primer transistor tenía un profundo interés científico; un transistor «mejor» podría tener un gran interés para el ingeniero, pero muy poco para el científico); sin embargo, actividades científicas concretas (especialmente las de naturaleza aplicada) se convierten a menudo en parte de la búsqueda tecnológica a lo largo de «trayectorias» definidas por un paradigma particular. En otras palabras, parte de la actividad científica se vuelve «endógena» en las actividades de acumulación tecnológica y búsqueda de las empresas con fines de lucro (considérese, por ejemplo, la investigación científica aplicada de empresas químicas y de productos farmacéuticos; en Chesnais, 1986 y Orsenigo, 1988, se puede encontrar un análisis de la relación entre investigación «endógena» y «exógena» en lo que se refiere a este caso).

Todo esto tiene que ver con las oportunidades científicas de la actividad de innovación; sin embargo, ya se ha mencionado anteriormente que, incluso en las tecnologías que se nutren más directamente de los avances científicos, la base de conocimiento subyacente a la búsqueda de innovaciones también incluye formas más específicas de conocimiento técnico. Forzosamente, esto se aplica también a tecnologías con menor dependencia directa de la ciencia. Estas consideraciones tienen implicaciones importantes para las oportunidades tecnológicas.

En primer lugar, el carácter específico, acumulativo y tácito de parte del conocimiento tecnológico implica que tanto las oportunidades de innovación aprovechadas como las capacidades para perseguirlas son en gran medida *locales* y específicas a la empresa. En segundo lugar, la oportunidad de avances tecnológicos de una actividad económica determinada (y, por tanto también la «productividad de la innovación» —si fuéramos capaces de medirla— de la inversión de un dólar en I + D) también se puede esperar que sea específica a, y restringida por, las características de cada paradigma tecnológico y su grado de madurez. Además, las oportunidades de innovación en cada sector económico se verán influidas por el grado en el que se pueda nutrir de la base de conocimiento y los avances tecnológicos de sus proveedores y clientes. La especificidad sectorial de las oportunidades tecnológicas es también consistente con los resultados de Scherer en el sentido de que en una estimación econométrica de las tasas de innovación por empresas e industrias —medida de manera aproximada por las patentes— el 42.5 por ciento de la varianza total debe ser atribuida al componente interindustrial. Frederick Scherer sugiere que es probable que una buena parte de esa varianza esté relacionada con diferencias interindustriales en oportunidad (admitiendo estas diferencias, a pesar de la ausencia de cualquier medida cuantitativa de ellas; Scherer, 1986, capítulo 9); otros análisis confirman tales especificidades sectoriales (por ejemplo, Pakes y Mark Schankerman, 1984).

En muchos aspectos, la idea de que las oportunidades tecnológicas están *limitadas por el paradigma*, es también consistente con la evidencia histórica y las conjeturas interpretativas adelantadas por Simon Kuznets (1930) y Arthur Burns (1934), en relación con un «retraso secular» en el crecimiento del output y la productividad, por producto e industria, derivado —en la terminología que aquí se sugiere— del agotamiento gradual de las oportunidades tecnológicas a lo largo de trayectorias concretas.

Los nuevos paradigmas reforman los esquemas de las oportunidades de progreso técnico en términos tanto del *alcance* de las innovaciones potenciales como de la *facilidad* con la que se alcanzan. Además, generalmente extienden su efecto mucho más allá de su sector de origen y proporcionan nuevas fuentes de oportunidad, a través de flujos input-output y complementariedades tecnológicas, a otras actividades que en caso contrario estarían estancadas. El surgimiento de nuevos paradigmas y la difusión de sus efectos por toda la economía son posiblemente las razones principales por las que en las economías modernas no hemos visto una aproximación a un «estado estacionario». De manera más precisa, se pueden observar dos fenómenos generales que se refuerzan mutuamente. En primer lugar, los nuevos paradigmas tecnológicos han atraído de manera continuada nuevas oportunidades para el desarrollo de productos e incrementos en la productividad. En segundo lugar, una característica bastante uniforme de las trayectorias tecnológicas observadas es su gran alcance para la mecanización, la especialización y la división del trabajo dentro de las plantas, y entre plantas, en las industrias (Nelson y Winter, 1977). Contrariamente a las expectativas pesimistas de los economistas clásicos, y contrariamente también a muchas formalizaciones contemporáneas predominantes de problemas de asignación de recursos en mercados descentralizados, históricamente no han aparecido los rendimientos decrecientes, incluso en aquellas actividades que conllevaban un factor «natural» dado, tal como la

agricultura o la minería. La mecanización, los fertilizantes químicos y los pesticidas, nuevas especies de plantas y animales y mejores técnicas de extracción y purificación de minerales impidieron que la «escasez» se convirtiera en el aspecto funcional dominante de estas actividades. Necesariamente, esto también se aplica al sector manufacturero. De manera similar, los nuevos paradigmas tecnológicos, directa e indirectamente —a través de sus efectos sobre los «antiguos»— generalmente impiden el establecimiento de rendimientos decrecientes en el *proceso de búsqueda* de innovaciones. Basta pensar en los efectos de la biotecnología sobre la eficiencia de la búsqueda de nuevos medicamentos, o los efectos de los controles electrónicos y los computadores en las oportunidades de innovación en la construcción de motores.

Los estudios contemporáneos sobre el progreso y el esfuerzo tecnológicos, apoyan la conjetura de que (a) en cualquier momento del tiempo, las oportunidades tecnológicas varían según los sectores y los grados de desarrollo de los distintos paradigmas bajo los que se trabaja y (b) ésta es una parte importante de la explicación de por qué la inversión en innovaciones varía entre sectores. (Estas hipótesis se ven confirmadas por los estudios teóricos y empíricos de Michael Gort y Richard Wall, 1986). Otra razón —complementaria— para las diferencias interindustriales en la inversión en I + D está relacionada con los diferentes *modos de búsqueda de innovaciones* que conlleva cada paradigma. Por ejemplo, en algunas tecnologías (electrónica, química orgánica, farmacia, aeroespacial) la innovación implica investigación de laboratorio y la prueba de prototipos. En otras tecnologías (por ejemplo, varios tipos de maquinaria no eléctrica) la innovación es mucho más «informal» y con frecuencia está incorporada en mejoras incrementales de diseño y no se registran ni, a menudo, se perciben como el resultado de una «inversión» en I + D.

Rosenberg (1976, págs. 277-79) argumentaba que oportunidades científicas y tecnológicas diferenciadas determinan distintas estructuras de costes del avance tecnológico (por ejemplo, el coste de una mejora de un x por ciento en las elecciones implicadas por una trayectoria tecnológica concreta). La distribución por sectores de las oportunidades tecnológicas está lejos de ser homogénea (Scherer, 1982, vuelto a publicar en 1986; Pavitt, 1984; Louise Dulude, 1983). La aparición de nuevos paradigmas está distribuida de manera desigual entre sectores como también lo están (a) el grado de dificultad técnica para mejorar la eficiencia productiva y el producto y (b) la aptitud tecnológica para innovar, incorporada en las personas y las empresas. Esta distribución de oportunidades y aptitudes, a su vez tampoco es aleatoria, sino que depende de (i) la naturaleza de las actividades de producción sectoriales, (ii) su distancia tecnológica del «núcleo revolucionario» donde se originan los nuevos paradigmas y (iii) la base de conocimiento que apuntala la innovación en cualquier sector. En lo que se refiere a los efectos de los cambios y los niveles de demanda sobre las tasas sectoriales de innovación (la hipótesis del «tirón de demanda» de Schmookler, cuya discusión ha servido como introducción a esta sección), todas las consideraciones precedentes no entran en conflicto con la hipótesis de que, *si todo lo demás se mantiene constante*, el tamaño del mercado y el crecimiento del mercado pueden ejercer una influencia positiva sobre la propensión a la innovación. No obstante, la cláusula del *ceteris paribus* es en realidad crucial, puesto que —se ha argumentado en esta sección— las oportunidades

tecnológicas pueden variar mucho entre sectores y también a lo largo de la historia de tecnologías concretas.

Dado un cierto nivel de oportunidades nocionales para la innovación, el aliciente a comprometer recursos a su descubrimiento y desarrollo dependerá, por supuesto, de los alicientes que los agentes motivados por el lucro perciban en términos de rendimientos económicos esperados. Consideremos ahora la naturaleza de estos incentivos.

4.2. Apropiabilidad de las Innovaciones Tecnológicas

Como sugerían las tradiciones clásica y Schumpeteriana —mas incluso esta última— distintos grados de apropiación privada de los beneficios de la innovación son tanto el aliciente para el proceso innovador como el resultado del mismo. Expresándolo de otra manera, cada tecnología incorpora un equilibrio específico entre aspectos de bien público y características privadas (es decir, apropiables económicamente) (véase Arrow, 1962b; Nelson, 1984; se puede encontrar un análisis empírico en Richard Levin et al. 1984 y Chesnais, 1986). Llámese *apropiabilidad* a aquellas propiedades del conocimiento tecnológico y de los artefactos técnicos, de los mercados y del entorno legal que permiten las innovaciones y las protegen, en grados diversos, de las imitaciones de los competidores, como activos que producen rendimientos.

Las condiciones de apropiabilidad difieren entre industrias y entre tecnologías: Levin et al. (1984) estudian la importancia empírica de mecanismos de apropiabilidad tales como (a) las patentes, (b) el sigilo, (c) el período de delantera, (d) el coste y el tiempo requeridos para la duplicación, (e) los efectos de la curva de aprendizaje, (f) mayores esfuerzos de ventas y servicios. A éstos se deberían añadir formas más obvias de apropiación de la eficiencia técnica diferencial asociada a las economías de escala. En una síntesis extrema, Levin et al. (1984) encuentra que para la mayoría de las industrias, «el período de delantera y las ventajas de la curva de aprendizaje, combinadas con esfuerzos de marketing complementarios, parecen ser el mecanismo principal de apropiación de los rendimientos de la innovación de productos» (pág. 33). Las curvas de aprendizaje, el sigilo y el período de delantera son también los mecanismos de apropiación más importantes para las innovaciones del proceso. Las patentes a menudo se presentan como mecanismos *complementarios* que, sin embargo, no parecen ser el central, con algunas excepciones (por ejemplo, los productos químicos y farmacéuticos). Además, comparando la protección de procesos y productos, se observa que los períodos de delantera y las curvas de aprendizaje son formas relativamente más efectivas de proteger las innovaciones de proceso, mientras que las patentes constituyen una protección relativamente mejor para las innovaciones de producto. Finalmente, parece haber una varianza interindustrial bastante significativa en la importancia de las diversas formas de proteger las innovaciones y en los grados globales de apropiabilidad. Tres cuartas partes de las industrias encuestadas en el estudio señalan la existencia de al menos un medio efectivo de proteger las

innovaciones de proceso y más del 90 por ciento de las industrias señalaban lo mismo en relación a las innovaciones de producto (Levin et al. 1984, pág. 20) (6).

Tómese, como un ejemplo, el caso de la microelectrónica. Aquí se debería distinguir entre los esquemas de apropiabilidad en las tecnologías «núcleo» (semiconductores, computadores, telecomunicaciones, controles industriales) y en las tecnologías a las que se aplica (por ejemplo, máquina-herramienta, bienes de consumo duradero, coches). En el primer caso, la apropiabilidad es una función de la I + D acumulada (Franco Momigliano, 1985); períodos de delantera; con bastante frecuencia, economías de escala en la producción (por ejemplo, semiconductores y computadores) y en I + D (los puntos críticos mínimos son algunas veces muy altos, como en telecomunicaciones; marketing y redes de servicio (como en computadores centrales). Por el contrario, en los sectores donde la microelectrónica se introduce como parte de procesos y productos, los patrones de apropiabilidad siguen correspondiendo en términos generales a las características específicas de los sectores «tradicionales» (más adelante se presenta una taxonomía más detallada). Una fuente adicional de apropiabilidad, sin embargo, está relacionada con la capacidad para internalizar y/o explotar eficientemente las relaciones y sinergias entre la microelectrónica y los procesos que la aplican, por ejemplo, la capacidad de dominar tanto la innovación en equipo electrónico como el diseño de maquinaria mecánica. De hecho, esto último es un ejemplo de un fenómeno más general, tratado por Teece (1986), por el que el control de tecnologías complementarias se convierte en un activo rentable específico a la empresa.

En general, se debe señalar que la naturaleza parcialmente tácita del conocimiento innovador y sus características de apropiabilidad privada parcial, convierten a la imitación, así como a la innovación, en un proceso creativo, que conlleva investigación, que no se diferencia fundamentalmente de la búsqueda de «nuevo» desarrollo y que es costoso económicamente—algunas veces incluso más caro que la innovación original (se puede encontrar evidencia sobre el coste de la imitación en relación al de la innovación en Mansfield, Mark Schwartz y Samuel Wagner, 1981; Mansfield, 1984, y Levin et al. 1984). Esto se aplica tanto a innovaciones patentadas como no patentadas.

4.3. Las Fuerzas Motrices del Cambio Técnico

He argumentado que las oportunidades —procedentes en parte de los avances científicos «exógenos» y parcialmente del conocimiento acumulado endógenamente por las empresas— y las condiciones de apropiabilidad explican los distintos grados de compromiso de las empresas con la innovación. Es importante señalar que lo que se acaba de decir *no* implica que los mecanismos incentivadores determinados por el mercado sean irrelevantes para la propensión a buscar nuevos productos y nuevas

(6) Se pueden encontrar discusiones detalladas de los mecanismos de apropiación en Christopher Taylor y Aubrey Silberston (1973), von Hippel (1978, 1980, 1982) y Terje Christian Buer (1982). Los costes relativos de la innovación frente a la imitación —que claramente es una buena proxy para la apropiabilidad— se estudian en Levin et al. (1984) y Edwin Mansfield (1984). En Sally Wyatt y Gille Bertin (1985) se presenta un estudio detallado a nivel de empresa de las estrategias de patentes.

técnicas. Los niveles y cambios en la demanda (crecimiento y tamaño del mercado, elasticidades renta de los distintos bienes) y los niveles y cambios en los precios relativos, en particular el precio del trabajo en relación al precio de las máquinas (7) y también al precio de la energía, son factores importantes. En realidad, es probable que sean fundamentales, influyendo en (a) la tasa y dirección del progreso técnico, particularmente dentro de los límites definidos por la naturaleza de cada paradigma tecnológico, y (b) la selección de paradigmas potenciales para la exploración y, por tanto, para su eventual aparición y predominio. Mi idea general es, sin embargo, que los esquemas sectoriales observados de cambio técnico son el resultado de la interacción entre varios tipos de alicientes de mercado, por un lado, y las combinaciones de oportunidad y apropiabilidad, por otro.

Como una ilustración de estas ideas, considérese, en primer lugar, el caso de los automóviles. A lo largo de los años setenta había un incentivo claro a producir coches que consumieran poca energía. Además, las condiciones de demanda parecían ser favorables (un mercado muy extenso, aunque no creciera muy rápidamente en países avanzados). Finalmente, las condiciones de apropiabilidad parecían estar a favor (relativamente pocos productores, con redes de distribución extensivas, sacando al mercado un producto complejo que no es tan fácil de imitar). Sin embargo, a pesar de estas condiciones favorables y dejando a un lado un cambio significativo en la composición del output y de la demanda (de coches grandes a pequeños) el progreso en ahorro de energía fue bastante modesto. Las oportunidades técnicas de la trayectoria del motor de combustión interna fueron el mayor factor limitativo. (El ahorro de energía en la producción de coches en EE.UU. fue de hecho bastante sustancial, pero esto se debió a que los productos norteamericanos estaban por debajo de la «frontera de producción eficiente», ya alcanzada por los productores europeos y japoneses).

Por el contrario, se pueden citar ejemplos de compromisos con la investigación y la innovación muy débiles, a pesar de existir oportunidades científicas y tecnológicas significativas, debido a la ausencia de condiciones de apropiabilidad satisfactorias. Uno de estos casos es la investigación en agricultura (hasta la llegada de la bioingeniería) (Nelson, 1986). La estructura atomística de la producción no proporcionaba ningún aliciente para la investigación en variedades de semillas, etc., a los agricultores individuales y la falta de una apropiabilidad suficiente perjudicaba la investigación a nivel de industria. Así pues, la mayoría de la investigación en este campo ha sido financiada públicamente (por ejemplo, en los EE.UU., por el Departamento de Agricultura); las excepciones son las variedades de híbridos estériles, además, por supuesto, de la mayor parte de los inputs de la agricultura—pesticidas, fertilizantes, maquinaria—cuyas condiciones de apropiabilidad han sido similares en términos generales a las existentes en el resto de la industria manufacturera.

Finalmente, se pueden encontrar ejemplos de industrias donde tanto las oportunidades como las condiciones de apropiabilidad son las adecuadas, pero las empresas carecen de las cualificaciones y aptitudes técnicas adecuadas para

(7) Sobre este tema véase Paolo Sylos Labini (1984).

emprender la investigación y la innovación (por lo que sé, este es, por ejemplo, el caso de los productores italianos de cerámica en lo que se refiere a materiales cerámicos avanzados o, de manera más general, de la mayor parte de las empresas en los países en vías de desarrollo).

La conceptualización de la tecnología y del cambio técnico basados en «paradigmas», «postes indicadores», o cualquier nombre que se elija, ayuda también a resolver el largo debate en la literatura sobre innovación acerca de la importancia relativa de los «tirones de demanda» (Schmookler, 1966) frente al «empujón tecnológico» (para una revisión crítica, véase Mowery y Rosenberg, 1979). Como es conocido, en el primer enfoque de la innovación se representa como un proceso de elección/asignación en alguna clase de función de metaproducción (la frontera de posibilidades de innovación), movida por señales de mercado. En el último, la innovación surge de un dominio exógeno (generalmente, es un subproducto de los avances científicos de libre acceso) y portante puede ser tratado paramétricamente; no obstante, la evidencia de tecnologías diversas, como aviación (Constant, 1980; Sahal, 1981), equipamiento y tecnología agrícola (David 1975; Sahal, 1981), química sintética (Freeman, 1982) y semiconductores (Dosi, 1984) está en contradicción con ambas explicaciones.

Frecuentemente se da el caso de que factores relacionados con el entorno (como la demanda y los precios relativos) son instrumentales para conformar (a) los criterios de selección entre nuevos paradigmas tecnológicos potenciales; (b) las tasas de progreso técnico, y (c) la trayectoria precisa de avance, dentro del conjunto permitido por un paradigma dado. Sin embargo, es útil distinguir entre lo que denomino progreso técnico «normal» (es decir, aquellos procesos de innovación dentro de los límites de un paradigma tecnológico *dado*) y progreso técnico «extraordinario» (asociado al desarrollo de nuevos paradigmas). En lo que se refiere al primero, aquí se sugiere que, a diferencia de las explicaciones de tirón de demanda, el conjunto de trayectorias posibles es bastante limitado, restringido por las reglas, imperativos técnicos y alcance específico de cada tecnología (Mowery y Rosenberg, 1979) —que a corto plazo son en buena medida invariantes a las condiciones de mercado.

En un horizonte temporal generalmente más amplio, las condiciones de mercado ejercen una influencia poderosa sobre los resultados de la búsqueda tecnológica, pero la ejercen principalmente estimulando, poniendo trabas y enfocando la búsqueda de nuevos paradigmas tecnológicos. Sin embargo, una vez establecido cada paradigma —incluso si en el origen de su selección se encontraban estímulos de mercado directos— es bastante rígido en cuanto a sus imperativos técnicos básicos, reglas de búsqueda y combinaciones de inputs. Por ejemplo, el número de formas de obtener polímeros de combustibles fósiles está lejos de ser ilimitado, como también lo están las intensidades de los inputs, independientemente de los precios de éstos. Incluso la sustitución entre distintos combustibles (por ejemplo, del petróleo frente al carbón) frecuentemente presentan grandes problemas técnicos. Ciertamente, los cambios de mercado pueden estimular la búsqueda de nuevos productos y nuevas «formas de hacer las cosas». Aquí se sugiere, sin embargo, que los factores del entorno van a tener éxito en cambiar radicalmente las direcciones y procedimientos del progreso técnico sólo *si* y *cuando* sean capaces de fomentar la aparición de nuevos paradigmas (por ejemplo, en el caso

anterior, nuevos materiales que sustituyan a los plásticos, procesos de bioingeniería que produzcan inputs sustitutivos de los hidrocarburos fósiles).

Además, a diferencia tanto de la explicación de tirón de demanda como de las explicaciones «exógenas» del progreso técnico, parece engañoso considerar la innovación simplemente como un proceso *reactivo* (a los precios relativos y a la demanda, en un caso, a nuevas oportunidades exógenas, en el otro). Por el contrario, el progreso técnico está fundamentalmente determinado por un proceso competitivo en el que las empresas continuamente tratan de mejorar sus tecnologías básicas y sus artefactos. Cambien o no las señales de mercado, las empresas intentan perfeccionar sus productos y procesos, mediante mecanismos de prueba y error, de búsqueda e imitación de los resultados ya alcanzados por otras empresas, motivadas por la ventaja competitiva que se espera que proporcionen las innovaciones. Así pues, de acuerdo con esta interpretación, cada cuerpo de conocimiento, experiencia, principios químicos y físicos seleccionados, etc. (esto es, cada paradigma) restringe tanto las oportunidades de progreso técnico como los límites dentro de los que el mercado puede producir los «efectos aliciente», mientras que las condiciones de apropiabilidad motivan a los agentes económicos a explorar estas oportunidades tecnológicas como un mecanismo competitivo rentable. Finalmente, la evolución del entorno económico, a largo plazo, es instrumental para la selección de nuevos paradigmas tecnológicos y, por tanto, en la selección a largo plazo de las direcciones fundamentales y los procedimientos de la búsqueda de innovaciones.

4.4. Factores Incentivos, Esquemas de Cambio Técnico e Irreversibilidad

Cualquiera que sea la naturaleza del estímulo para cambiar productos y progresos de producción ejercido por un entorno económico sobre los agentes microeconómicos, «...estos se encuentran naturalmente impulsados a la búsqueda del horizonte tecnológico... dentro del marco de [sus] actividades presentes y a luchar contra las restricciones más fuertes...» (Rosenberg, 1976, pág. 11). «La mayoría de los procesos productivos mecánicos envían señales que son apremiantes y bastante obvias; en realidad, estos procesos cuando son suficientemente complejos e interdependientes, conllevan una formulación casi compulsiva de los problemas» (Rosenberg, 1976, pág. 11). La discusión precedente sobre la naturaleza «limitada por el paradigma» del cambio técnico permite la extensión de la tesis de Rosenberg a la mayor parte de los procesos de innovación contemporáneos y también la reconcilia con aquellas interpretaciones históricas de diferentes esquemas de innovación sectoriales y nacionales que señalan como una de las causas de las diferentes tasas de progreso técnico los distintos estímulos del entorno, especialmente los precios relativos, abundancia o escasez de recursos naturales (un lugar común es el debate sobre los grados relativos de mecanización en los Estados Unidos e Inglaterra en el siglo XIX; véase Erwin Rothbarth, 1946; Hrothgar Habakkuk, 1962; Peter Temin, 1966; David, 1975; Rosenberg, 1976, especialmente los capítulos 3, 4 y 6).

Como es bien conocido, en un marco de equilibrio general con una representación de la tecnología basada en funciones de producción bien comportadas o conjuntos de

posibilidades de producción convexas, es muy difícil, y con frecuencia lógicamente incoherente, atribuir cualquier sesgo observado en las tasas y direcciones de cambio técnico a sesgos particulares en los precios relativos de los inputs (en David, 1975, se puede encontrar una visión crítica en torno a esto). En última instancia, «siempre existen incentivos económicos para reducir costes en las actividades empresariales y precisamente porque tales incentivos son tan difusos y generales, no explican demasiado la *secuencia concreta y el desarrollo (timing) de la actividad de innovación*» (Rosenberg, 1976, pág. 110); sin embargo, incentivos específicos, unidos a la naturaleza local, acumulativa y limitada por el paradigma del aprendizaje tecnológico, pueden explicar tasas y direcciones de avance tecnológico concretas (David, 1975, 1986a y 1986b; Nelson y Winter, 1982; Anthony Atkinson y Joseph Stiglitz, 1969; W. Brian Arthur, 1983, 1988).

Para ilustrar esta idea, considérese la siguiente historia. Supóngase que en los inicios de una tecnología imaginaria, había conjuntos de posibilidades de producción con todas las propiedades adecuadas de continuidad, convexidad, etc. Entonces, la gente comenzó a aprender en una dirección particular (para simplificar, supongamos que esta dirección fue iniciada por un shock exógeno en los precios relativos). Con la ayuda de la acumulación del conocimiento tecnológico y de las habilidades de la búsqueda, las capacidades tecnológicas *locales* (esto es, las capacidades asociadas con la vecindad de combinaciones de inputs concretas y de características de outputs) se desarrollaron más que proporcionalmente en relación al crecimiento «general» del conocimiento en otras partes nocionales del conjunto de posibilidades de producción. Así pues, todo lo demás constante, el progreso tecnológico se volvió más sencillo en esa dirección que en otras. Entonces, con o sin shocks adicionales, la gente procedió en esta dirección de búsqueda, que, a su vez, siguió aumentando las habilidades y el conocimiento específicos. No es difícil ver la moraleja de la historia. Se acaba por tener rendimientos dinámicos crecientes a lo largo de trayectorias específicas que canalicen también la respuesta a los incentivos concretos a innovar que proporciona el entorno. (Un equivalente formal de esta historia se puede encontrar en Arthur, 1983, 1988).

Una implicación fundamental de esta visión es que, incluso cuando el cambio técnico es «provocado», digamos, por cambios en los precios relativos, las nuevas técnicas desarrolladas como consecuencia es probable que sean o se conviertan en superiores a las antiguas, independientemente de los precios relativos — inmediatamente, como en el caso de varias innovaciones basadas en la microelectrónica (Soete y Dosi, 1983) o después de algún período de aprendizaje como en maquinaria agrícola (David, 1975). En otras palabras, si hubieran existido con anterioridad, también hubiesen sido con frecuencia adoptadas a los «antiguos» precios relativos. Dicho de otra manera, el progreso técnico tiene fuertes *características de irreversibilidad* (8).

(8) En David (1975, 1986b) se pueden encontrar explicaciones microeconómicas de los aspectos locales e irreversibles del aprendizaje tecnológico. Sobre bases más generales, el estudio de Anne Cárter (1970) sobre los coeficientes tecnológicos de la economía norteamericana muestra la superioridad inequívoca de los coeficientes de 1958 en relación a los coeficientes de 1947 y el predominio de la tendencia a ahorrar mano de obra sobre otras variaciones de coeficientes de inputs. Mi informado parecer es que esto continúa siendo cierto hoy en día.

Consideremos con mayor detalle el ejemplo de la microelectrónica. Como se analiza se analiza con mayor extensión en Freeman y Soete (1985), Momigliano (1985), Soete y Doci (1983) y Benjamín Coriat (1983, 1984), tecnologías de producción basadas en la electrónica son (a) ahorradoras de mano de obra; (b) ahorradoras del capital fijo (es decir, con frecuencia inducen una caída en la proporción capital/output; en Soete y Dosi, 1983, se puede encontrar evidencia sectorial para el Reino Unido); (c) ahorradoras de capital circulante (es decir, la optimización de los flujos de producción permite un descenso en las existencias de inputs intermedios por unidad de output); (d) mejoran la calidad (es decir, aumentan la precisión de los procesos de producción, permiten controles de calidad, etc.); (e) son ahorradoras de energía (en la medida en que la utilización de energía generalmente es también una función de movimientos mecánicos de las diversas maquinarias, la sustitución de partes electromecánicas por equipo informático reduce la utilización de energía). Tomando todas estas características conjuntamente, está claro que las técnicas de producción basadas en la electrónica son en general superiores inequívocamente a las electromecánicas, independientemente de los precios relativos. Esto es, las nuevas fronteras salario/beneficio asociadas a las nuevas técnicas no se intersectan en general con las «antiguas» para ningún valor positivo (véase Dosi, Pavitt y Soete, 1988). Hay que señalar que este ejemplo ilustra también los nexos intersectoriales complejos en el proceso de innovación y su influencia en el asunto de la «exogeneidad frente a la endogeneidad» en el cambio técnico. En el ejemplo de las tecnologías en electrónica, técnicas y componentes de equipo inequívocamente «superiores» aparecen, para diversos sectores usuarios, como «caídas de un dominio exógeno» (véase la sección 4.3 referente a las explicaciones de «empujón tecnológico» para el cambio técnico). De hecho, se generan a través de procesos de exploración de oportunidades tecnológicas *endógenas en algún otro sector industrial* (en el ejemplo que estamos utilizando, semiconductores, computadores, controles industriales, etc.). Además, incluso en estos casos, la utilización plena y eficiente de estas tecnologías potencialmente superiores (por ejemplo, la automatización electrónica frente a la automatización electromecánica) descansa en un duro proceso de aprendizaje por parte de los usuarios, que se ve favorecido/perjudicado por la capacidad tecnológica de los propios usuarios y las condiciones de mercado en las que operan. (Este es un asunto que se relaciona también con la economía de la difusión de la innovación y que es imposible discutir extensivamente en este trabajo. Se puede encontrar evidencia histórica adicional en Rosenberg, 1975, 1982; un intento altamente estilizado de modelizar estos procesos de aprendizaje se encuentra en Dosi, Orsenigo y Gerald Silverberg, 1986).

En otros casos, las propiedades de irreversibilidad de la innovación aparecen más lentamente. Al principio, el proceso de desarrollo/difusión de nuevas tecnologías puede conllevar de hecho asuntos de elección de técnicas (véase David 1975 sobre maquinaria agrícola). A largo plazo, el resultado de la rivalidad entre antiguas y nuevas tecnologías claramente depende también de las «oportunidades latentes», implícitas en los dos paradigmas alternativos; no obstante, el grado en el que estas oportunidades son percibidas, explotadas y expandidas es probable que muestre características irreversibles, acumulativas y dependientes de la trayectoria (se pueden encontrar discusiones y ejemplos en David, 1975, 1986b; Arthur, 1983). El aprendizaje mediante la

práctica y mediante la utilización, las mejoras incrementales de las nuevas tecnologías y las economías de escala en su producción tienden a mejorar su comportamiento y a disminuir sus costes. Además, si se adopta, un nuevo producto o un nuevo proceso atrae entonces esfuerzos de I + D hacia sí mismo, lo que, a su vez, tiende a mejorar los costes y los resultados todavía más. Como consecuencia, cuando la nueva trayectoria tecnológica se establece, es probable que *domine* a la antigua (en el sentido de que es económicamente superior, independientemente de los precios relativos).

Cualquiera que sea el caso, es importante distinguir entre los factores que *inducen, estimulan o restringen* el cambio técnico de los *resultados* de los cambios en sí mismos. Como se analiza en Dosi, Pavitt y Soete (1988), basándose en Rosenberg (1976), los mecanismos de incentivos se relacionan con un amplio conjunto de factores, incluyendo (a) cuellos de botella tecnológicos en actividades interrelacionadas; (b) escaseces de inputs críticos; o, a la inversa, (c) abundancia de inputs concretos (por ejemplo, energía, materias primas); (d) shocks importantes en precios o en ofertas; (e) cambios en la composición y tasa de crecimiento de las demandas; (f) niveles y cambios en precios relativos (sobre todo, como ya se ha mencionado, el precio relativo de la máquina y la mano de obra); (g) esquemas de conflicto industrial. De dónde provenga el estímulo crítico depende de la naturaleza de las tecnologías y del contexto económico e institucional de cada país. Se puede encontrar mucha evidencia sobre el papel de cada uno de estos factores (evidencia y referencias sobre distintas tecnologías y países se hallan en Rosenberg, 1976, 1982; Dosi, Pavitt y Soete, 1988; Ergas, 1984). Sin embargo, independientemente de cuál sea el factor desencadenante inmediato, aquí se sugiere que los esquemas de innovación tienden a seguir «trayectorias» bastante irreversibles, definidas por conjuntos específicos de conocimiento y experiencia. Además, la irreversibilidad de los avances tecnológicos también significa que, utilizando el lenguaje neoclásico, los cambios *de* los conjuntos de posibilidades de producción es probable que *dominen* a los cambios *dentro* de un conjunto de posibilidades de producción dado. De manera más precisa, en cualquier momento dado, en lugar de un conjunto bien comportado es probable que observemos sólo un punto (o muy pocos) correspondiendo a las técnicas más eficientes, mientras que, a lo largo del tiempo, el proceso dominante de cambio llevará consigo mejoras en estas (muy pocas) técnicas más eficientes, en lugar de procesos de sustitución interfactorial «estática». Admito que esta conjetura interpretativa va a requerir más evidencia y contrastes (lo cual no será fácil) para corroborar sus niveles de generalidad empírica. (Y hay asuntos sutiles, pero normativamente cruciales. Por ejemplo, en la evidencia histórica, ¿cuán irreversibles y locales son los procesos de aprendizaje? ¿Cuán importante es el fenómeno de «rendimientos crecientes dinámicos»? ¿Cómo se puede medir, con fines normativos, la probable aparición de no convexidades, a pesar de la imposibilidad obvia de realizar experimentos históricos?). En cualquier caso, mi valoración sobre el estado del arte en estudios sobre innovación sugiere, como mínimo, que dependencias de trayectoria significativas, no linealidades y procesos de aprendizaje acumulativo y específico deberían ser considerados seriamente también a nivel de las representaciones teóricas generales.

Finalmente, los aspectos de irreversibilidad del progreso técnico tienden a verse reforzados por la aparición probable de varios tipos de externalidades, infraestructuras

específicas e instituciones asociadas con la generación y/o explotación de habilidades específicas. Ahora consideraré estos últimos aspectos de la innovación.

4.5. Las Externalidades del Proceso de Innovación

Ya se ha mencionado anteriormente que la tecnología conlleva generalmente aspectos «públicos» y «privados». La apropiabilidad de los rendimientos económicos de la innovación se relaciona claramente con estos últimos. Por el contrario, los aspectos «públicos» toman esencialmente dos formas.

En primer lugar, existen elementos de «bien libre» en el progreso tecnológico, que provienen principalmente del libre flujo de información, publicaciones, etc. Como ya se ha mencionado, la teoría económica tiende a suponer que éste es el aspecto dominante de la tecnología (excepto los derechos otorgados institucionalmente para la apropiación, como los derechos de patente). Por supuesto, no sugiero que los modelos como los de Arrow (Arrow, 1962a), apunten a una equivalencia tan estrecha entre la tecnología y la información; sin embargo, es justo decir que ha servido para proporcionar cierta legitimidad a varias formulaciones contemporáneas que lo han asumido como una «hipótesis de trabajo». El análisis precedente de las características de la tecnología y el progreso técnico implica un rechazo de tal punto de vista al considerarlo, al menos, como incompleto.

Además, las características «públicas» de la tecnología están relacionadas con los flujos de información y las *interdependencias no de mercado* entre sectores, tecnologías y empresas y toman la forma de complementaridades tecnológicas «sinergias», corrientes de estímulos y restricciones que no corresponden completamente a los flujos de bienes. Por ejemplo, el conocimiento y la experiencia sobre procesos químicos continuos puede permitir innovaciones tecnológicas en el tratamiento de alimentos incluso cuando este último no lleve ningún input químico. Las relaciones estrechas entre productores y usuarios de equipamiento industrial (como intercambios informales de información, intercambios de especificaciones técnicas y movilidad de la mano de obra) son con frecuencia un elemento fundamental en el proceso de innovación incluso si en ocasiones no tiene lugar ninguna transacción económica; en sus orígenes, la producción de bicicletas se nutrió del conocimiento de la producción de pistolas, aún cuando obviamente ninguno de los dos productos es un output o un input de la otra actividad. Todos estos fenómenos representan un conjunto estructurado de externalidades tecnológicas que puede en ocasiones constituir un *activo colectivo* de grupos de empresas/industrias dentro de países o regiones (véase Bengt-Ake Lundwall, 1984 y 1988), o, en caso contrario, tiende a internalizarse en compañías individuales (Teece, 1982 y Pavitt, 1986a). Por «conjunto estructurado» de externalidades entendemos algún tipo de esquema consistente y a veces jerárquico que liga a distintas industrias y tecnologías (como diferentes clases de producción de maquinaria y usuarios y productores de tipos concretos de equipamiento). En otras palabras, las oportunidades y los cuellos de botella tecnológicos (Rosenberg, 1976) y la experiencia y destreza incorporada en la gente y las organizaciones, las capacidades y «memorias» desbordándose de una actividad económica a otra tienen a formar *condiciones de contexto* que (i) son específicas a cada país, a cada región o incluso a cada

empresa y (ii) como tales, determinan distintos incentivos/ estímulos/restricciones a la innovación, para cualquier conjunto dado de señales estrictamente económicas.

Relacionado con esto, el progreso tecnológico a lo largo de una trayectoria está ligado a (a) el desarrollo de *infraestructuras específicas*; (b) *economías de escala de sistema*; (c) *tecnologías complementarias*, y (d) *normas técnicas particulares* que se basan en esquemas específicos de innovación. David (1986) y Hughes (1982), por ejemplo, discuten la interrelación entre el desarrollo de la infraestructura de red de la electricidad y lo que, en la terminología aquí propuesta, son trayectorias tecnológicas basadas en la electricidad. Otros ejemplos obvios de «tecnologías de infraestructura» que se comportan como una externalidad para un amplio rango de actividades de innovación son los sistemas de transporte y las telecomunicaciones. Arthur (1983) y David (1985) ilustran los dos últimos puntos en el caso del desarrollo del teclado QWERTY en las máquinas de escribir (QWERTY se refiere a las primeras letras superiores en el teclado americano). A pesar de haber sido diseñado para resolver problemas que desarrollos subsiguientes han resuelto y aunque ya no es el teclado óptimo, el modelo QWERTY ha seguido siendo el dominante como resultado de desarrollos acumulativos: la destreza específica de los mecanógrafos en QWERTY impulsó los modelos QWERTY en el lado de la producción, lo que a su vez incrementó el incentivo para adquirir destreza mecanografiando con QWERTY. Además, la interrelación entre las distintas tecnologías que componen un sistema tecnológico o un producto complejo nos ayudan a comprender por qué las empresas y los países se pueden ver «atados» a tecnologías —véase el trabajo clásico de Marvin Frankel, (1956), ligando esta idea a temas de desarrollo. Finalmente, Teece (1982, 1986) analiza un asunto similar desde el punto de vista de las estructuras de las empresas y la dirección estratégica, identificando el papel crucial de las tecnologías complementarias internalizadas en el comportamiento competitivo de las empresas—.

Las interdependencias no de mercado y las condiciones de contexto son, en grados distintos, el resultado *involuntario* de procesos descentralizados, pero irreversibles, de organización del entorno (un ejemplo obvio es Silicon Vallery) y/o el resultado de estrategias explícitas de instituciones públicas y privadas.

La evolución a lo largo del tiempo y las diferencias espaciales en estas interdependencias no de mercado también representan un nexo importante entre los estudios de innovación y la economía regional del cambio técnico (véase Edward Malecki, 1983 y Morgan Thomas, 1985). Cuando estas externalidades tecnológicas —en forma de infraestructuras específicas, disponibilidad de cualificaciones, aptitudes incorporadas en empresas locales, información más sencilla sobre inputs de nueva producción— se reproducen a lo largo del tiempo como una clase de rendimientos crecientes dinámicos (Arthur, 1986), también contribuyen a explicar la diferenciación en las capacidades tecnológicas, tasas de innovación y tasas de difusión entre regiones y países (véase Aldred Thwaites y Ray Oakey, 1985). En este campo, se ha desarrollado una original tradición de estudios particularmente en Francia: el análisis de «*filières*» («ramificaciones»), ligando grupos de industrias y tecnologías a través de flujos input-output y complementariedades tecnológicas, es una manera prometedora de relacionar

el proceso microeconómico de innovación con la evolución del entorno económico más amplio (sobre «filiéres», véase Joel Toledano, 1978; Alexis Jacquemin y Michael Rainelli, 1984; Richard Arena, Michael Rainelli y Andre Torre, 1984; Ahud Zuscovitch, 1984; Patrick Cohendet, Regis Larue de Tournemine y Zuscovitch, 1982; Jean-Louis Truel, 1980) (9).

4.6. **Determinantes y Esquemas de la Inversión en Innovación: Hacia una Taxonomía Sectorial**

Resumamos la discusión de las cinco subsecciones precedentes. Como se analiza en detalle en Nelson (1986, 1988), el proceso de innovación en las economías occidentales incorpora equilibrios complejos y variados entre formas de conocimiento públicas y de propiedad privada y diferentes combinaciones entre oportunidades de innovación nocionales, las capacidades de la empresa para atrapar estas oportunidades y los incentivos económicos para hacerlo (relacionados con los mecanismos de apropiabilidad, condiciones de mercado, precios relativos, condiciones socioeconómicas en sentido amplio tales como las relaciones laborales). Además, las oportunidades específicas que se aprovechan, los mecanismos de apropiabilidad que se desarrollan y las capacidades existentes que se utilizan tienden a crecer juntas. Es probable que surjan fenómenos de histéresis: La exploración de tecnologías particulares y el desarrollo de métodos concretos de resolución de problemas aumentan las cualificaciones de las empresas y las industrias en estas direcciones específicas y por tanto aumenta el incentivo para hacerlo así también en el futuro. Estas formas de rendimientos crecientes dinámicos específicas a la tecnología tienden a «encerrar» los procesos de cambio técnico dentro de trayectorias particulares, llevando consigo un reforzamiento mutuo (una retroalimentación positiva) entre un cierto esquema de aprendizaje y un esquema de asignación de recursos a actividades de innovación donde el aprendizaje ya ha tenido lugar en el pasado (se puede encontrar una discusión general de estos procesos dependientes de la trayectoria en David, 1985, 1986a, y Arthur, 1983, 1988).

De acuerdo con Nelson (1986), se surge aquí que las distintas combinaciones entre estos factores explican «las estructuras institucionales ricas y abigarradas que soportan el avance técnico y que se han desarrollado en los países capitalistas» (pág. 1). También constituyen la complicada constelación de factores mediante los que un grupo significativo de economistas contemporáneos intentan explicar la velocidad y características del progreso tecnológico, así como sus cambios internacionales, interindustriales e intertemporales. Ciertamente, aún cuando esta perspectiva parece ser el enfoque más prometedor de que disponemos y parece ser consistente con algunos bloques de evidencia, se necesita mucho más trabajo empírico e histórico para establecer su validez y la manera en que operan los distintos elementos de la nueva perspectiva. Un primer paso es generalizar a partir de algunas características empíricas comunes de tecnologías y sectores (lo que hago más tarde) y, entonces, tratar

(9) El concepto de «filiéres» se superpone parcialmente con las ideas de Hirschman sobre nexos «retroactivos» y «de avance» (Albert Hirschman, 1958).

tentativamente de «asociar» estas características a los aspectos de las tecnologías y procesos de innovación que se han discutido hasta el momento (véase la sección 6).

Como se ha mencionado antes, Scherer ha desarrollado recientemente una matriz intersectorial del origen y la utilización de la I + D en la economía norteamericana, basada en la generación y uso intersectorial de una amplia gama de patentes (Scherer, 1982). Los ratios sectoriales de utilización (directa e indirecta) de I + D respecto a la I+D realizada se muestran en la última columna del cuadro n.º 3. A partir de una base de datos sobre innovación en el Reino Unido, desde 1945 hasta 1979, recogida en la Unidad de Investigación de Política Científica de la Universidad de Sussex, Pavitt (1984) ha desarrollado una taxonomía de sectores de producción/utilización de innovaciones. Los dos conjuntos de datos parecen ser complementarios en muchos aspectos y profundizan en la «autonomía» de los sistemas económicos contemporáneos y su centro principal de generación de innovaciones (el cuestionario de Yale —parcialmente discutido en Levin et al. (1984) y resumido en Nelson (1986)— añade evidencia adicional y consistente en términos generales). Pavitt (1984) identifica cuatro grandes grupos de industrias manufactureras:

- 1) *Sectores «Dominados por la Oferta»*. Las innovaciones son principalmente innovaciones de proceso, incorporadas en el equipo capital e inputs intermedios y originada por empresas cuya principal actividad se encuentra fuera de estos sectores. Las industrias dominadas por la oferta incluyen la agricultura, sector textil, confección, calzado, cuero, imprenta y edición, madera y los productos metálicos más simples. En estos sectores el proceso de innovación es principalmente un proceso de difusión de los bienes de capital más eficientes y de inputs intermedios innovadores (como las fibras sintéticas), mientras que las oportunidades generadas endógenamente son bastante limitadas como también lo son los gastos en I + D. La base de conocimiento de estas tecnologías tiende a estar relacionada con las mejoras incrementales en el equipo producido en otro lugar y/o con su utilización eficiente y con innovaciones organizativas. El carácter acumulativo y la apropiabilidad de las capacidades tecnológicas están relativamente restringidas y en general las empresas no son muy grandes (con algunas excepciones en aquellas actividades caracterizadas por economías de escala en la producción significativas, como es el caso de parte del sector textil, o en las redes de distribución y marketing, como en el sector de la confección).
- 2) *Sectores de «Oferta Especializada»*. Las actividades de innovación se relacionan principalmente con innovaciones de producto que penetran en la mayoría de los demás sectores como factores de capital. Las empresas tienden a ser relativamente pequeñas, a operar en estrecho contacto con sus usuarios y a incorporar un conocimiento especializado y parcialmente tácito en diseño y construcción de equipo. Generalmente, este grupo incluye la ingeniería mecánica e instrumental. Las oportunidades para la innovación son generalmente abundantes, pero a menudo se explotan mediante actividades «informales» de mejora de diseño (por lo tanto la I + D formal es con frecuencia bastante baja). Las cualificaciones idiosincrásicas y acumulativas hacen que la apropiabilidad

sea relativamente alta (piénsese en la ventaja secular de los fabricantes alemanes de máquina-herramienta).

- 3) *Sectores de Escala Intensiva*. La innovación se refiere tanto a procesos como a productos y las actividades de producción generalmente implican el manejo de complejos sistemas (y, frecuentemente, complejos productos manufacturados); las economías de escala de diversos tipos (en producción y/o diseño, I + D, redes de distribución) son significativas; las empresas tienden a ser grandes, a producir una proporción relativamente alta de sus propias tecnologías de proceso, a menudo dedican una proporción de recursos relativamente alta a la innovación y tienden a integrarse verticalmente y producir su propio equipamiento. Este grupo incluye equipos de transporte, varios bienes de consumo duradero eléctricos, producción de metal, alimentación, cristal y cemento.
- 4) *Sectores «Basados en la Ciencia»*. La innovación está directamente ligada a los nuevos paradigmas tecnológicos hechos viables por los avances científicos; la oportunidad tecnológica es muy alta; las actividades de innovación se formalizan en laboratorios de I + D; las inversiones en búsqueda de innovaciones son bastante altas; una gran proporción de sus innovaciones de producto penetran en una amplia gama de sectores como capital o inputs intermedios; las empresas tienden a ser grandes (con la excepción de las nuevas empresas «Schumpeterianas» y productores altamente especializados). Este grupo incluye las industrias de electrónica, la mayor parte de las industrias de química orgánica, medicamentos y bioingeniería. (Las actividades aeroespaciales y otras relacionadas con el ejército comparten con los sectores basados en la ciencia la importancia de los inputs de los avances científicos y de la investigación formalizada y al mismo tiempo comparten con los de producción intensiva la importancia de las economías de escala y de la organización eficiente de sistemas de producción complejos).

Los ejercicios de taxonomía de las diferencias intersectoriales en las fuentes, procedimientos e intensidad de la búsqueda de innovaciones son bastante nuevos y queda por hacer aun una gran cantidad de trabajo comparativo; sin embargo, mencionaré brevemente la importancia de estos análisis, tanto desde el punto de vista normativo como positivo. En lo que se refiere al primero, el hecho de que las innovaciones estén ubicadas en distintos lugares dentro de la «maquinaria capitalista» (Nelson, 1986, pág. 20), requiere un mejor entendimiento de los factores que tienden a concentrar las oportunidades de innovación y las inversiones en unas actividades más que en otras. Los esfuerzos de clasificación contribuyen a este entendimiento y también ayudan a responder preguntas comparativas del tipo: ¿Cómo han llegado a ser Suecia y Alemania tan buenas en ingeniería mecánica? ¿Tiene alguna relación con su estructura productiva y competitividad internacional? ¿Por qué los Estados Unidos son relativamente fuertes en las industrias basadas en la ciencia? (en Pavitt, 1988; Pavitt, Dosi y Soete, 1988, y Ergas, 1984, se intenta dar algunas respuestas tentativas a estas preguntas comparativas). Desde el punto de vista normativo, una comprensión más a fondo de los esquemas intersectoriales de la innovación requiere dirigir la atención a cuestiones de importancia para las políticas industriales y de desarrollo. Dado el objetivo

de una aceleración de la tasa de progreso técnico, ¿es cierto que los incentivos de I + D son apropiados para las industrias basadas en la ciencia, pero no para las industrias «dominadas por la oferta»? ¿Es cierto que el desarrollo de un gran mercado interno es importante para las industrias de escala intensiva pero no tanto para las de «oferta especializada»?

4.7. Algunas conclusiones

En esta sección me he centrado en las amplias diferencias existentes en cuanto a oportunidades, incentivos, inversiones en I + D y procedimientos de innovación entre las industrias. El núcleo del argumento ha sido que estas diferencias existen, son importantes y ayudan a explicar la estructura interna de la compleja maquinaria que en las economías modernas no planificadas centralmente continuamente genera nuevos productos y procesos de producción. Además, las diferencias intertecnológicas en oportunidad, condiciones de apropiabilidad, bases de conocimiento y procedimientos de búsqueda contribuyen a explicar lo que Nelson (1986) denomina el «problema de la asignación institucional», es decir, la asignación dentro del sistema socioeconómico de la investigación específica y las actividades de desarrollo a agentes concretos, por ejemplo, ¿por qué ciertas actividades las emprenden las instituciones sin fines de lucro y otras las empresas?, ¿por qué algunos sectores producen sus propias innovaciones de proceso y otros las adquieren en el mercado (se puede encontrar más sobre esto último en Williamson, 1985; Buer, 1982) y ¿por qué algunas actividades económicas contribuyen con una cuota desproporcionada de innovaciones mientras que otras son meramente receptoras? Relacionado con esto, la estructura input-output de la economía, junto con los flujos de información y los flujos intersectoriales de conocimiento incorporado en las personas y las organizaciones, difunde a través del sistema los efectos económicos de innovaciones concretas, ampliando así las oportunidades para el crecimiento de la productividad y el desarrollo de nuevos productos.

No obstante, hay un nivel de análisis aún más afinado. Después de todo, las características específicas a la industria son promedios de distribuciones entre empresas. El hecho de que estos promedios muestren esquemas reconocibles que son relativamente estables a lo largo del tiempo y entre países, implica la estabilidad relativa de los factores específicos a la industria y específicos a la tecnología antes analizados. Aún así, se debe explicar también la varianza dentro de cada industria en inversiones en innovación y los grados de éxito en la innovación. Además, la innovación y la imitación modifican continuamente el comportamiento relativo y la competitividad de las empresas, afectando así también la dinámica de las estructuras industriales. Los siguientes aportados se ocuparán de estos temas.

5. DIFERENCIAS INTRASECTORIALES EN INNOVACIONES Y COMPORTAMIENTO ECONÓMICO

Una de las características más comunes de los estudios industriales es la descripción de diferencias significativas entre empresas, no sólo en términos de tamaño,

sino también en términos de cualificaciones técnicas, estrategias de producto-mercado, grados de éxito competitivo y de innovación, costes de producción y rentabilidad.

Dicho de otra manera, de los análisis empíricos no parece emerger nada similar a la «empresa representativa» estilizada en la teoría económica (se puede comprobar esto consultando una muestra aleatoria de artículos en, por ejemplo, la *Harvard Business Review* y la *California Management Review*, o con estudios industriales más detalladas, Alan Altshuler et al. 1984, sobre automóviles, Dosi, 1984 y Franco Malerba, 1985, sobre semiconductores y Enos, 1962, sobre refinado de petróleo). En relación a la discusión precedente, surge la pregunta de cuáles son las relaciones entre las características de la innovación analizadas anteriormente, por una parte, y las diferencias intersectoriales en las estructuras de las empresas (por ejemplo, en tamaño) y comportamiento (por ejemplo, tasas de innovación y costes de producción), por otra. En esta sección me centro principalmente en las características generales de las diferencias *intrasectoriales*, *entre empresas*, en innovación y más generalmente, en comportamiento económico, dejando para la siguiente sección una explicación más detallada de los *procesos* que las generan. La referencia empírica sobre la que se basa esta sección es bastante de sentido común, por ejemplo, el hecho de que las empresas en general son bastante diferentes en términos de varios indicadores de resultados y también de comportamiento, estructuras y estrategias. Sin embargo, estas ideas simples podrían ser conceptualizadas de una manera útil en el sentido de que una buena clasificación podría ayudar, en primer lugar, a proporcionar hipótesis empíricas bien construidas para la modelización teórica y, en segundo lugar, a moderar la aceptación inocente —extendida en la literatura económica— de empresas representativas, «condiciones de equilibrio de la producción», «identidad tecnológica de los productores», y otras. Así pues, en lo que sigue, me propongo hacer una clasificación de los factores que explican las diferencias *intrasectoriales*, tanto en estructuras (por ejemplo, tamaño) como resultados (por ejemplo, grados de innovación).

Comienzo por las diferencias intrasectoriales entre empresas en lo que se refiere a inversiones en innovación medidas por sus gastos en I + D.

5.1. Diferencias en I+D entre Empresas

En Economía Industrial ha habido un largo debate sobre la relación entre el tamaño de la empresa y la innovación (tanto inversiones en I + D como output de las innovaciones, generalmente patentes). No entraré en los detalles de la discusión que conciernen al significado de medidas concretas (se ha dicho que las patentes infraestiman el output de innovación de las grandes empresas —que parecen tener una propensión más baja a patentar; los gastos en I+D es probable que infraestimen la contribución a la innovación de las empresas pequeñas— que en ocasiones innovan de una manera «informal», etc.) y los grados de contrastación empírica de la impropriamente llamada *hipótesis Schumpeteriana* (es decir, que el gran tamaño es más favorable a la innovación y que la concentración y el poder de mercado afectan a la propensión a innovar). Se pueden encontrar análisis y resultados (parcialmente

contradictorios) en Scherer (1988), Soete (1979), Griliches (1984a), Griliches y Pakes (1986), Kamien y Schwartz (1982), Cohen y Levin (1988) y Pavitt, Robson y Townsend (1987). Para los fines de este trabajo, es suficiente con mencionar tres irregularidades importantes que resultan de los estudios empíricos.

En primer lugar, parece haber dentro de cada industria una relación *aproximadamente* log-lineal entre el tamaño de la empresa y los gastos en I+D (o las patentes). Esa es, sin embargo, una aproximación bastante ruda. Una inspección más detallada, sujeta a las diferencias entre industrias y a diferentes medidas de innovación, muestra que relaciones cuadráticas y cúbicas entre tamaño (es decir, ventas o empleo) e innovación (gastos de I+D, empleo en I + D, número de patentes o número de innovaciones) constituyen un mejor ajuste; no obstante, independientemente de la forma del modelo econométrico, las estimaciones muestran, *aproximadamente*, rendimientos no decrecientes de las proxis de innovación respecto al tamaño de la empresa (Scherer, 1986, argumenta a favor de menores grados de innovación para los grupos de tamaño mayor; Soete, 1979, utilizando datos parcialmente diferentes, muestra lo contrario para, aproximadamente, un tercio de su muestra).

En segundo lugar, la distribución por tamaños de las empresas innovadoras *dentro de* los sectores depende de las características tecnológicas de esos sectores. Pavitt, Robson y Townsend (1987), utilizando la muestra de innovación SPRU mencionada anteriormente, concluye que en los sectores de grandes posibilidades tecnológicas (química, electricidad/electrónica) las empresas innovadoras «están fuertemente representadas entre aquellas que son muy grandes y aquellas que son pequeñas» (pág. 16). Por el contrario, en ingeniería mecánica y maquinaria (aproximadamente, los sectores de «oferta especializada» identificados antes) una proporción relativamente mayor de innovación es llevado a cabo por pequeñas empresas (que, sin embargo, son «pequeñas» en relación a la distribución por tamaños del universo de empresas manufactureras, pero no necesariamente en relación al mercado específico nacional o internacional en el que operan).

En tercer lugar, independientemente de la proxy estadística para la innovación (y en particular, independientemente de la elección entre una medida de inversión o de output), después de tener en cuenta el efecto del tamaño empresarial, aún se observa generalmente una varianza intrasectorial entre empresas no explicada, tanto en términos de inversiones en I + D como, e incluso más, en términos de output innovador. (Además, nótese que una proporción significativa de empresas en cada sector *no* patentan y *no* producen innovaciones significativas; se puede encontrar evidencia en John Bound et al. 1984).

Hay tres dificultades obvias para la interpretación de estos resultados. La primera se refiere al hecho de que las proxis estadísticas para la innovación no pueden capturar aquellos aspectos del cambio técnico, discutidos con anterioridad, basados en el aprendizaje «informal» (por tanto, independientes de las inversiones medidas en I + D) y/o que reportan innovaciones incrementales (por tanto, no registradas en patentes o aumentos discretos de la innovación). La segunda es que parte (generalmente indeterminada) de la varianza *intersectorial* en innovación debe atribuirse a diferencias

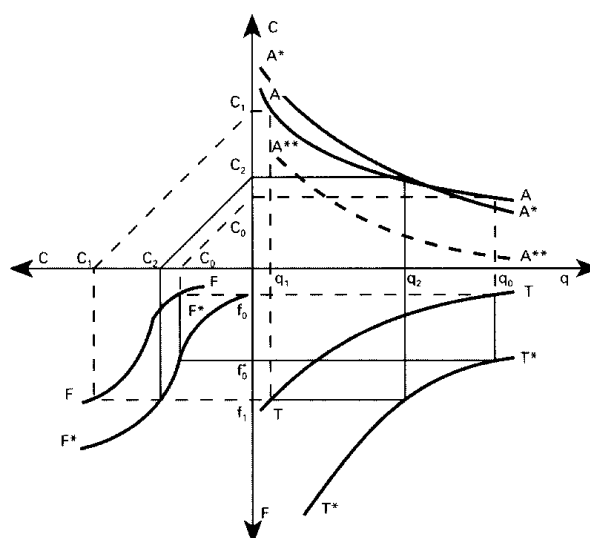
en las líneas de negocios (y, por tanto, en oportunidades y apropiabilidades) que están, no obstante, clasificadas estadísticamente dentro del «mismo» sector. Tercero, algunas empresas pueden que no patenten o innoven, pero aún así llevan a cabo una I + D sustancial, dedicada simplemente a mantenerse al nivel de los competidores y adaptarse a lo que están haciendo.

A pesar de tales limitaciones, estas regularidades empíricas contienen un mensaje que, desde mi punto de vista, es consistente con las características del proceso de innovación antes mencionadas. De manera más precisa, las diferencias intra e intersectoriales en la distribución por tamaños de las empresas en general y en particular de las empresas innovadoras, están ligadas a las características de diferentes paradigmas tecnológicos y la forma en que las capacidades para la innovación se desarrollan y pueden ser explotadas competitivamente por empresas individuales. Después de todo, cualquier distribución particular de las características de las empresas (por ejemplo, tamaño, propensión a la I + D, costes unitarios) en un momento concreto es en sí misma el resultado de procesos de aprendizaje corporativo y competencia de mercado por los que ciertas características corporativas resultan conferir una ventaja competitiva. Las interpretaciones generales que aquí se sugieren son (a) las distribuciones sectoriales de las características tales como el tamaño empresarial se ven afectadas por las características específicas de los paradigmas tecnológicos en los que se basa la producción de ese sector, en términos de apropiabilidad, oportunidades tecnológicas, radio de acción para la automatización y economías de escala; sin embargo, (b) cualquier sesgo observado en la distribución por tamaños de las empresas en un sector particular no constituye evidencia suficiente para hacer deducciones respecto al «verdadero» efecto del tamaño sobre la innovación. Por ejemplo, una industria puede que muestre un sesgo relativo hacia la «grandeza» incluso si esta última no le confiere ninguna ventaja (o desventaja) en cuanto a la innovación; puede que se deba simplemente a necesidades técnicas por el lado de la producción (tales como economías de escala en la producción y marketing). Alternativamente, el tamaño puede fomentar realmente la innovación (debido a indivisibilidades de los proyectos de I + D), puntos críticos mínimos de I + D altos) o perjudicarla (por ejemplo, si genera rigideces organizativas). Finalmente, puede haber casos en los que la correlación entre tamaño e innovación refleja un proceso causal en la dirección opuesta: Las grandes empresas se han hecho grandes porque innovaron con éxito en el pasado y continúan haciéndolo en el presente sin, no obstante, encontrar una ventaja diferencial en la «grandeza» por sí misma. En general, la relación entre estructuras industriales y grados de innovación conlleva causalidad en ambas direcciones y el entendimiento de las distribuciones intrasectoriales concretas de las características estructurales y de comportamiento de las empresas implica el entendimiento de los efectos (específicos a la tecnología) de la innovación sobre los resultados económicos de las empresas y su competitividad. Algunos de estos efectos están obviamente relacionados con el alcance de las economías de escala que conlleva cada paradigma tecnológico. Otros se relacionan con el impacto que la capacidad diferencial para la innovación de ciertas empresas ejercen sobre su habilidad para adquirir una ventaja en eficiencia y/o calidad del producto frente a otras empresas. Comenzaré por los factores relacionados con las economías de escala.

5.2. Flexibilidad y Economías de Escala

La mayor parte de las trayectorias tecnológicas desde la Revolución Industrial llevaron consigo una mecanización creciente de la producción y una explotación creciente de las economías de escala (véase Nelson y Winter, 1977, y los trabajos que allí se citan); sin embargo, cada paradigma tecnológico está caracterizado por lecciones diferentes entre flexibilidad (con respecto a los volúmenes de producción y la variedad de outputs, con un equipamiento dado) y las economías de escala. Así pues, un primer determinante de cualquier distribución sectorial observada de empresas (y/o plantas), por tamaño, está relacionado con la medida en la que las empresas individuales han explorado, y posiblemente mejorado, a lo largo de una trayectoria tecnológica concreta. Tómese el ejemplo contemporáneo de la transición desde los esquemas electromecánicos de automatización a los basados en la electrónica. Comparado con la automatización «clásica» (electromecánica) de producción en masa, las máquinas-herramienta de control numérico, sistemas de manufactura flexible y los robots permiten una flexibilidad de producción mucho mayor en términos de (a) variaciones aceptables de rendimientos (definidos en términos del número de artículos homogéneos producidos eficazmente desde el punto de vista de los costes por unidad de tiempo), (b) varianzas aceptables en variedades de outputs y (c) escala mínima de producción (véase Corial, 1983, 1984; Michael Piore y Charles Sabel, 1984).

Gráfico n.º 1. **La Elección (Trade-Off) entre Flexibilidad y Economías de Escala**



c = costes unitarios de producción.

q = cantidades.

f = grados de flexibilidad en la producción.

Esto tiene dos consecuencias. La primera, que aumenta la eficacia de las producciones en pequeña escala. En segundo lugar, es probable que disminuya la importancia de economías de escala asociadas a la planta, que fueron una de las principales fuentes, tanto del crecimiento de la productividad como de rigideces en la producción en la automatización Fordista «clásica».

Dentro del paradigma electromecánico, una mayor eficiencia productiva (a causa de la normalización, economías de escala, etc.), generalmente asociada con los principios «Tayloristas» y «Fordistas» de organización y producción, está también correlacionada con grados muy elevados de rigidez —en términos de desviación aceptable en volúmenes de producción y composición—. El gráfico n.º 1 ilustra un caso como éste. Supongamos que, en la «antigua» tecnología, la línea AA representa la relación técnica entre los costes totales unitarios medios «normales» (c) y las tasas de rendimiento (q), mientras que la línea FF representa la relación correspondiente entre los costes unitarios y los grados de flexibilidad (F), aproximados, por ejemplo, por la desviación típica en la tasa y combinaciones de rendimientos que no aumenta significativamente los costes unitarios «normales». Las dimensiones fundamentales de progreso técnico a lo largo de la trayectoria de la antigua tecnología son la explotación creciente de las economías de escala y de las economías de la normalización. Así pues, cualquier aumento de los requisitos de flexibilidad (debido, por ejemplo, a una creciente incertidumbre sobre los niveles y composición de la demanda) representa directamente un factor de retraso de la innovación/difusión tecnológica dentro del paradigma electromecánico, en la medida en que los avances técnicos están también sesgados por la escala; no obstante, diferentes paradigmas tecnológicos llevan consigo distintas elecciones entre flexibilidad y escala. Supóngase, por ejemplo, que en la figura 1, la línea A^*A^* representa la relación coste/cantidad para un nuevo paradigma basado en la electrónica, mientras que la línea F^*F^* es la relación correspondiente entre flexibilidad y coste. Así pues, la elección cantidad/flexibilidad es T^*T^* para la antigua tecnología y TT para la nueva (10). Ahora, considérese de nuevo un aumento en la flexibilidad deseada. Esto es probable que tenga dos efectos. En primer lugar, es probable que obstaculice el progreso técnico y su difusión «normal» a lo largo de la «antigua» trayectoria tecnológica mientras que, al mismo tiempo y como segundo efecto, fomenta la innovación/difusión en el nuevo paradigma tecnológico. Supóngase que partimos de volúmenes de producción iguales a q_0 , costes normales de c_0 y un grado de flexibilidad f_0 . Ahora, supongamos que una creciente inestabilidad del crecimiento económico, una creciente incertidumbre sobre la demanda de los consumidores y sobre las estrategias de los rivales, aumenta la flexibilidad de producción requerida desde f_0 hasta f_1 . Sobre la base del antiguo paradigma tecnológico, esto significaría volúmenes de producción muy reducidos (q_1) y costes muy altos (c_1). El nuevo paradigma (por ejemplo, la automatización basada en la electrónica) cambia la naturaleza de las elecciones, permitiendo, por ejemplo, que se alcance la flexibilidad requerida a un rendimiento q_2 y costes unitarios c_2 . Además, las mayores oportunidades tecnológicas del nuevo paradigma (con su alcance para el

(10) Este ejemplo se debe en gran parte a las discusiones con B. Coriat sobre la automatización en general y, en particular, sobre la automatización en la industria del automóvil.

aprendizaje, costes decrecientes del equipo capital, etc.) a largo plazo desplazan la relación tecnoeconómica entre los costes y cantidades, digamos, hasta $A^{**}A^{**}$.

En las economías contemporáneas se observa a menudo una disminución del tamaño de las plantas (véase, por ejemplo, Fabrizio Barca, 1984, sobre Italia), de alguna manera análogo al cambio en la escala de producción desde q_0 a q_2 en el gráfico n.º 1; sin embargo, esta observación empírica por sí misma no permite extraer ninguna conclusión sobre la relación «óptima» o «de equilibrio» entre las características de la 311 tecnología y el tamaño, ni sobre las tendencias a largo plazo en las oportunidades técnicas para las economías de escala. Como se ha ilustrado anteriormente, el cambio que se produce en la escala de producción es el resultado conjunto de (a) diferencias en el alcance de las economías de escala entre los dos paradigmas, (b) las diferencias (específicas al sector) en las elecciones entre flexibilidad y economías de escala que implican y (c) los distintos grados de progreso técnico a lo largo de las dos trayectorias definidas por los dos paradigmas.

Se puede ver aquí un primer nexo desde las características de cada tecnología *hasta* la estructura industrial (y sus cambios). Las distribuciones observadas por tamaño de empresas dentro de una industria, se ven obviamente afectadas por las oportunidades (específicas al sector) de varios tipos de economías de escala y las elecciones entre estas últimas y la flexibilidad en la producción. Si diferentes empresas se posicionan de manera distinta en las elecciones nocionales entre flexibilidad y economías de escala y/o explotan las oportunidades de automatización a diferentes velocidades, se debería observar una distribución de tamaños de planta y tamaños de empresa variables incluso cuando la propensión a innovar sea neutral con respecto al tamaño. Como ejemplo histórico, actualmente estamos observando, al menos en los países industrializados, un proceso de cambio en la distribución por tamaños de las plantas y las empresas que está influenciado significativamente por (a) las nuevas elecciones entre flexibilidad y escala asociadas con las tecnologías de producción electrónicas y (b) los costosos intentos de aprender cómo utilizarlas eficientemente y explorar lentamente el potencial (todavía desconocido en gran parte) para las economías de escala que conllevan (en Mehmet Gonenc, 1984; Fabio Arcengeli, Dosi y Moggi, 1986 y Giancarlo Cainarca, Massimo Colombo y Sergio Mariotti, 1987, se puede encontrar evidencia muy preliminar); y posiblemente, (c) una variedad creciente de características demandadas de los productos, mayor refinamiento y tolerancia para con (o deseo de) la novedad, asociado con la segmentación de mercado y mayor renta de los consumidores. Como resultado general de todos estos factores, de acuerdo con Pavitt (1986b), mi opinión es que los cambios en la distribución por tamaños (de planta y especialmente de empresa) en las industrias de «oferta especializada» —construcción de maquinaria, etc.— tenderán a estar sesgados hacia los estratos de mayor tamaño, debido a indivisibilidades de la I + D, economías de alcance basadas en los sistemas de manufactura electrónicos flexibles, etc. Por el contrario, las industrias de producción en masa, la mayor flexibilidad de las nuevas formas de automatización es probable que permita la supervivencia eficiente también de empresas relativamente pequeñas (comparadas con el pasado).

De manera más general, sobre la base de evidencia sectorial todavía dispersa, es plausible conjeturar que, en un momento concreto, puede haber un cierto número de distribuciones por tamaño (por planta y por empresa) específicas a las tecnologías, que representen lo que podemos denominar «equilibrios evolucionarlos» nocionales, en el sentido de que coexisten una variedad de empresas y plantas, aproximadamente, con los mismos niveles de resultados económicos, explotando más economías de escala con menos flexibilidad o bien más economías de alcance y menos economías de escala, etc.

Esta no es la única fuente de diferencias entre empresas. Otros mecanismos diferenciadores están aún más relacionados con la innovación y las estrategias de innovación.

5.3. Innovación, Variedad y Asimetrías entre Empresas

Una implicación importante de las características de apropiabilidad parcial, carácter tácito y carácter acumulativo de las innovaciones es la permanente existencia de *asimetrías* entre empresas, en términos de sus tecnologías de proceso y calidad del output. En otras palabras, las empresas se pueden ordenar como «mejores» o «peores», según su distancia a la frontera tecnológica. Como se discute en otro trabajo (Dosi, Pavitt y Soete, 1988), se puede ver aquí una convergencia interesante entre los resultados de los análisis de comercio internacional que sugieren brechas tecnológicas entre países bastante extendidas (véase Freeman, 1963; Freeman, C.J. Harlow y J.K. Fuller, 1965, Gary C. Hufbauer, 1966; Soete, 1981 y Mario Cimoli, 1988) y la evidencia de la economía industrial sobre la existencia de amplias brechas tecnológicas entre empresas, medidas por sus costes de producción, dentro de cada país (véase, por ejemplo, Sung-Yuen Shen, 1968; Nelson, 1968, 1981a; Bela Gold, 1969 y Dosi, 1984. Esto confirma previos resultados de la Oficina de Estadística Laborales de los EE.UU., citada en Nelson, 1961a). Además, algunos estudios recientes de economía industrial han comenzado a explorar la existencia y persistencia intertemporal de rentabilidades por encima o por debajo de la media en empresas individuales (véase Paul Geroski y Alexis Jacquemin, 1986; Bruno Contini, 1986; Dennis Muller, 1977 y Yiroyoki Odogiri y Hideki Yamawaki, 1986); nótese, dicho sea de paso, que las diferencias en rentabilidad entre empresas probablemente infraestiman las diferencias en eficiencia productiva y tecnología de producto en la medida en que sus «cuasi-rentas» se distribuyen como sueldos y salarios diferentes.

Llamémosle *grados de asimetría* de una industria a su dispersión de (a) eficiencias en inputs para un output (homogéneo) dado y (b) características en cuanto a resultados, ponderadas por los precios, de los productos (diferenciados) de las empresas —si fuéramos capaces de medirlas con precisión. Ciertamente, parte de estas asimetrías entre empresas en cuanto a eficiencia productiva se deben a (a) economías de escala en la producción (véase Cliff Pratten, 1971; Aubrey Silberton, 1972, y Donald Hay y Derek Morris, 1979) y (b) diferentes distribuciones de edad del equipo de cada empresa (Wilfred Salter, 1969); sin embargo —y quizás más importante— estas asimetrías son también consecuencia de diferentes capacidades para la innovación, es decir, diferentes

grados de acumulación tecnológica y eficiencias distintas en los procesos de búsqueda de innovaciones. Si todo lo demás se mantiene igual, habría que esperar que cuanto mayor sea el potencial de un paradigma tecnológico para la creación de asimetrías en calidad del producto y eficiencia productiva (esto es, cuanto mayores son, *conjuntamente*, las oportunidades tecnológicas y la apropiabilidad de las ventajas de la innovación), mayores serán las probabilidades de que las «mejores» empresas disfruten de una ventaja competitiva y se hagan más grandes, independientemente de cualquier posible sesgo del tamaño en los «rendimientos» de la innovación (volveré sobre este tema en la siguiente sección). Por supuesto, cualquier esquema observado de asimetría entre empresas depende también de otros muchos aspectos de los mercados en los que operan las empresas. Por ejemplo, distintos grados de elasticidad de la demanda afectan a los grados de protección de que disfruta cualquier empresa frente a una mayor eficiencia de los rivales, o a la inversa, la facilidad con la que los líderes tecnológicos pueden crecer a expensas de rivales menos eficientes. De hecho, hay aquí una complementariedad obvia entre los resultados y las conceptualizaciones que provienen de los estudios sobre innovación, por un lado, y los análisis de entrada y barreras a la movilidad en economía industrial, por otro (véase, por ejemplo, Richard Caves y Michael Porter, 1977 y 1978; Scherer, 1980; Sylos Labini, 1967).

Si tales asimetrías son un factor de diversidad entre empresas que corresponden, en una analogía biológica imprecisa, a diferentes grados de «salud» o «adaptación al medio» (*fitness*), existe aún' otra fuente de diversidad que, en la misma analogía, corresponde a proximadamente la misma adaptación y «polimorfismo». Considérese, por ejemplo, el caso de dos empresas con los mismos costes unitarios y que producen el mismo bien. Así pues, no muestran ninguna asimetría, en el sentido definido anteriormente; sin embargo, podrían aún así mostrar diferencias en sus combinaciones de inputs, que son el resultado concreto de historias de acumulación tecnológica específicas a la empresa (Nelson y Winter, 1982; Nelson, 1985; Metcalge, 1985; Gibbons y Metcalfe, 1986; Dosi, Orsenigo y Silverberg, 1986). De manera similar, las empresas pueden muy bien buscar sus innovaciones de producto en diferentes espacios de productos, incorporando diferentes características y orientados a distintos nichos de mercado. Llámese a este segundo conjunto de fuentes de diversidad *variedad tecnológica*, que incluye todas aquellas diferencias tecnológicas que no corresponden a jerarquías inequívocas (es decir, tecnologías y productos «mejores» y «peores»).

Finalmente, los estudios empíricos muestran con frecuencia la coexistencia, dentro de la misma industria y para los mismos incentivos proporcionados por el entorno, de estrategias muy diferentes en relación a la innovación, precios, I + D, inversión y otros. Específicamente, en lo que se refiere a la innovación se observa un rango de estrategias en cuanto a si emprender I + D o no; ser un inventor o un imitador rápido, o «esperar y ver»; la cantidad de inversión en I + D; la elección entre proyectos «incrementales» y de riesgo y otros (véase Charles Carter y Bruce Williams, 1957; Freeman, 1982 y la bibliografía que allí se cita). Llamemos a estas diferencias *diversidad de comportamiento*.

Se sugiere aquí que las asimetrías tecnológicas, las variedades y las diversidades de comportamiento se manifiestan también en las varianzas «no explicadas» de la I + D,

las patentes y una serie de innovaciones discretas mencionadas anteriormente (sección 5.1).

En resumen, cada actividad de producción se caracteriza por una distribución particular de empresas de acuerdo con sus inversiones en I + D, output de la innovación, tamaño, grado de asimetrías en calidad del producto y eficiencia productiva. Sin embargo, la imagen de una industria que aparece en cualquier momento es en sí misma el resultado de un proceso competitivo que ha seleccionado sobrevivientes dentro de la variedad tecnológica y la diversidad de comportamiento de las empresas, que ha premiado o penalizado a los primeros innovadores y permitido distintos grados de imitación y difusión tecnológica. Así pues, un entendimiento satisfactorio de la relación entre la innovación y la distribución de las características estructurales y de comportamiento de las empresas implica también un análisis del aprendizaje y del proceso competitivo a través del cual cambia una industria. Estos temas se abordan a continuación.

6. INNOVACIÓN Y CAMBIO INDUSTRIAL: APRENDIZAJE Y SELECCIÓN

6.1. El Proceso de Innovación y las Estructuras Industriales

A lo largo del tiempo, según avanza la innovación, se introducen nuevos productos que más tarde se imitan por otras empresas, se desarrollan nuevos procesos de producción o se adoptan en la forma de nuevos tipos de equipo de capital, y relacionado con esto, algunas empresas son capaces de obtener costes de producción por debajo de la media y/o una posición monopolística/oligopolística en la producción de algunos productos. A su vez, pueden explotar estas ventajas diferenciales aumentando sus beneficios, sus cuotas de mercado o, por supuesto, una combinación de ambas. Por el contrario, algunas empresas se encuentran a sí mismas con costes por encima de la media y/o productos de menor calidad y, mediante varias estrategias de imitación, búsqueda y avance, deben intentar recuperarse para mejorar su rentabilidad y competitividad en el mercado. Una versión u otra de este proceso básico es lo que determina las «instantáneas» o fotografías sectoriales discutidas en la sección anterior y se revela, a lo largo del tiempo, también por los cambios en los promedios y distribuciones de los inputs, productividad, costes unitarios, comportamiento del producto, tasas de beneficio y tamaño de las empresas. En otras palabras, los resultados de la industria y la estructura de la industria son *endógenos* al proceso de innovación, imitación y competencia.

Nelson y Winter (1982), Winter (1971), Kaatsushito Iwai (1981), Gunnar Eliasson (1986a), Gerald Silverberg (1987), Dosi, Orsenigo y Silverberg (1986), Gibbons y Metcalfe (1986) y Ove Granstrand (1986), han intentando formalizar este proceso con una perspectiva evolutiva. «La estructura de mercado y los resultados tecnológicos son generados endógenamente por tres conjuntos subyacentes de determinantes: la estructura de la demanda, la naturaleza y fuerza de las oportunidades de avance tecnológico y la capacidad de las empresas de apropiarse de los rendimientos de la inversión privada en investigación y desarrollo» (Levin et al. 1984, pág. 1). (Se han

desarrollado recientemente tratamientos de la endogeneidad de las estructuras de mercado también dentro de un marco de «equilibrio»: véase Desgupta y Stiglitz, 1980b). Los estudios de industrias individuales confirman tanto la naturaleza endógena de las estructuras de mercado como el nexo causal que va *desde* el éxito tecnológico *hasta* los cambios en tamaño empresarial y grado de concentración industrial; además de Gort y Steven Klepper (1982) y Gort y Akira Konakayama (1982), que proporciona evidencia intertecnológica comparativa, véase por ejemplo, la evidencia sectorial de Levin, Cohen y Mowery (1985) y la evidencia sectorial más cualitativa en Almarin Phillips (1971) sobre aeronáutica: Barbara G. Katz y Phillips (1982), en tratamiento de datos: Wilson, Ashton y Egan (1980), Dosi (1984), John Tilton (1971), Ed Sciberras (1977) y Malerba (1985), sobre semiconductores: Altschuler et al. (1984) sobre automóviles: Chesnais (1986), sobre medicamentos y bioingeniería y Momigliano (1983), que presenta un análisis econométrico internacional de empresas sobre la relación entre los niveles y los cambios en varios indicadores de innovación y los cambios en los resultados de empresas de informática.

Hablando en términos generales, la evidencia, creciente pero todavía muy inadecuada, sobre la dinámica de las industrias y las tecnologías hace resaltar los procesos de aprendizaje complejos y variados por los que las empresas exploran campos específicos de oportunidades tecnológicas percibidas, mejoran sus procesos de búsqueda y afinan su destreza para desarrollar y producir los nuevos productos, nutriéndose en parte de su conocimiento interno acumulado, en parte de artefactos y conocimientos desarrollados externamente y en parte copiando a sus competidores. A su vez, las interacciones de mercado seleccionan, en grados diferentes, direcciones particulares de desarrollo tecnológico, permitiendo a algunas empresas hacerse más grandes y penalizando a otras. Nótese asimismo que en esta dinámica, las asimetrías tecnológicas y la variedad de comportamiento y tecnología *son tanto el resultado como una fuerza motriz* del cambio organizativo y tecnológico. Que son el *resultado* de la innovación es fácil de entender por la discusión anterior. Las empresas generalmente aprenden a distintos ritmos y con modos y reglas de comportamiento específicas a su historia, organización interna y contexto institucional. Estas diferencias entre empresas son también una importante fuerza motriz del proceso de cambio en el sentido de que subyacen al estímulo competitivo (para los ganadores) y la amenaza competitiva (para los «perdedores») para innovar/imitar productos, procesos y esquemas organizativos.

La historia observada de cada industria es, en un sentido esencial, el resultado de una forma particular de este proceso general; sin embargo, para explicar las diferencias específicas en los esquemas mostrados por sectores concretos deberíamos dar un paso adelante y, por decirlo así, asociar las distintas características de la innovación, discutidas en las secciones 2 a 4, con clases de procesos evolutivos, reconocibles empíricamente. Así, por ejemplo, deberíamos ser capaces de ligar las características de oportunidad, apropiabilidad y otras, de cada paradigma tecnológico y los patrones de cambio en, por ejemplo, dimensión empresarial, concentración de mercado y grado de asimetrías. Así la evidencia es todavía muy insatisfactoria y algunas conjeturas pueden referirse únicamente a casos aislados y a la plausibilidad de los resultados de simulación; no obstante, el tema es digno de ser estudiado por su relevancia analítica (y también normativa).

6.2. Características de la Innovación y Esquemas de Cambio Industrial

En general, los cambios observados en las estructuras industriales y la dinámica observada en el comportamiento industrial (por ejemplo, tasas de introducción de nuevos productos y tasas de cambio de las productividades sectoriales) son la consecuencia de (a) el *aprendizaje de innovaciones* por parte de las empresas individuales (junto con el apartado por universidades, agencias gubernamentales, etc.); (b) la *difusión* del conocimiento innovador y de productos y procesos innovadores y (c) la *selección* entre empresas. Relacionado con esto, mis conjeturas interpretativas generales son las siguientes. En primer lugar, la variedad empírica en los esquemas de cambio industrial se explica por las diferentes combinaciones de selección, aprendizaje y difusión y distintos mecanismos de aprendizaje (por ejemplo, aprendizaje «informal» mediante la práctica, aprendizaje mediante I + D formal y experiencia en marketing). En segundo lugar, la naturaleza de cada paradigma tecnológico, con sus oportunidades de innovación, condiciones de apropiabilidad y otros (juntamente con otros factores económicos e institucionales) contribuye a explicar las diferencias intersectoriales observadas en la importancia relativa de los tres procesos. (Se puede encontrar una discusión más extensa de estas conjeturas en Dosi, Orsenigo y Silverberg, 1986 y Fosi, Winter y Teece, 1987). Haré algunos comentarios generales sobre la naturaleza de los tres procesos y pondré de relieve la manera en que se ven afectados por las características de la innovación, mediante algunos «ejemplos idealizados», resultados de simulación y casos prácticos.

Para empezar nótese que cada innovación con éxito —bien sea relacionada con la tecnología del proceso, el producto o las disposiciones organizativas— conlleva, si todo lo demás es constante, un efecto *creador de asimetrías*, que permite a una o varias empresas disfrutar de alguna mejora en su situación competitiva (por ejemplo, precios más bajos o mejores productos). Por supuesto, cambios en las asimetrías entre empresas individuales no se corresponden necesariamente con cambios en los grados totales de asimetría en una industria. Por ejemplo, una empresa que era previamente ineficiente, o con relativamente poco éxito porque su línea de productos era poco atractiva, ahora consigue diseñar mejores procesos de producción. Si todo lo demás es constante, esto podría muy bien reducir la dispersión en la distribución general de la industria; sin embargo, todavía genera una asimetría entre la empresa considerada y sus competidores retrasados. Ciertamente, la posibilidad de imitación contiene un mayor potencial de ganancia (en productividad, etc.) para las empresas que se encuentran relativamente avanzadas. Por tanto, ceteris paribus, hay razón para pensar que el proceso de imitación y difusión produce *convergencia*. Pero las asimetrías en las cualificaciones de las empresas imponen límites a esta tendencia y queda por determinar cuál será su fuerza. (Obviamente no puedo tratar aquí de la vasta literatura existente sobre difusión, que requeriría un trabajo específico sobre el tema y únicamente mencionaré algunos resultados relevantes para la discusión que nos ocupa). A su vez, cuanto mayores sean las asimetrías entre empresas, mayor es también la posibilidad para que los líderes tecnológicos (o, en cualquier caso, los productores más eficientes) modifiquen la estructura industrial a su favor y mejoren asimismo los resultados de la industria agregada, eliminando a los productores retrasados. Por el contrario, cuanto más bajo sea el grado de asimetrías entre las empresas, cualquier mejora en algún indicador de

los resultados de la industria tendrá que apoyarse más en procesos de difusión y aprendizaje ampliamente extendidos.

Además, nótese que los conceptos de apropiabilidad, carácter acumulativo y carácter tácito de las cualificación tecnológicas —introducidos anteriormente— tienen un nexo directo con aquellos conceptos desarrollados en economía industrial tales como entrada y barreras a la movilidad, en que los primeros conllevan formas de diferenciación competitiva tanto entre las empresas establecidas y los entrantes potenciales como entre las empresas establecidas. En este sentido, el «grado de asimetría» de una industria es una representación sintética de ambos conjuntos de fenómenos.

Teniendo presentes estos comentarios consideraremos con más detalle la relación entre las características del proceso de innovación y los esquemas de la dinámica industrial.

Considérese, en primer lugar, las diferencias en *oportunidad* tecnológica, manteniendo constantes otras características de la innovación (como la apropiabilidad). Es fácil ver que, ceteris paribus, se esperaría que las tasas de mejora de los resultados a lo largo del tiempo (por ejemplo, crecimiento de la productividad) están correlacionadas positivamente con los niveles de oportunidades tecnológicas; sin embargo, ¿qué se puede decir de las características del proceso evolutivo subyacente provocado por las altas oportunidades tecnológicas? Por supuesto, esperaríamos que cuanto más altas sean las oportunidades, será también mayor el aprendizaje de las innovaciones por parte de algunos productores y las presiones selectivas en contra de las empresas retrasadas. En otras palabras, cuanto más altas sean las oportunidades, más alta es la probabilidad de que algunas empresas «aprendan mucho», mucho más que otros competidores y que —basándose en sus resultados muy superiores— impulsarán, por así decirlo, la industria hacia delante eliminando a los productores atrasados. Los ejercicios de simulación en Nelson y Winter (1982) corroboran en términos generales estas conjeturas sobre la relación entre los grados de oportunidades tecnológicas, posibilidades de aprendizaje diferencial de innovaciones y selección, que conducen, ceteris paribus, a estructuras industriales bastante concentradas. Se debe señalar, recordando la discusión de la sección 4, que la «oportunidad» es una condición necesaria pero no suficiente para que se explote tal oportunidad, mientras que la velocidad de las mejoras en los resultados sectoriales (en productividad y características del producto) depende de la explotación. Dada cualquier oportunidad tecnológica nocional, su explotación efectiva por parte de las empresas dependerá, como se ha mencionado, de factores como las condiciones de apropiabilidad y también de variables de mercado como tamaño del mercado, la elasticidad de la demanda al precio y cambios de calidad y el grado de concentración industrial. Las tasas a las que se explotan las oportunidades (en términos de productos nuevos o mejores y procesos de producción más diferentes) por parte de, al menos, algunas empresas y las tasas a las que estos nuevos productos y procesos se difunden a otras empresas, también afecta obviamente a las tasas de cambio de los resultados de la industria a lo largo del tiempo —por ejemplo, las tasas de crecimiento de la productividad o los cambios en los precios del output. En relación a esto, los estudios citados en el apartado 5.1 presentan asimismo alguna evidencia sobre el notable incremento de la productividad y caída de precios reales registrado en sectores

caracterizados por nuevos paradigmas prometedores y altas oportunidades tecnológicas, por ejemplo, computadores y semiconductores. Además, en lo que se refiere a los análisis de varias industrias, la evidencia que se suele hallar sobre el nexo estadístico entre la intensidad de I + D sectorial y los resultados sectoriales de la innovación (por ejemplo, el crecimiento de la productividad sectorial) debería, a la luz de esta discusión, ser considerada como evidencia de que las oportunidades tecnológicas altas tienden a estar asociadas con un modo de aprendizaje tecnológico formal, basado en la I + D (Nelson, 1981a).

En segundo lugar, considérese el impacto del *carácter acumulativo* de las cualificaciones para la innovación. Aquí, las implicaciones son fáciles de ver. Cuanto más acumulativo sea el progreso a nivel de empresa, tanto más cierto será que el éxito atrae al éxito. El carácter acumulativo a nivel de empresa de las cualificaciones tecnológicas conlleva una distribución no aleatoria de probabilidades de avance innovador y dependencia de la trayectoria. Las empresas que alcancen mayores niveles de innovación (competitividad) aumentan también su probabilidad de mantener o incrementar sus niveles de competitividad (innovación). La difusión y diversidad tecnológicas es probable que jueguen entonces sólo un pequeño papel en la dinámica de la industria, mientras que las tasas de aprendizaje de innovaciones del líder o los líderes tecnológicos determinan directamente las tasas de cambio en los resultados agregados de las industrias (a menudo altamente concentradas). Lo contrario ocurre cuando el carácter acumulativo es relativamente bajo, como ha sido con frecuencia el caso de sectores «dominados por la oferta». Las innovaciones se encuentran principalmente incorporadas en el equipo y los componentes comparados a otros sectores y mientras que las oportunidades tecnológicas podrán ser significativas, en gran medida son generadas *exógenamente* a estas actividades industriales. De hecho, son el resultado de las oportunidades de desarrollar, por ejemplo, nuevas semillas, fungicidas, pesticidas, tractores y maquinaria textil, que pueden ser adoptados eficientemente en la agricultura, sector textil, vestido y otros. Bajo estas circunstancias se podría esperar que la difusión de nuevas generaciones de equipo fuese la principal fuente de la dinámica de la industria, mientras que los procesos de selección que conducen a la concentración del mercado es probable que sean relativamente débiles. La evidencia sobre la estructura de estos sectores (en Pavitt, 1984, por ejemplo, se puede encontrar una discusión sobre el tema) está de acuerdo con esta hipótesis. Los proveedores de nuevos tipos de maquinaria, componentes, semillas y otros, están interesados en una difusión lo más rápida posible de sus outputs y así, las tasas de cambio en los resultados promedio (productividad, etc.) en los sectores de usuarios depende conjuntamente de (a) la velocidad de innovación en los sectores proveedores y (b) de las distintas condiciones que pueden afectar a la adopción. La primera establece claramente un techo superior a tales tasas de mejora de los resultados. Las segundas son especialmente importantes para explicar las brechas medias entre los países que avanzan muy rápido y los que avanzan muy lento (citándolo de nuevo, David, 1975, presenta una ilustración histórica de la agricultura norteamericana frente a la agricultura inglesa en el siglo XIX).

En tercer lugar, considérese el papel de las condiciones de apropiabilidad. Por supuesto, la «facilidad» para la imitación de una cierta innovación (y, por tanto, para

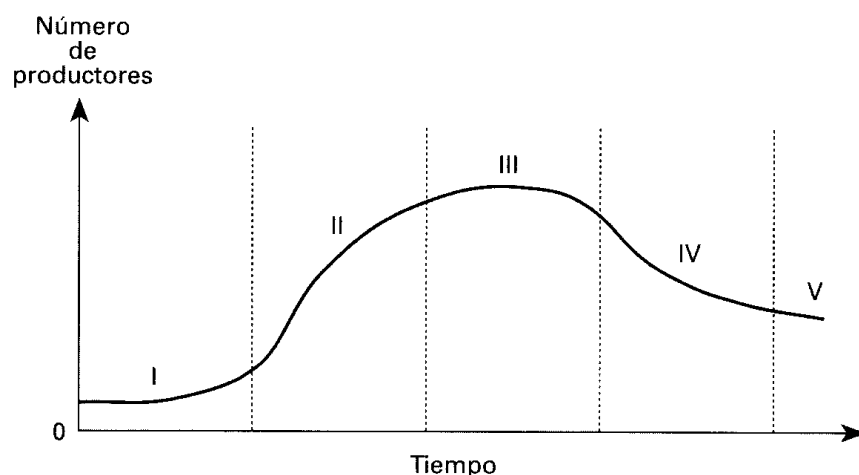
su difusión a los procesos de producción o los productos de otras empresas) o la facilidad con la que las empresas rivales pueden lograr introducir un producto competitivo están inversamente relacionadas, *ceteris paribus*, con su apropiabilidad.

En general, los grados globales de apropiabilidad, la efectividad relativa de los distintos medios de apropiabilidad (por ejemplo, patentes, ventajas de innovación y aprendizaje mediante la práctica específicos a la empresa), las oportunidades tecnológicas y sus fuentes (por ejemplo, generadas internamente por las empresas existentes frente a las externas a la industria y las «públicas»), el tamaño y tasas de crecimiento del mercado, todos cambian significativamente a lo largo de la trayectoria de desarrollo de una tecnología (su «ciclo de vida»). Estos factores, conjuntamente con las condiciones que rigen la competencia en el mercado (por ejemplo, otros tipos de barreras de entrada, la dimensión mínima necesaria, dificultad para entrar o ampliar mercados tanto domésticos como extranjeros, la elasticidad de la demanda al precio y la calidad) rigen la evolución tanto de los resultados de la industria como de su estructura.

Ciertamente, desde un punto de vista empírico, los conceptos puestos de relieve en este trabajo (como la oportunidad y la apropiabilidad) no tienen contrapartidas obvias y objetivas, debido a que no son medibles directamente y los estudios empíricos son todavía difíciles e inciertos; sin embargo, desde mi punto de vista, las dificultades estadísticas no restan su importancia interpretativa crucial. Y, a pesar de todas las dificultades prácticas, me parece que los estudios empíricos actualmente disponibles son bastante consistentes con este marco de análisis. Por ejemplo, se ha mostrado que, a lo largo de lo que aquí se ha definido como «trayectorias tecnológicas» específicas al paradigma, la tasa neta de entrada de nuevas empresas cambia. Gort y Klepper (1982) encuentran evidencia bastante sólida (su estudio está basado en 46 innovaciones) de un ciclo de cinco etapas tal como el que se presenta en el gráfico n.º 2. Podría ser útil resumir sus conclusiones principales: «...no hay un número de empresas de equilibrio en una industria...»; «...[el] número de productores en un momento... y el número de cada período de tiempo precedente depende de la secuencia de sucesos hasta ese período»; «...el cambio técnico (innovaciones) juega un papel crítico a la hora de determinar tanto las tasas de entrada como el número de empresas en el mercado»; «...el número de empresas en mercados de productos tecnológicamente adyacentes a un nuevo producto —es decir, el número de entrantes potenciales— influye sobre las tasas de entrada»; «...el inicio de la Etapa III [tasas de entradas netas casi constantes] y la consiguiente salida neta en la Etapa IV no está asociada a la madurez del mercado medida por el tamaño de mercado o la tasa de crecimiento de la demanda»; «por el contrario, corresponde a una disminución en la tasa de innovación externa a la industria, una reducción de las tasas de beneficio y la acumulación de experiencia valiosa por parte de los productores establecidos» (pág. 634). Por supuesto, no existe una necesidad general de que cada innovación pase por las cinco etapas.

Cuando surgen innovaciones radicalmente nuevas (y competidoras), se pueden observar «ciclos truncados» (sobre semiconductores, véase Dosi, 1984). Aún así, la principal conclusión todavía se mantiene: La tasa de entrada neta y, de manera más general, la estructura de la producción de cualquier innovación (el número de las empresas el grado de concentración industrial, barreras de entrada, etc.) son endógenos

Gráfico n ° 2 **Nuevos Productos y Número de Productores**



Fuente: Gort y Klepper (1982). basado en una muestra de 46 innovaciones de producto.

a la dinámica tecnológica y dependen asimismo de las tasas y modos de aprendizaje de innovaciones y de la medida en la que este aprendizaje es apropiado e internalizado dentro de las empresas como un activo rentable.

La investigación empírica y teórica sobre las propiedades de diferentes modos de evolución industrial se encuentra todavía en una etapa preliminar; no obstante, los resultados y conjeturas precedentes ponen de relieve el *nexo* tan prometedor que existe entre los estudios de las características microeconómicas de los procesos mediante los que las personas y las empresas buscan nuevos productos y procesos —los dominios de la economía de la innovación— por un lado y los análisis del proceso competitivo y de las estructuras, resultados y el cambio de las industrias —un dominio típico de la economía industrial— por otro lado. El aprendizaje de innovaciones es, por supuesto, un arma competitiva importante. Además, las formas en que aprenden los agentes económicos influyen también sobre la medida en que pueden explotar tal arma competitivamente y en última instancia cambiar el entorno en el que operan. Tal proceso es inherentemente «evolutivo», al menos en el sentido de que varios agentes económicos se ven forzados a buscar cambios tecnológicos cuyo éxito sólo vendrá determinado ex-post mediante la selección del mercado. Así pues, hay inevitablemente una distribución de «mutaciones» de las que al menos algunas están destinadas a ser «errores». En este modelo, el mercado selecciona tanto entre empresas como entre avances tecnológicos específicos (se puede encontrar más sobre este tema en Gibbons y Metcalfe (1986); sin embargo, tal proceso evolutivo, a diferencia de la analogía biológica estricta, no está impulsado por cualquier mecanismo generador de cambios puramente aleatorio. Los agentes aprenden —del entorno, de sus rivales, de sus propios

éxitos y fracasos— en formas que son específicas al cuerpo de conocimiento que caracteriza a cada tecnología, esto es, a cada «paradigma tecnológico». Como consecuencia, los aspectos de la evolución de cada industria están, por así decirlo «ordenados» por los esquemas de aprendizaje y por las formas en que este último influye sobre el proceso competitivo. El entendimiento de la diversidad de estructuras industriales observables, resultados y sus cambios, implica, según se sugiere aquí, una especie de «microfundamentación en los modos subyacentes en los que los agentes económicos acumulan conocimiento y aptitudes para resolver problemas tecnológicos u organizativos. Este, posiblemente, queda como uno de los principales campos de análisis de las matizadas estructuras y dinámica mediante las que las economías no planificadas centralmente buscan, generan y seleccionan innovaciones tecnológicas. Aún así, en mi opinión, un ingrediente fundamental de la explicación de tan variadas estructuras industriales (y de por qué en algunos sectores las empresas innovadoras son pequeñas y en otros grandes, por qué algunas empresas innovadoras diversifican más allá de los límites de sus actividades originales mientras que otras no lo hacen, por qué algunas empresas continúan innovando y otras disminuyen el ritmo, etc.) se deriva de la naturaleza igualmente variada de los procesos evolutivos que las generan. Finalmente, desde esta perspectiva, se podría también intentar explicar (a) los niveles y cambios en los resultados económicos de diferentes países como el resultado conjunto de movimientos de las «fronteras tecnológicas» (esto es, mejoras inequívocas en las técnicas de producción eficientes y los inputs de producción), (b) los procesos de aprendizaje y difusión a empresas (y países) más «retrasados e imitativos y (c) los procesos de selección asociados con una mayor competitividad o mayores cuotas en el mercado internacional de los innovadores (o imitadores) de mayor éxito. Claramente, considerando las diferencias internacionales, es preciso considerar factores que van más allá de aquellos que diferencian a las empresas dentro de un entorno nacional común (por ejemplo, el sistema educativo, el sistema financiero, instituciones legales, aspectos culturales, formas de organización social). Sin embargo, sería interesante ver, en primer lugar, el alcance de los factores que surgen del presente estudio y, en segundo lugar, cómo interaccionan esos factores con aquellas características nacionales más amplias que acabo de mencionar.

7. ALGUNAS CONCLUSIONES

El número, variedad y alcance de los estudios que se han revisado (un subconjunto de la literatura reciente sobre cambio tecnológico) revelan el progreso que ha tenido lugar en los últimos 20 años en la conceptualización y, en alguna medida, en el análisis empírico del proceso de generación de las innovaciones y sus efectos. Algunos de los temas pueden considerarse como desarrollos de ideas e hipótesis ya existentes en los escritos de los economistas clásicos y, después de ellos, en Schumpeter. Otros elementos de análisis aportan un nuevo entendimiento de las características del progreso técnico. Ciertamente, el análisis empírico del proceso de innovación dentro de y entre industrias y países ha tenido un comienzo prometedor y continua con vigor. El progreso en este área se ve con frecuencia restringido por la escasez de datos relevantes, pero posiblemente también por la «visión» y enfoque del análisis empírico de

los economistas que en general han sido formados para considerar a la tecnología entre los elementos preanalíticos de sus modelos.

En el nuevo punto de vista, la apropiabilidad; el carácter parcialmente tácito, la especificidad, la incertidumbre, la variedad de bases de conocimiento, de procedimientos de búsqueda y de oportunidades, el carácter acumulativo y la irreversibilidad (todos ellos conceptos definidos en las secciones 2 y 3) se han reconocido como *características generales* del progreso tecnológico. Relacionado con esto, la naturaleza endógena de las estructuras de mercado asociadas con la dinámica de la innovación, las asimetrías entre empresas en cuanto a cualificaciones tecnológicas, varios fenómenos de no convexidades, dependencia de la historia, rendimientos crecientes dinámicos y la naturaleza evolutiva de los procesos de innovación y difusión son algunos de los elementos principales del proceso de cambio tecnológico.

Mi impresión es que existe una brecha significativa entre la riqueza de los resultados de los historiadores económicos, los estudiantes de tecnología y los economistas de industria aplicada, por una parte, y la conceptualización (más limitada) de estos resultados en la teoría económica, por otra. Claramente, existirá siempre una diferencia entre las «historias empíricas» y las «historias analíticas» de los teóricos. Las primeras tienden inevitablemente a concentrarse en la singularidad de los detalles, mientras que las segundas se ven abocadas a diversos grados de simplificación y abstracción (11). Sin embargo, la hipótesis teórica central no debería entrar en abierto conflicto con los fenómenos empíricos que muestren suficiente persistencia a lo largo del tiempo y/o entre entornos económicos. Si se cree en esto, entonces surgen inmediatamente algunas preguntas. Por ejemplo, ¿cómo se traducen los aspectos del proceso de innovación, señalados con anterioridad, en proposiciones teóricas sobre comportamientos microeconómicos, teoría de la producción, procesos de ajuste...? ¿Son estas proposiciones consistentes con los correspondientes supuestos que se hacen generalmente en el análisis económico? O, dicho de otra manera, ¿podemos construir incrementalmente sobre supuestos normalizados para explicar las propiedades precedentes del proceso de innovación? Cualquiera que sea la respuesta que se le dé a estas preguntas, el área de la innovación es, en mi opinión, particularmente fascinante y está llena de retos. La innovación y el cambio técnico han sido un foco de atención privilegiado también para aquellos que han intentado modelizar la dinámica económica de forma heterodoxa, basada en supuestos «evolutivos», un concepto menos estricto de «equilibrio», una caracterización de comportamientos que deja mucho espacio para aspectos institucionales y un gran énfasis en la competencia como mecanismo de selección (principalmente, véase Nelson y Winter, 1982; véase también Dosi, et al. 1988). Sin embargo, el reto que los procesos de Innovación representan para este enfoque es igualmente formidable. Debe demostrar que los supuestos que, sin ninguna duda, son empíricamente más plausibles, pueden también generar modelos con niveles

(11) Este no es lugar para iniciar una discusión sobre metodología económica. Un rico intercambio de puntos de vista sobre «la teoría frente a la historia», que trata directamente muchos temas que tienen que ver con el cambio técnico, se encuentra en William Parker (1986). Un argumento metodológico pertinente que, por la misma razón, es imposible tratar aquí, a pesar de sus varias ideas sugerentes y desacuerdos, se puede encontrar en John Elster (1983).

de generalidad comparables de alguna manera a aquellos basados en un enfoque más convencional: explorar la solidez de los resultados que hasta ahora han sido obtenidos principalmente a través de simulaciones; lograr, a pesar de una complejidad admitidamente mayor, ese punto de elegancia que hace que los modelos sean atractivos para la comunidad profesional.

Casi con certeza, las teorías que compiten en las ciencias sociales son de alguna manera como fenotipos que compiten en entornos evolutivos complejos. No hay manera de poder decir ex-ante cuál será el que mejor se «adapte». Es difícil dudar, sin embargo, que el campo de la innovación, con las características que se han discutido en este trabajo, constituye una frontera importante —y en gran medida todavía por explorar— del análisis económico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABERNATHY, J. AND UTTERBACK, M. (1975): «A Dynamic Model of Product and Process Innovation», *Omega*, 3(6), pp. 639-56.
- ABERNATHY, J. AND UTTERBACK, M. (1975): «Patterns of Industrial Innovation» (1978): *Tech. Rev.*, June-July 1978, 7, pp. 2-9. ALTSHULER, A. ET AL. (1984): *The Mure of the automobile*. Cambridge: MIT Press.
- AMENDOLA, M. (1983): «A Change of Perspective in the Analysis of the Process of Innovation», *Metroecon.*, 35(3), pp. 261-74.
- AMENDOLA, M. AND GAFFARD, J.-L (1986): «Innovation as Creation of Technology: A Sequential Model», see Venice.
- ANTONELLI, C. (1986a): «The International Diffusion of New Information Technologies», *Res. Policy*, 15, pp. 139-47. ARCANGELI, F. (1958): «Innovation Diffusion: A Cross-Tradition State of the Art». SPRU, U. Of Sussex, Brighton.
- ARCANGELI, F.; DOSI AND MOGGI, M. (1987): «The Patterns of Diffusion of Microelectronic Technologies». DRG Discussion Paper, SPRU, U. of Sussex. Brighton; presented al the Conference on Programmable Automation, Paris.
- ARENA, R., RAINELLI, M. AND TORRE, A. (1984): «Du Concept ál'Analyse de Filière; UneTentative d'Eclaircissmen Theorique». Discussion Paper, LATAPSES, Nice.
- ARROW, K. (1962a): «The Economic Implications of Learning by Doing». *Rev. Econ. Stud.*, June, 29, pp. 155-73.
- ARROW, K. (1962): «Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention», see NBER, pp. 609-25.
- ARTHUR, W. (1985): «Competing Techniques and Lock-in by Historical Events. The Dynamics of Allocation Under Increasing Returns». MASA, Luxemburg, 1983; rev. ed. CEPR, Stanford U.
- ARTHUR, W. (1986): «Industry Location and the Importance of History». CEPR paper no. 43, Stanford U.
- ARTHUR, W. (1988): «Competing Technologies: An Overview, in DOSI ET AL.
- ATKINSON, B. and STIGLITZ, J. (1969): «A New Viewof Technological Change», *Econ.J.*, 79(315), pp. 573-78.
- BAILY, M. AND CHAKRABARTI, A.K. (1985): «Innovation and Productivity in U.S. Industry», *Brookings Pap. Econ. Act*, 2, pp. 609-32.
- BAKER, M.J. (1979): Ed. *Industrial innovation*. London: Macmillan. BARCA, F. (1984): «Modello della specializzazione flessibile. Fondamenti teorici ed evidenza empirica», in *Contributi alla ricerca económica*. Rome: Banca d'Italia.
- LE BAS, C. (1981): *Economie des innovations techniques*. Paris: Economica.
- BEER, J. (1959): *The emergence of the Germán dyeindustry*. Champaing-Urbana: U. of Ill. Press.
- BERNAL, J. (1939): *The social function of science*. London: Routledge and Kegan Paul.
- BOUND, J. ET AL. (1984): «Who Does R & D and Who Patents?», in GRILICHES, pp. 21-45.
- BRAUN, E. AND MACDONALD, S. (1978): *Revolution in miniature: The history and impact of semiconductor electronics*. Cambridge: Cambridge U. Press.

- BURNS, A.F. (1934): *Production trends in the United States since 1870*. NY: NBER.
- BRESNAHAN, T. AND DAVID, PAUL, A. (1986): «The Diffusion of Automatic Teller Machines Across US Banks». CEPR, Stanford U.; see Venice.
- BUER, TERJE, C. (1982): «Investigaron of Consistent Make or Buy Pattens of Selected Process Machiery in Selected US Manufacturing Industry». Sloan School of Management, MIT, PhD diss.
- CAINARCA, C.; COLOMBO, M. AND MARIOTTI, S. (1987): «An Evolutionary Pattern of Innovation Diffusion: The Case of Flexible Automation». Dept. of Electronics Discussion paper; Milán Politécnico; presented at the 14th EARIE Conference, Madrid, Sept.
- CARTER, A. (1970): *Structural change in the American economy*. Cambridge: Harvard U. Press.
- CARTER, C. AND WILLIAMS, B. (1957): *Industry and technical progress*. Oxford: Oxford U. Press.
- CARTER, C. AND WILLIAMS, B. (1958): *Investment in innovation*. Oxford: Oxford U. Press.
- CAVES, R.E. AND PORTER, M. (1977): «From Entry Barriers to Mobility Barriers: Conjectural Decisions and Contrived Deterrence to New Competition». *Quart. J. Econ.*, 91(2). pp. 241-61.
- CAVES, R.E. AND PORTER, M. (1978): «Market Structure, Oligopoly, and Stability of Market Shares». *J. Ind. Econ.*, 26(4). pp. 289-313.
- CHESNAIS, F. (1986): «Some Notes on Technological Cumulativeness, the Appropriation of Technology and Technological Progressiveness in Concentrated Market Structures». OECD, París: see Venice.
- CIMOLI, M. (1988): «Technological Gaps and Institutional Asymmetries in a North-South Model with a Continuum of Goods», *Metroecon.*, June.
- CLARK, KIM, B. and GRILICHES, Z. (1984): «Productivity Growth and R & D at the Business Level: Results from the PIMS Data Base», in GRILICHES, pp. 393-416.
- COHEN S. ET AL. (1984): «Competitiveness». BRIE Working Paper, U. of California, Berkeley.
- COHEN, W.N. AND LEVIN, R.C. (1988): «Empirical Studies of Innovation and Market Structure», in *Handbook of industrial organization*. Eds.: RICHARD SCHMALENSEE AND ROBERT WILLIG. Amsterdam: North-Holland.
- COHENDET, P. (1982): TOURNEMINE, REGÍS LARUE DE AND ZUSCOVITCH. EHUD. «Progrés Technique et Perculation». BETA, U. Louis Pasteur, Strasbourg.
- CONSTANT, E.W. (1980): *The origins of the turbojet revolution*. John Hopkins U. Press.
- CONTINI, B. (1986): «Organizational Change and Performance in the Italian Industry». Discussion paper, U. of Turin; see Venice.
- COOPER, R. (1983): «A Process Model for New Industrial Product Development», *IEEE Transaction on Engineering Management*, 30(1), pp. 2-11.
- CORIAT, B. (1983): *La robotique*. Paris: La Decouverte/Maspero.
- CORIAT, B. (1984): «Crise et Electronisation de la Production: Robotisation d'Atelier et Modele Fordien d'Accumulation du Capital», *Critiques de l'economie politique*.
- CUNEO, P. AND MAIRESSE, J. (1984): «Productivity and R & D at the Firm Level in French Manufacturing Industry», in GRILICHES, pp. 375-92.
- CYERT, M. AND MARCH, J.G. (1963): *A behavioral theory of the firm*. Englewood Cliffs, NJ; Prentice-Hall.
- DASGUPTA, PARTHA D. AND DAVID, P.A. (1985): «Information Disclosure and the Economics of Science and Technology». CEPR Pub. No. 48, Stanford U.
- DASGUPTA, PARTHA D. AND STIGLITZ, E. (1980): «Industrial Structure and the Nature of Innovative Activity», *Econ. J.*, 90(358), pp. 266-93.
- DASGUPTA, PARTHA D. AND STIGLITZ, E. (1980b): «Uncertainty, Industrial Structure and the Speed of R & D», *Bell J. Econ.*, Spring 7 7(1), pp. 1-28.
- DAVID, P.A. (1969): «A Contribution to the Theory of Diffusion». Center for Research in Economic Growth, Memo No. 71, Stanford U.
- DAVID, P.A. (1975): *Technical choice, innovation and economic growth*. Cambridge: Cambridge U. Press.
- DAVID, P.A. (1985): «Clio and the Economics of QWERTY». *Amer. Econ. Ftev.*, May. 75(2), pp. 332-37. (An extended version is published in Parker, 1986).
- DAVID, P.A. (1986a): «Narrow Windows, Blind Giants and Angry Orphans: The Dynamics of Systems Rivalries and Dilemmas of Technology Policy». CEPR Working Paper No. 10. Stanford U.: see Venice.
- DAVID, P.A. (1986b): «Some New Standards for the Economics of Standardization in the Information Age». CEPR Working Paper No. 11, Stanford U.
- DAVID, P.A. AND OLSEN, TROND E. (1984): «Anticipated Automation: A Rational Expectation Model of Technological Diffusion». CEPR Pub. No. 24, Stanford U.

- DAVID, P.A. AND OLSEN, TROND E. (1986): «Equilibrium Dynamics When Incremental Technological Innovations Are Foreseen». CEPR, Stanford U., see Venice.
- DAY, R. AND ELIASSON, GUNNAR, Eds. (1986): *The dynamics of market economies*. Amsterdam: North-Holland.
- DAVIES, S. (1979): *The diffusion of process innovations*. Cambridge: Cambridge U. Press.
- DOSI, G. (1982): «Technological Paradigms and Technological Trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change». *Res. Policy*, jun., 7 7(3), pp. 147-62.
- DOSI, G. (1984): *Technical change and industrial transformation*. London: Macmillan.
- DOSI, G. (1988): «Institutions and Markets in a Dynamic World», *The Manchester School*, May.
- DOSI, G. AND EGIDI, M. (1987): «Substantive and Procedural Uncertainty. An Exploration of Economic Behaviours in Complex and Changing Environments». DRC Discussion paper, SPRU, U. of Sussex, Brighton; presented at the Conference on Programmable Automation, Paris, April.
- DOSI, G. AND ORSENIGO, L. (1988): «Coordinating and Transformation: An Overview of Structure, Performance and Change in Evolutionary Environments». in DOSI ET AL.
- DOSI, G.; ORSENIGO, L. AND SILVERBERG, G. (1986): «Innovation, Diversity and Diffusion: A Self-Organisation Model». DRC Discussion Paper, SPRU, U. of Sussex, Brighton; see Venice.
- DOSI, G.; PAVITT, K. AND SOETE, L. *The economies of technical change and International trade*. Brighton: Wheatsheaf, forthcoming.
- DOSI, G. AND SOETE, L. (1983): «Technology Gaps and Cost-based Adjustment: Some Explorations on the Determinants of International Competitiveness». *Metroecon.*, Sep., 72(3), pp. 357-82.
- DOSI, G., TEECE, D. AND WINTER S. (1987): «Toward a Theory of Corporate Coherence». Presented at the Conference on Technology and the Enterprise in an Historical Perspective, Terni, Italy, Oct.
- DOSI, G.; FREEMAN, C.; NELSON, R.; SILVERBERG, G. AND SOETE, L. eds. (1988): *Technical change and economic theory*. London: Francis Pinter; NY: Colombia U. Press.
- DULUDE, L.S. (1983): «Les Flux Technologiques Interindustriels: Une Analyse Exploratoire du Potential Canadien». *L'Actualité Economique*, Sep., 3, pp. 259-81.
- EDIGI, M. (1986): «The Generation and Diffusion of New Market Routines». Torino, Laboratorio di Economia Politica; paper; see Venice.
- ELIASSON, G. (1986): «Innovative Change Dynamic Market Allocation and Long Term Stability of Economic Growth». Industrial Institute for Economics and Social Research, Stockholm; paper; see Venice.
- ELIASSON, G. (1986a): «Micro Heterogeneity of Firms and Stability of Industrial Growth», in DAY AND ELIASSON.
- ELSTER, J. (1983): *Explaining technical change: A case study in the philosophy of science*. Cambridge: Cambridge U. Press.
- ENOS, J. (1962): *Petroleum progress and profits: A history of process innovation*. Cambridge: MIT Press.
- ERBER, F. (1983): «Microelectronica: Reforma ou Revolucao?». Instituto de Economia Industrial, UFRJ, Rio de Janeiro.
- ERGAS, H. (1984): «Why do Some Countries Innovate More Than Others?». Center for European Policy Studies paper no. 5, Bruxelles.
- ERNST, D. (1983): *The global race in microelectronics*. Frankfurt and NY: Campus Verlag.
- FARRELL, J. AND SALONER, G. (1985): «Standardization, Compatibility, and Innovation». *Rand J. Econ.*, Spring, 76(1), pp. 70-83.
- FRANKEL, M. (1956): «Obsolescence and Technological Change in a Maturing Economy». *Amer. Econ. Rev.*, Mayo, 45(3), pp. 94-112.
- FREEMAN, C. (1963): «The Plastics Industry, a Comparative Study on Research and Innovation». *Nat. Inst. Econ. Rev.*
- FREEMAN, C. (1982): *The economies of industrial innovation*. 2nd ed. London: Francis Pinter. (1 st. ed., Penguin, 1974).
- FREEMAN, C, ed. (1984): *Design, innovation, and long eyeles in economic development*. London: Royal College of Arts. (2nd ed., London: Francis Pinter, 1986).
- FREEMAN, O.; CLARK, J. AND SOETE, L. (1982): *Unemployment and technical innovation*. London: Francis Pinter.
- FREEMAN, C.; HARLOW, C.J. AND FULLER, J.K. (1965): «Research and Development in Electronics Capital Goods». *Nat. Inst. Econ. Rev.*, Nov., 34, pp. 40-91.

- GARDINER, P. (1984): «Desing Trajectories for Airplanes and Automobiles During the Past Fifty Years», and «Robust and Lean Designs», in FREEMAN, pp. 121-68.
- GEROSKI, P.A. AND JACQUEMIN A. (1986): «The Persistence of Profits: A European Comparison». Dept. of Economics discussion paper, U. of Southampton.
- GIBBONS, M. AND JOHNSTON, R. (1974): «The Role of Science in Technological Innovation». *Res. Policy*, 3, pp. 220-42.
- GIBBONS, M. AND METCALFE, J. (1986): «Technological Variety and the Process of Competition». U. of Manchester paper; see Venice.
- GIERSCH, H, ed. (1982): *Emerging technologies*. Tübingen: Mohr.
- GOLD, B. (1979): *Productivity, technology, and capital*. Lexington, MA: Heath.
- GOLD, B. (1981): «Technological Diffusion in Industry: Research Needs and Shortcomings». *J. Ind. Econ.*, Mar., 29(3), pp. 247-69.
- GONENC, M.R. (1984): «Electronisation et Reorganisation Vertical dans l'Industrie». Thèse de Troisième Cycle, U. of Paris X, Nanterre.
- GORDON, T.J. AND MUNSON, T.R. (1981): «Research into Technology Output Measures». The Future Group, Glanstonbury, CT.
- GORT, M. AND KLEPPER, S. (1982): «Time Paths in the Diffusion Product Innovations». *Econ. J.*, Sep., 92(367), pp. 630-53.
- GORT, M. AND KONAKAYAMA, A. (1982): «A Model of Diffusion in the Production of an Innovation». *Amer. Econ. Rev.*, Dec, 72(5), pp. 1111-20.
- GORT, M. AND WALL, R. (1986): «The Evolution of Technologies and Investment in Innovation». *Econ. J.*, Sep. 96(393), pp. 741-57.
- GRANSTRAND, O. (1986): «The Modelling of Buyer/Seller Diffusion Processes. A Novel Approach to Modelling Diffusion and Simple Evolution of Market Structure». Göteborg, Chalmers U. Of Technology; see Venice.
- GRILICHES, Z. (1957): «Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change». *Econometrica*, Oct., 25(4), pp. 501-22.
- GRILICHES, Z. (1979): «Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth». *Bell J. Econ.*, Spring, 10(1), pp. 92-116.
- GRILICHES, Z, ed. (1984): *R&D, patents, and productivity*. Chicago: Chicago U. Press for NBER. GRILICHES, Z. (1984): «R & D, Patents, and Productivity, Introduction», in *R & D, patents and productivity*. Chicago: Chicago U. Press, pp. 1-19.
- GRILICHES, Z. AND LICHTENBERG, F. (1984): «R & D and Productivity Growth at the Industry Level: Is There Still a Relationship?», in GRILICHES, pp. 465-96.
- GRILICHES, Z. AND MAIRESSE, J. (1984): «Productivity and R & D at the Firm Level», in GRILICHES, pp. 339-74.
- GRILICHES, Z. AND PAKES, A. (1986): «The Value of Patents as Indicators of Inventive Activity». Presented at the Conference on the Economic Theory of Technology Policy, London, Center for Economic Policy Research, Sept.
- HABAKKUK, HROTHGAR J. (1962): *American and British technology in the nineteenth century*. Cambridge: Cambridge U. Press.
- HAY, DONALD A. AND MOLLRIS, DEREK J. (1979): *Industrial economics: Theory and evidence*. Oxford: Oxford U. Press.
- HEINER, R. (1983): «The Origin of Predictable Behavior». *Amer. Econ. Rev.*, Sept., 73(4), pp. 560-95.
- HEINER, R. (1988): «Imperfect Decisions, Routinized Behaviour and Inertial Technical Change». Provo, Brigham Young U.; in DOSI, ET AL.
- VON HIPPELL, E. (1978): «A Customer Active Paradigm for Industrial Product Idea Generation». *Res. Policy*, 7, pp. 240-66.
- VON HIPPELL, E. (1979): «A Customer Active Paradigm for Industrial Product Idea generation», in BAKER.
- VON HIPPELL, E. (1980): «The User's Role in Industrial Innovation, in *Management of research and innovation*. Eds.: BURTON D. AND JOEN G. Amsterdam: North-Holland.
- VON HIPPELL, E. (1982): «Appropriability of Innovation Benefit as a Predictor of the Source of Innovation». *Res. Policy*, 11(2), pp. 95-115.
- HIRSCHMAN A.O. (1958): *The Strategy of economic development*. New Haven, CT: Yale U. Press.
- HOLLANDER, S. (1965): *The source of increased efficiency: A study of Du Pont rayon plants*. Cambridge: MIT Press.
- HUFBAUER, G.C. (1966): *Synthetic materials and the theory of international trade*. London: Duckworth.

- HUGHES, T.P. (1982): *Networks of power: Electrification in Western society, 1800-1930*. Baltimore, MD: Johns Hopkins U. Press.
- HUGHES, T.P. (1987): «Reverse Salients and Critical Problems: The Dynamics of Technological Change». U. of Pennsylvania paper; presented at the Conference on Technology and the Enterprise in an Historical Perspective, Terni, Italy, Oct.
- IRELAND, N.J. AND STONEMAN, P. (1986): «Technological Diffusion, Expectations and Welfare». *Oxford Econ. Pap.*, July, 35(2), pp. 283-304.
- IWAI, K. (1984): «Schumpeterian Dynamics, Part I: An Evolutionary Model of Innovation and Imitation and Part II: Technological Progress, Firm Growth and 'Economic Selection'». Cowles Discussion Papers, Yale U., New Haven, CT, 1981. (rev. ed., *J. Econ. Behav. Organ.*, June, 5(2), pp. 159-90; Sept.-Dec. 1984, 5(3-4), pp. 321-51).
- JACQUEMIN, A. AND RAINELLI, M. (1984): «Filières de la Nation et Filières de l'Entreprise». *Revue Econ.*, Mar., 35(2), pp. 379-92.
- JENSEN, R.A. (1982): «Adoption and Diffusion of an Innovation of Uncertain Profitability». *J. Econ. Theory*, June, 27(1), pp. 182-99.
- KAMIEN, M. AND SCHWARTZ, N. (1982): *Market structure and innovation*. Cambridge: Cambridge U. Press.
- KATZ, B.G. AND PHILLIPS, A. (1982): «Government, Technological Opportunities and the Emergence of the Computer Industry», in GIERSCHE, pp. 419-66.
- KATZ, M.L. AND SHAPIRO, A. (1985): «Network Externalities, Competition and Compatibility». *Amer. Econ. Rev.*, June 75(3), pp. 424-40.
- KAY, N. (1979): *The innovating firm*. London: Macmillan.
- KAY, N. (1982): *The evolving firm*. London: Macmillan.
- KENNEDY, C. AND THIRLWALL, A.P. (1981): «Surveys in Applied Economics: Technical Progress». *Econ. J.*, Mar., 82(1), pp. 11-63.
- KLEIMAN, H.S. (1977): *The U.S. government role in the integrated circuit innovation*. Paris: OECD.
- KLEIN, B. (1977): *Dynamic economics*. Cambridge, MA: Harvard U. Press.
- KUZNETS, S. (1980): *Secular movements in production and prices*. Boston: Houghton Mifflin.
- LANCASTER, K.J. (1971): *Consumer demand: A new approach*. NY: Columbia U. Press.
- LANDAU, R. AND ROSENBERG, N. eds. (1986): *The positive sum society: Harnessing technology for economic growth*. Washington, DC: National Academy Press.
- LANDES, D. (1969): *The unbound Prometheus*. Cambridge: Cambridge U. Press.
- LANGRISH, J. (1972): *Wealth from knowledge*. London: Macmillan.
- LAZONICK, W. (1979): «Industrial Relations and Technical Change: The Case of the Self-Acting Mule». *Cambridge J. Econ.*, Sept., 3(3), pp. 231-62.
- LAZONICK, W. (1987): «The Social Determinants of Technological Innovation». Presented at the Conference on Technology and the Enterprise in an Historical Perspective, Terni, Italy, Oct. L
- LEVIN, R.; COHEN, WESLEY M. AND MOWERY, D.C. (1985): «R & D Appropriability, Opportunity, and Market Structure: New Evidence on some Schumpeterian Hypotheses». *Amer. Econ. Rev.*, May., 75(2), pp. 20-24.
- LEVIN, R. ET AL. (1984): *Survey research on R & D appropriability and technological opportunity. Part 1: Appropriability*. New Haven, CT: Yale U. Press.
- LUNDVALL, BENGT-AKE (1984): «User/Producer Interaction and Innovation». TIP Workshop Paper, Stanford U. (Rev. ed Denmark: Aalborg U. Press, 1985).
- LUNDVALL, BENGT-AKE (1988): «Innovation as an Interactive Process: User-Producer Relations», in DOSI ET AL.
- MALDIQUE, M. (1983): «The Stanford Innovation Project», in *Strategic management of technology innovation*. Eds.: ROBERT A. BURGELMAN AND MODESTO A. MALDIQUE, Worcester Polytechnic Institute.
- MALECKI, E. (1983): «Technology and Regional Development: A Survey». *Int. Reg. Sci. Rev.*, Oct., 8(2), pp. 89-125.
- MALERBA, F. (1985): *The semiconductor business: The economics of rapid growth and decline*. Madison: U. of Wis. Press.
- MANSFIELD, E. (1961): «Technical Change and the Rate of Imitation». *Econometrica*, Oct., 29(2), pp. 741-66.
- MANSFIELD, E. (1968): *Industrial research and technological innovation*. NY: Norton, pp. 127-48.
- MANSFIELD, E. (1984): «R & D and Innovation: Some Empirical Findings», in GRILICHES, pp. 127-48.
- MANSFIELD, E. (1985): «How Rapidly Does New Industrial Technology Leak Out?». *J. Ind. Econ.*, Dec, 34(2), pp. 217-23.

- MANSFIELD, E. ET AL. (1971): *Research and innovation in the modern corporation*. NY: Norton.
- MANSFIELD, E. ET AL. (1977): *The production and application of new industrial technology*. NY: Norton.
- MANSFIELD, E.; SCHATZ, M. AND WAGNER, S. (1981): «Imitation Costs and Patents: An Empirical Study». *Econ. J.*, Dea, 97(364), pp. 907-18.
- MARRIS, R.M. AND MUELLER, D. (1980): «Corporation. Competition and the Invisible Hand». *J. Econ. Lit.*, Mar., 18, pp. 32-63.
- MARTINO, J. (1976): *Technological forecasting for decision making*. NY: American Elsevier.
- MENSCH, G. (1975): *Das technologische Patt*. [Stalemate in Technology] Frankfurt: Umschau.
- METCALFE, J.S. (1970): «Diffusion of Innovation in the Lancashire Textile Industry». *Manchester Sch. Econ. Soc. Stud.*, June, 38(2), pp. 145-62.
- METCALFE, J.S. (1985): «On Technological Competition». Mimeo. Dept. of Economics, U. of Manchester.
- METCALFE, J.S. AND GIBBONS, M. (1983): «On the Economics of Structural Change and the Evolution of Technology». Manchester U. Paper presented at the 7th World Congress of the International Economics Assoc, Madrid, Sept.
- MOMIGLIANO, F. (1983): «Determinati ed Effetti della Ricerca e Sviluppo in una Industria ad Alta Opportunità Tecnológica: una Indagine Econometrica». *L'Industria*, 4(1), pp. 61-109.
- MOMIGLIANO F. (1985): «Le Tecnologie dell'informazione: Effetti Economici e Politiche Pubbliche», in *Tecnologia Domani*. Ed.: A. RUBERTI. Bari: Laterza-Sat.
- MOMIGLIANO, F. AND DOSI, G. (1983): *Tecnologia e organizzazione industriale internazionale*. Bologna: Il Mulino.
- MOWERY, D.C. (1980): «The Emergence and Growth of Industrial Research in American Manufacturing, 1899-1946». PhD diss., Stanford U.
- MOWERY, D.C. (1983): The Relationship Between Intrafirm and Contractual Forms of Industrial Research in American Manufacturing, 1900-1940». *Exploration Econ. Hist.* Oct, 20(4), pp. 351 - 74.
- MOWERY, D.C. AND ROSENBERG, N. (1979): «The Influence of Market Demand upon Innovation: A Critical Review of Some Recent Empirical Studies». *Res. Policy*, 8, pp. 102-53.
- MUELLER, D. (1977): «The Persistence of Profits above the Norm». *Económica*, Nov., 44(176), pp. 369-80.
- NABSETH L. AND RAY, G.F. (1974): *The diffusion of new industrial processes*. Cambridge: Cambridge, U. Press.
- NATIONAL BUREAU OF ECONOMIC RESEARCH (1962): *The rate and direction of inventive activity*. Princeton: Princeton U. Press.
- NATIONAL SCIENCE FOUNDATION (1983): *The process of technological innovation: Reviewing the literature*. Washington, DC: NSF.
- NATIONAL SCIENCE FOUNDATION (1986): *Science indicators*. Washington, DC: U.S. GPO.
- NELSON, R.R. (1962): «The Link Between Science and Invention: The Case of the Transistor», in NBER, pp. 549-83.
- NELSON, R.R. (1968): «A 'Diffusion' Model of International Productivity Differences in Manufacturing Industry». *Amer. Econ. Rev.*, Dea, 55(5), pp. 1219-48.
- NELSON, R.R. (1980): «Production Sets, Technological Knowledge and R & D: Fragile and Over-worked Constructs for Analysis of Productivity Growth?». *Amer. Econ. Rev.*, May., 70(2), pp. 62-67.
- NELSON, R.R. (1981a): «Research on Productivity Growth and Productivity Difference: Dead Ends and New Departures». *J. Econ. Lit.*, Sept., 19(3), pp. 1029-64.
- NELSON, R.R. (1981b): «Assessing Private Enterprise». *Bell J. Econ.*, Spring, 72(1), pp. 93-111.
- NELSON, R.R. (1982): «The Role of Knowledge in R & D Efficiency». *Quart. J. Econ.*, Aug., 97(3), pp. 453-70.
- NELSON, R.R. (1984): «Policies in Support of High Technology Industries». Working Paper No. 1011. Institution for Social and Policy Studies, Yale U.
- NELSON, R.R. (1985): *Industry growth accounts and cost functions when techniques are proprietary*. New Haven. Yale U. Press.
- NELSON, R.R. (1986): «Institutions Generating and Diffusion New Technology», see Venice.
- NELSON, R.R. (1988): «Capitalism as an Engine of Growth», in DOSI ET AL.
- NELSON, R.R. AND WINTER, S.G. (1977): «In Search of a Useful Theory of Innovations». *Res. Policy*, Jan., 6(1), p. 36.
- NELSON, R.R. AND WINTER, S. (1982): *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge, MA: Belknap Press of Harvard U. Press.

- NOBLE, D. (1977): *America by design*. NY: Knopf.
- NORTHCOTT, J.; KUETSCH, W. AND DE LESTAPIS, B. (1985): «Microelectronics Industry: An International Comparison». Policy Study Institute, London.
- NORTHCOTT, J. AND ROGERS, P. (1984): «Microelectronics in British Industry: Patterns of Change». Policy Study Institute, London.
- ODAGIRI, H. AND YAMAWAKI, H. (1986): «A Study of Company Profit-Rate Time Series: Japan and the United States». *Inst. J. Ind. Organ.*, Mar., 4(1), pp. 1-23.
- OECD (1968): *Gaps in technology*. Paris: OECD.
- OECD (1981): *The measurement of scientific and technical activities: Proposed standard practice for surveys of research and experimental developments*. Paris: OECD.
- OECD (1984): «Committee for Scientific and Technological Policy, Science, Technology and Competitiveness: Analytical Report to the ad hoc Group». Paris: OECD/STP (84) 26.
- OECD (1986): *Science and technology indicators*. Paris: OECD.
- ORSENIGO, L. (1988): «Institutions and Markets in the Dynamics of Industrial Innovation. The Theory and the Case of Biotechnology». D Phil thesis; SPRU, U. of Sussex, Brighton.
- PAKES, A. AND SCHANKERMAN, M. (1984): «An Exploration into the Determinants of Research Intensity», in GRILICHES, pp. 209-32.
- PARKER, W.N., ed. (1986): *Economic history and the modern economist*. Oxford: Blackwell.
- PATEL, P. AND PAVITT, K. (1987): «Is Western Europe Losing the Technological Race?». *Res. Policy*, 16(2), pp. 59-85.
- PAVITT, K. (1979): «Technical Innovation and Industrial Development: The New Causality». *Futures*, Dec, 11(6), pp. 458-70.
- PAVITT, K. (1984): «Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory». *Res. Policy*, 13(6), pp. 343-73.
- PAVITT, K. (1986a): «Technology, Innovation and Strategic Management», in *Strategic management research: A European perspective*. Eds.: J. MCGEE AND THOMAS. NY: Wiley.
- PAVITT, K. (1986): «Chips and Trajectories: How Will the Semiconductor Influence the Sources and Directions of Technical Change?», in *Technology and the human prospect*. Ed.: R. MACLEOD. London: Francis Pinter.
- PAVITT, K. (1988): «Technological Accumulation, Diversification and Organization in UK companies, 1945-83». DRC Discussion Paper, SPRU, U. of Sussex, Brighton.
- PAVITT, K.; ROBSON, M. AND TOWNSEND, J. (1987): «The Size Distribution of Innovative Firms in the UK: 1945-1983». *J. Ind. Econ.*, Mar., 35(3), pp. 297-329.
- PÉREZ, C. (1985): «Microelectronics, Long Waves and the World Structural Change. New Perspectives for Developing Countries». *World Devel.*, Mar., 13(3), pp. 441-63.
- PÉREZ, C. (1987): «The New Technologies: An Integrated View». SPRU, U. of Sussex, Brighton English Trans.; originally in *La tercera revolución industrial*. Ed.: C. OMINAMI. Buenos Aires, Argentina.
- PHILLIPS, A. (1971): *Technology and market structure*. Lexington, MA: Heath.
- PIORE, M. AND SABEL, C.F. (1984): *The second industrial divide*. NY: Basic Books.
- POLANYI, M. (1967): *The tacit dimension*. Garden City, NY: Doubleday Anchor.
- PRATTEN, C.F. (1971): *Economies of scale in manufacturing industry*. Cambridge: Cambridge U. Press.
- PRICE, DEREK DE SOLLA (1984): «The Science/Technology Relationship, the Craft of Experimental Science and Policy for the Improvement of High Technology Innovation». *Res. Policy*, Feb., 13(1), pp. 3-20.
- RAY, G. (1984): *The diffusion of mature technologies*. Cambridge: Cambridge U. Press.
- REICH, L. (1985): *The making of American industrial research: Science and business at G.E. and Bell, 1876-1926*. NY: Cambridge U. Press.
- REINGANUM, J.F. (1981a): «On the Diffusion of New Technology: A Game Theoretic Approach». *Rev. Econ. Stud.*, Jul, 48, pp. 395-405.
- REINGANUM, J.F. (1981b): «Market Structure and the Diffusion of New Technology». *Bell J. Econ.*, Autumn, 12(2), pp. 618-24.
- ROMEO, A.A. (1975): «Interindustry and Interfirm Differences in the Race of Diffusion of an Innovation». *Rev. Econ. Statist.*, Aug., 57(3), pp. 311-19. ROÑEN, J. (1983): «Some Insights into the Entrepreneurial Process», in *Entrepreneurship*. Ed.: ROÑEN J. Lexington, MA: Heath, pp. 137-73.
- ROSENBERG, N. (1976): *Perspectives on technology*. Cambridge: Cambridge U. Press.
- ROSENBERG, N. (1982): *Inside the black box*. Cambridge: Cambridge U. Press.

- ROSENBERG, N. (1985): «The Commercial Exploitation of Science by American Industry», in *The uneasy alliance: Managing the productivity-technology dilemma*. Ed.: KIM B.C.; RÓBERT H. HAYES AND CHRISTOPHER LORENZ. Cambridge, MA: Harvard Business School Press.
- ROTHBARTH, E. (1946): «Causes of the Superior Efficiency of USA Industry as Compared with British Industry». *Econ. J.*, Sept., 56, pp. 383-90.
- ROTHWELL, R. ET AL. (1946): SAPPHO Updated. Project SAPPHO, Phase 2». *Res. Policy*. Nov., 3(5), pp. 258-91.
- ROTHWELL, R. AND GARDINER. P. (1984): «The Role of Design in Product and Process Change», *Design Studies*, July., 4(3), pp. 161-70.
- SAHAL, D. (1979): *Recent advances in the theory of technological change*. Berlin: International Institute of Management.
- SAHAL, D. (1981): *Patterns of technological innovation*. NY: Addison-Wesley.
- SAHAL, D. (1982): *The transfer and utilization of technical knowledge*. Lexington, MA: Heath.
- SAHAL, D. (1985): «Technology Guide-Post and Innovation Avenues». *Res. Policy*, 14(2), pp. 61-82.
- SALTER, W.E.G. (1969): *Productivity and technical change*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge U. Press.
- SAVIOTTI, P.P. AND METCALFE, J. (1984): «A Theoretical Approach to the Construction of Technological Output Indicators». *Res. Policy*, June, 13(3), pp. 141-51.
- SHEN, TSUNG-YUEN (1986): «Competition, Technology and Market Shares». *Rev. Econ. Statist.*, Feb., 50(1), pp. 96-102.
- SCHERER, F.M. (1980): *Industrial market structure and economic performance*. 2nd ed. Chicago: Rand McNally.
- SCHERER, F.M. (1982): «Inter-Industry Technology Flows in the US». *Res. Policy*, 11(4), pp. 227-45.
- SCHERER, F.M. (1986): *Innovation and growth. Schumpeterian perspectives*. Cambridge: MIT Press.
- SCHERER, F.M. (1982): «Inter-Industry Technology Flows in the US». *Res. Policy*.
- SCHMOOKLER, J. (1966): *Invention and economic growth*. Cambridge: Harvard U. Press.
- SCHUMPETER, J. (1934): *The theory of economic development*. Cambridge: Harvard U. Press (English translation from 1919 German ed.).
- SCHUMPETER, J. (1942): *Capitalism, socialism and democracy*. NY: McGraw-Hill.
- SCIBERRAS, E. (1977): *Multinational electronic companies and national economic policies*. Greenwich, CT: JAI Press.
- (SPRU) SCIENCE POLICY RESEARCH UNIT (1972): *Success and failure in industrial innovation*. London: Centre for the Study of Industrial Innovation.
- SIMON, H. (1973): «The Structure of Ill-Structured Problems». *Artificial Intelligence*, 4(3), pp. 181-201.
- SIMON, H. (1979): «Rational Decision Making in Business Organizations». *Amer. Econ. Rev.*, Sept., 69(4), pp. 493-513.
- SILBERSTON, A. (1972): «Economies of Scale in Theory and Practice». *Econ. J.*, Mar., 86, pp. 369-91.
- SILVERBERG, G. (1987): «Technical Progress, Capital Accumulation and Effective Demand: A Self-Organisation Model», in *Economic evolution and structural change*. Ed.: D. BATTEN. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- SOETE, L. (1979): «Firm Size and Innovative Activity: The Evidence Reconsidered». *European Econ. Rev.*, 12(4), pp. 319-40.
- SOETE, L. (1981): «A General Test of Technological Gap Trade Theory». *Weltwirtsch. Arch.*, 117(4), pp. 638-60.
- SOETE, L. (1982): «Firm Size and Innovative Activity: The Evidence Reconsidered». *Europ. Econ. Rev.*
- SOETE, L. AND DOSI, G. (1983): *Technology and employment in the electronics industry*. London: Francis Pinter.
- SOETE, L. AND TURNER, R. (1984): «Technology Diffusion and the Rate of Technical Change». *Econ. J.*, Sept., 94(375), pp. 612-23.
- STIGLER, G.J. (1956): «Industrial Organisation and Economic Progress», in *The state of social sciences*. Ed.: LEONARD D. WHITE. Chicago: Chicago U. Press.
- STIGLITZ, J.E. (1984): «Information and Economic Analysis: A Perspective». *Econ. J. Conference Papers*, 95, pp. 21-41.

- STONEMAN, P. (1976): *Technological diffusion and the computer revolution*. Oxford: Clarendon Press.
- STONEMAN, P. (1983): *The economic analysis of technological change*. Oxford: Oxford U. Press.
- STONEMAN, P. (1986): «Technological Diffusion: The Viewpoint of Economic Theory», see Venice. Mar.
- SYLOS LABINI, P. (1967): *Oligopoly and technical progress*. 2nd ed. Cambridge: Harvard U. Press.
- SYLOS LABINI, P. (1984): *Le forze dello sviluppo e del declino*. Bari: Laterza (*The torces of development and decline*. Cambridge: Cambridge U. Press).
- TAYLOR, C. AND SILBERTON, A. (1973): *The economic impact of the patent system*. Cambridge: Cambridge U. Press.
- TEECE, D.J. (1977): «Technology Transferby Multinational Firms: The Resource Cosí ofTransferring Technological Know-how». *Econ. J.*, June, 87(346). pp. 242-61.
- TEECE, D.J. (1982a): «Toward an Economic Theory of the Multiproduct Firms». *J. Econ. Behaviour Organ.*, 3(1), pp. 39-63.
- TEECE, D.J. (1986): «Profiting from Technological Innovation». *Res. Policy*, 15(6), pp. 285-306.
- TEECE, D.J. (1988): «The Nature and the Structure of Firms», in DOSI ET AL.
- TEMIN, P. (1966): «Labor Scarcity and the Problemof American Industrial Efficiency in the 1850's». *J. Econ. Hist.*, Sept, 26, pp. 277-98.
- TERLECKYJ, NESTER E. (1982): «R & D and the US Industrial Productivity», in SAHAL.
- TEUBAL, M. (1982): «The R & D Performance Through Time of High Technology Firms». *Res. Policy*.
- THOMAS, M.D. (1985): «Regional Economic Development and the Role of Innovation and Technological Change», in THWAITES AND OAKLEY, pp. 13-35.
- THWAITES, A.T. AND OAKLEY, R.P., eds. (1985): *The regional economic impact of technological change*. London: Francis Pinter.
- TILTON, JOHN (1971): *International diffusion of technology: The case of semiconductors*. Washington, DC: Brookings Inst.
- TOLEDANO, J. (1978): «A Propos des Filières Industrielles». *Revue d'Economie Industrielle*.
- TRUEL, J.L. (1980): «L'Industrie MondialedeSemi-Conducteurs». PhDthesis. U. of Paris-Dauphine.
- VON TUNZELMANN, G.N. (1978): *Steam power and British industrialisation to 1860*. Oxford: Clarendon Press.
- VON TUNZELMANN, G.N. (1982): «Britain 1900-1945: A Survey», in *Economic history of Britain since 1870*. Vol. II. Eds.: RODERICK FLOUD AND DONALD MCCLOSKEY. Cambridge: Cambridge U. Press.
- VENICE (1986): Conference on Innovation Diffusion, 17-21 Mar., in *Frontiers in innovation diffusion*. Eds.: ARACELI, F.; DAVID, P. AND DOSI, G. Oxford: Oxford u. Press, forthcoming.
- WILLIAMSON, O. (1975): *Markets and hierarchies*. NY: Free Press.
- WILLIAMSON, O. (1985): *The economic institutions of capitalism*. NY: Free Press.
- WILSON, R.W.; ASHTON, P.K. AND EGAN, P.T. (1980): *Innovation, competition, and government policy in the semiconductor industry*. Lexington, MA: Heath.
- WINTER, S.G. (1971): «Satisficing, Selection and the Innovating Remmant». *Quart. J. Econ.*, May., 55(2), pp. 237-61.
- WINTER, S.G. (1982): «An Essay on the Theory of Production, in *Economics and the world around it*. Ed.: S.H. HYMANS. Ann Arbor: U. of Mich. Press.
- WINTER, S.G. (1984): «Schumpeterian Competition in AlternativeTechnological Regimes». *J. Econ. Behav. Organ.*, Sept./Dec, 5(3-4), pp. 287-320.
- WINTER, S.G. (1987a): «Competition and Selection», in *The New Palgrave: A dictionary of economics*. London: Macmillan.
- WINTER, S.G. (1987b): «Natural Selection and Evolution», in *The New Palgrave: A dictionary of economics*. London: Macmillan.
- WYATT, S. AND BERTIN, G. (1985): *The role of patents in multinational corporations strategies for growth*. Paris: AREPIT.
- YELLE, L.E. (1979): «The Learning Curve: Historical Reviewand Comprehensive Survey». *Decisión Science*.
- ZUSCOVITCH, E. (1984): *Une approche meso-economique du progress technique: Diffusion de l'innovation et apprentissage industriel*. Doctoral thesis, Strasbourg, U. Louis Pasteur.

