

186

Perez C. (1985). "Microelectronics, long waves and world structural change: new perspectives for developing countries". *World Development* 13 (3), pp. 441-463.

Perrin J. (1983). *Les transferts de technologie*. Paris, La Découverte.

Perrin J. (1988). *Comment naissent les techniques. La production sociale des techniques*. Paris, Publisud.

Perrin J., Chanaron J.J. (1987). "Science, technology and work organization". *International Journal of Technology Management* 2 (3-4).

Pinch T, Bijker W. (1987). "The social construction of facts and artifacts, or how sociology of science and the sociology of technology might benefit each other" en W. Bijker, T. Hugues, T. Pinch (eds), *The Social Construction of Technological Systems*. Cambridge, Ma., The MIT Press.

Piore M. (1968). "The impact of the labor market upon de design and selection of productive techniques within the manufacture plant". *Quarterly Journal of Economics* 82, pp. 602-620.

Piore M. (1988). "Travail, action et métier: l'expérience de travail dans le système de production flexible", comunicación en el coloquio *Logiques d'entreprise et forme de légitimité*. Paris, 20-22 enero.

Polanyi M. (1967). *The Tacit Dimension*. New York, Doubleday-Anchor Books.

Portnoff Y. (1988). "Révolution dans la joie". *Science et Technologie*, 9 octubre.

Rothwell R., Gardiner P. (1983). "The role of design in product and process change". *Design Studies* 4 (3), julio.

Sahal D. (1981). "Technological guideposts and innovation avenues". *Research Policy* 14 (2).

Sahal D. (1982). "Structure and self-organization". *Behavioral Science* 27, pp. 249-258.

Saviotti P. (1986). "Systems theory and technological change". *Futures*, diciembre.

3-1)

## Paradigmas tecnológicos y trayectorias tecnológicas

### La dirección y los determinantes del cambio tecnológico y la transformación de la economía\*

Giovanni Dosi\*\*

Los procedimientos y la naturaleza de las tecnologías parecen ser, en general, similares a los que caracterizan a las ciencias. En particular, pareciera que hay paradigmas (o programas de investigación) tecnológicos que cumplen un rol semejante a los de los paradigmas (o programas de investigación) científicos. El modelo trata de dar cuenta tanto de los cambios continuos como de las discontinuidades de la innovación tecnológica. Los cambios continuos a menudo están relacionados con el avance a lo largo de una trayectoria tecnológica definida por un paradigma tecnológico, mientras que las discontinuidades están asociadas con el surgimiento de un nuevo paradigma. La naturaleza del avance tecnológico puede generar fluctuaciones a largo plazo en la actividad económica y el empleo. La tecnología por sí sola, sin embargo, no puede explicar por completo estos grandes ciclos: la tecnología no es la única variable reguladora del sistema y debemos introducir otras variables "macro" en el modelo.

El cambio técnico es uno de los factores dinámicos cruciales de los sistemas económicos modernos. La estricta relación entre el crecimiento y el cambio económico, por una parte, y el progreso técnico, por otra, son un "hecho" bastante evidente y bien reconocido en el pensamiento económico. La naturaleza de la relación entre los dos, sin embargo, ha sido un tema mucho más controvertido en la teoría económica. Los problemas teóricos están referidos a la dirección de la relación causal, los grados de independencia del cambio técnico vis à vis los mecanismos endógenos del mercado (tanto a corto como a largo plazo), el papel de los factores institucionales, los determinantes de la "tasa y dirección" de la actividad innovadora.

En este artículo trataremos de superar las dificultades de los enfoques dominantes sobre el proceso de cambio técnico e intentaremos hacer una interpreta-

\* "Technological paradigms and technological trajectories. The determinants and directions of technical change and the transformation of the economy", en Freeman C., *Long waves in the World Economy*. Londres, Pinter Publishers, cap. 7. Traducción: Alicia Calvo

\*\* El autor agradece a R. Nelson, W. Walker, D. Jones, M. Salvati, A. Merlin y L. Bucciarelli por sus comentarios y críticas a borradores previos. La responsabilidad de este trabajo, es, obviamente, del autor. Una versión de esta investigación, más centrada en las implicaciones políticas del modelo, apareció en *Research Policy*, 1982, 11, 3, Junio.

ción del proceso de innovación, sugiriendo que hay fuertes similitudes entre la naturaleza y los procedimientos de la ciencia -tal como la define la epistemología moderna- y los de la tecnología. El paralelo es más bien impresionista, pero lleva a la definición de los paradigmas (o programas de investigación tecnológicos) que tienen muchas características comunes con los paradigmas científicos (o programas de investigación científicos).

Además, analizaremos el rol de los factores económicos e institucionales en la selección y establecimiento de los paradigmas tecnológicos, y la interacción entre los mecanismos económicos endógenos y las innovaciones tecnológicas a partir del momento en que se establece el paradigma tecnológico.

Consideraremos después algunas implicancias del modelo con respecto a las estructuras industriales. En particular, trataremos de trasladar la distinción lógica entre el proceso de búsqueda de nuevos patrones tecnológicos y su constitución en una categoría histórica a lo largo del desarrollo de una industria, entre una fase Schumpeteriana de surgimiento de esa industria y su "madurez". En este artículo no aportamos ningún soporte empírico (o muy poco). Una aplicación del modelo a la industria de los semiconductores se puede hallar en otro trabajo del mismo autor<sup>1</sup>.

Por último, consideraremos las implicaciones de nuestro modelo en términos de patrones de cambio de la economía a largo plazo. Si los paradigmas y las trayectorias presentan fuertes interdependencias tecnológicas y económicas entre diferentes sectores industriales, se hace bastante plausible una correspondencia entre las discontinuidades en la aparición de nuevas tecnologías y las discontinuidades que se presentan en los patrones de crecimiento económico.

Este artículo no pretende aportar una teoría general del cambio técnico. Simplemente intenta centrarse en cuestiones como "¿por qué surgen ciertos desarrollos tecnológicos y no otros?", "¿hay regularidades en el proceso de generación de nuevas tecnologías y en el progreso técnico posterior?", "¿hay alguna regularidad en la relación funcional entre el vasto número de factores económicos, sociales, institucionales y científicos que pueden influenciar el proceso de innovación?". Nuestras respuestas a estas preguntas son necesariamente tentativas. En cierta forma nuestro modelo podría ser considerado en sí mismo como un "punto de vista" o una grilla interpretativa, que enfoca cuestiones que a menudo han sido relegadas por la teoría económica ortodoxa, principalmente preocupada por los temas de ajuste instantáneo a los problemas de la transformación a largo plazo del entorno económico e institucional.

<sup>1</sup> Ver G. Dosi, "Technical change and industrial transformation. The theory and application to the semiconductor industry" (mimeo), SPRU, University of Sussex, 1982. Fue publicado por Macmillan, Londres, 1983. Un resumen de la investigación, junto con una discusión detallada de las implicancias políticas se encuentra en G. Dosi, *Technical Change and Survival: Europe's Semiconductor Industry* (SERC, Sussex European Papers, 1981).

## Teorías de atracción de la demanda (demand pull): tecnología como mecanismo reactivo

Aunque todos reconocen que puede haber -generalmente hay- orígenes diferentes y contextuales de la actividad de invención, en la literatura económica se estilaba distinguir dos aproximaciones diferentes. La primera apuntaba a las fuerzas del mercado como principales determinantes del cambio tecnológico, y la segunda definía a la tecnología como factor autónomo o casi autónomo, por lo menos en el corto plazo (teorías del empuje tecnológico). En la práctica, por supuesto, es difícil hacer una distinción tan nitida, pero resulta útil a los fines explicativos: ciertamente hay una distinción fundamental entre los dos enfoques en el rol atribuido a las señales del mercado para dirigir la actividad de innovación y el cambio tecnológico. Nos parece que el papel atribuido a las señales del mercado, aunque se superpongan mucho con la distinción entre las teorías de la "atracción de la demanda" (demand pull) y el "empuje tecnológico" (technology push), es el núcleo de la discusión.

Consideremos, en primer lugar, una teoría "pura" de la atracción de la demanda. Como fue exhaustivamente discutido en un artículo abarcativo y crítico de Mowery y Rosenberg<sup>2</sup>, el primer motor causal para esas teorías es algún supuesto "reconocimiento de necesidades" por parte de las unidades productivas en el mercado, las que dirigen sus esfuerzos para cubrir dichas necesidades por medio de sus esfuerzos tecnológicos. Esta teoría "pura" de la atracción de la demanda se desarrollaría más o menos como sigue (tanto causal como cronológicamente).

- En un momento dado existe un grupo de bienes de consumo e intermedios en el mercado que corporiza diferentes "necesidades" de los compradores. De paso, debemos notar -como destacaremos más abajo- que la definición de "necesidades" es bastante ambigua: en un extremo podríamos definir las en términos "antropológicos" muy generales (la necesidad de comer, abrigarse, comunicarse, etc.), en cuyo caso expresan una indiferencia total hacia la forma en que sean satisfechas y no tienen relevancia económica; en el otro extremo, las "necesidades" se expresan en relación con los medios específicos para su satisfacción, pero en este caso cada "necesidad" no puede emerger antes del invento básico al que está referida<sup>3</sup>.
- Los consumidores (o usuarios) expresan sus preferencias sobre las características de los bienes que desean (por ejemplo, los rasgos que satisfacen mejor sus

<sup>2</sup>D. Mowery y N. Rosenberg, "The influence of market demand upon innovation: a critical review of some recent empirical studies", *Research Policy*, 1979, 3.

<sup>3</sup> En otras palabras, de acuerdo con la primera definición, la "necesidad" de trasladarse puede ser satisfecha tanto por un caballo como por un transbordador espacial. De acuerdo con la segunda definición, la "necesidad" de contar con un transbordador espacial, obviamente, no puede surgir antes de que este transbordador sea inventado.

necesidades) por medio de sus patrones de demanda. Esta es otra forma de decir que la función de demanda está determinada por la existencia y la forma de la función de utilidad. Así, podemos asumir que la función de demanda se mueve hacia arriba o hacia abajo o, (lo que es básicamente lo mismo) simplemente, que en una economía en crecimiento, dados los precios relativos de las mercancías consideradas, la elasticidad ingreso de la demanda de estos últimos son diferentes.

- La teoría argumentará que, con un ingreso creciente que relaja las restricciones presupuestarias de los consumidores/ usuarios, éstos demandarán proporcionalmente más de los bienes que corporeizan algunas características relativamente preferidas (por ejemplo, los que mejor satisfagan sus necesidades).
- En este punto entran en la escena los productores, que se dan cuenta -por los movimientos de la demanda y de los precios- de las necesidades que han demostrado los consumidores/usuarios: algunas "dimensiones de utilidad" tienen mayor peso (hay más *necesidad* de ellos).
- Aquí comienza el proceso de innovación propiamente dicho y las firmas exitosas traerán finalmente al mercado sus bienes, nuevos o mejorados, dejando nuevamente que el mercado (tal como lo definimos más arriba) monitoree su aumentada capacidad para satisfacer las necesidades de los consumidores.

Por supuesto, ni siquiera el más extremista teórico de la "atracción de la demanda" defendería completamente esta visión tan burda. El argumento básico, sin embargo, sostiene que generalmente existe una posibilidad de saber *a priori* (antes de que se opere el proceso de invención) en qué dirección el mercado atrae la actividad inventiva de los productores; más aún, que los movimientos en los precios relativos y cantidades son una parte importante del proceso de emisión de señales. Así, en esta perspectiva, el proceso de innovación puede ser emplazado -aunque con grandes dificultades- dentro del marco neoclásico. Con respecto a los productores, este punto de vista implica que "los conjuntos de opciones están dados y se conoce el resultado de cualquier elección". El supuesto de que los resultados son conocidos puede, tal vez, relajarse un poco para introducir variables de riesgo y estocásticas, pero el primer supuesto debe mantenerse (dado un conjunto finito de decisiones).

Algunos problemas significativos arrojan dudas sobre toda la adecuación de las teorías de la innovación basadas en la demanda. En primer lugar, se supone que una teoría de la innovación explica no sólo (y ni siquiera primariamente) el

<sup>1</sup> Una determinación unidireccional de la actividad de innovación, que se supone que proviene "del mercado", es bastante común. Ver, entre otros, S. Myers y D. G. Marquis, *Successful Industrial Innovation* (Washington, National Science Foundation, 1969).

R. Nelson y S. Winter, "Dynamic competition and technical progress" in B. Belassa y R. Nelson, eds., *Economic Progress, Private Values and Public Policies: Essays in Honour of William Fellner* (Amsterdam, North Holland, 1977).

progreso técnico incremental de los productos y procesos existentes, sino que por sobre todo se espera que interprete los descubrimientos científicos o técnicos (*breakthroughs*), grandes y pequeños. En lo que se refiere a estos últimos, el rango de necesidades potenciales tiende al infinito y es difícil sostener que estas demandas potenciales puedan explicar por qué, en un momento particular, ocurre una innovación o invención<sup>6</sup>.

En segundo lugar, aun cuando se acepte un reconocimiento *a priori* de una necesidad, es difícil de explicar con este enfoque qué ocurre entre dicho reconocimiento por parte de los productores y el resultado final de un nuevo producto. Tenemos que asumir también que ya existe un conjunto de posibilidades tecnológicas (pero entonces debemos preguntarnos por qué esas posibilidades no han sido explotadas antes) o bien, que existe un desfase en el tiempo entre la investigación y su producto. El concepto de tecnología (y, al menos indirectamente, de la ciencia) que subyace en este enfoque es el de un mecanismo muy versátil y de rápidas respuestas que, con esfuerzos y costos limitados, puede dirigirse en una u otra dirección. Para evitar una concepción burda de la tecnología que la considere como una "caja negra libremente disponible", se hicieron algunos esfuerzos en la teoría para que se considere a la información como un bien costoso<sup>7</sup>. Estos intentos, aunque representan un gran avance en tanto dan cuenta de los aspectos microeconómicos del esfuerzo tecnológico (que tiene un costo y un retorno esperado para cada firma) y, a pesar de que, de algún modo, toman en cuenta la interrelación entre ciencia y tecnología y producción, no parecen ser capaces de considerar toda la complejidad de los procedimientos científicos y tecnológicos y, en particular, el *timing*<sup>8</sup> y la dirección del cambio técnico.

Para resumir, parece haber tres debilidades básicas en la versión "fuerte" de los enfoques de la atracción de la demanda: primero, un concepto de *reactividad* pasiva y mecánica de los cambios tecnológicos con respecto a las condiciones de mercado; segundo, la incapacidad de definir *por qué* y *cuándo* se producen ciertos desarrollos tecnológicos en lugar de otros, y de un cierto *timing* en vez de otros; tercero, el descuido de los cambios a lo largo del tiempo en la capacidad de invención, que no tiene ninguna relación *directa* con las cambiantes condiciones del mercado.

<sup>6</sup> Ver Mowery y Rosenberg, nota 2, y N. Rosenberg, *Perspectives on Technology* (Cambridge, Cambridge University Press, 1976)

<sup>7</sup> Excepto casos en los que una *invención* ya existente se convierte en una *innovación* comercializable en un determinado momento, debido a cambios en los precios relativos y en la distribución del ingreso. Estrictamente hablando, las teorías de la atracción de la demanda parecen aplicarse solamente a estos casos.

<sup>8</sup> Generalmente con rasgos particulares tales como apropiabilidad limitada, indivisibilidad, etc. Ver K. Arrow, "Economic welfare and the allocation of resources for invention", in NBER, *The Rate and Direction of Inventive Activity* (Princeton, Princeton University Press, 1962).

<sup>9</sup> Palabra intraducible que alude al movimiento realizado en el momento oportuno. Puede asimilarse al concepto de sincronización (N. de la T.)

Las ambigüedades teóricas de las teorías de la atracción de la demanda parecen inevitablemente reflejadas en los estudios empíricos sobre los determinantes de la innovación<sup>10</sup>. No es sorprendente que la mayoría de los estudios encuentren que "el mercado es importante en la determinación de las innovaciones exitosas". Sin embargo, coincidimos con Mowery y Rosenberg en que la mayoría de los estudios basados en un enfoque de la atracción de la demanda no alcanzan a producir suficiente evidencia de que las necesidades expresadas por las señales del mercado son los motores primarios de la actividad de innovación<sup>11</sup>. Y este es precisamente el tema que está en cuestión. Otros importantes trabajos empíricos, por el contrario, apuntan a las múltiples variables explicativas de la actividad de innovación<sup>12</sup> y al rol de la ciencia y la tecnología como protectora de la innovación a lo largo de un sendero que va desde los avances científicos iniciales hasta el producto/proceso innovador final<sup>13</sup>. Algunos aspectos del proceso de innovación pueden, desde nuestro punto de vista, ser considerados bastante bien establecidos. Entre ellos:

- El creciente peso (por lo menos en este siglo) de los insumos científicos en el proceso de innovación.
- La creciente complejidad de las actividades de I y D, que hace que el proceso de innovación sea una cuestión de planeamiento a largo plazo para las firmas (y no sólo para ellas) y hay evidencia en contra de la hipótesis de una rápida respuesta innovadora por parte de los productores ante cambios en las condiciones del mercado.
- La existencia de una significativa correlación entre los esfuerzos de I y D (como *proxy* de los *inputs* en el proceso de innovación) y los *output* de la innovación (observados, por ejemplo, a través de las actividades de patentamiento) en varios sectores industriales, y la ausencia, en las comparaciones entre países, de correlaciones evidentes entre los patrones del mercado y de la demanda, por un lado, y el *output* de la innovación, por el otro.
- La naturaleza intrínsecamente *incierto* de la actividad de invención, que va en

<sup>10</sup> Una revisión crítica de esos estudios puede ser hallada en Mowery y Rosenberg, nota 2.

<sup>11</sup> *Ibid.*

<sup>12</sup> Ver Science Policy Research Unit (SPRU), *Report on Project Sappho* (SPRU, University of Sussex, 1971); M. Teubal, N. Aron y M. Trachtenberg, "The performance of the Israeli electronics industry: a case study of biomedical instrumentation", *Research Policy*, 1976; y M. Teubal, On Users Needs and Beed Determination: Aspects of the Theory of Technological Innovation, Maurice Falk Institute for Economic Research in Israel, *Discussion Paper No. 774* (1977). Estos estudios, y específicamente el primero, se refieren principalmente a los determinantes del éxito y del fracaso en las innovaciones industriales y no tanto con los determinantes de la dirección de la actividad de innovación como tal.

<sup>13</sup> Ver Illinois Institute of Technology, *Report on Project TRACES* (Washington, National Science Foundation, 1969).

contra de la hipótesis de conjuntos limitados y conocidos de posibilidades de opción y de resultados.

### El empuje tecnológico (*technology push*): ¿de dónde viene la tecnología?

Los problemas que padecen las versiones fuertes de la teoría del "empuje tecnológico" son, en cierta medida, opuestos a los que discutimos anteriormente. Allí, estaba la dificultad de considerar la complejidad, la relativa autonomía y la incertidumbre asociadas con el cambio tecnológico y la innovación. Aquí, el problema se presenta en relación con el obvio hecho de que los factores económicos son ciertamente importantes como constructores de la dirección del proceso de innovación. El proceso de crecimiento y cambio económico, las variaciones en la distribución en el ingreso nacional y de los precios relativos afectan a la orientación de la actividad de innovación y nos sentimos bastante inseguros de aceptar una visión del progreso técnico -parafraseando a Joan Robinson- que lo considere "dado por Dios, por los científicos y por los ingenieros". La principal tarea teórica con respecto a los enfoques del lado de la oferta (*supply-side*) es evitar una concepción unidireccional "ciencia - tecnología - producción" en la cual la primera representaría una especie de *deus ex machina* exógeno y neutral. Nos damos cuenta de que, si nos remitimos a los hechos reales, hay una compleja estructura de retroalimentaciones entre el entorno económico y las orientaciones del cambio tecnológico. Una teoría tentativa del cambio técnico debería definir -en una forma tan general como fuera posible- la naturaleza de estos mecanismos interactivos. De diferentes maneras, las teorías de la atracción de la demanda y del empuje de la tecnología parecen haber fallado en ese aspecto. En la primera, el cambio técnico y la innovación son básicamente un mecanismo *reactivo*, que muestra, claramente, alguna consistencia con los supuestos tradicionales de la economía neoclásica (soberanía del consumidor, comportamientos optimizadores, equilibrio general, etc.) pero también presenta dificultades lógicas y empíricas insoslayables. Por otra parte, si los factores del lado de la oferta presentan alguna independencia -al menos en el corto plazo- de los cambios en el mercado, debe necesariamente ser posible mostrar cómo son afectados en el largo plazo por la transformación económica.

### Los paradigmas y las trayectorias tecnológicas

La teoría económica generalmente representa a la *tecnología* como la combinación de un conjunto dado de factores, definidos (cualitativa y cuantitativamente) en relación con ciertos resultados (*outputs*). El progreso técnico se define, generalmente, en términos de los movimientos de la curva de posibilidades de producción que se mueve, y/o en términos del creciente número de bienes posibles de ser producidos. La definición que proponemos aquí es, por el contrario, mu-

bién definen cierta idea de "progreso". Haciendo nuevamente una analogía con la ciencia, esto difícilmente puede ser una medida absoluta, pero tiene algún significado preciso dentro de cierta tecnología. La identificación de un paradigma tecnológico está referida a la tarea genérica a la cual se aplica (por ejemplo, amplificar y conmutar señales eléctricas), a la tecnología que selecciona (por ejemplo, los semiconductores y, más específicamente, el silicio), para las propiedades físico-químicas que aprovecha (por ejemplo, el "efecto transistor" y el "efecto campo" de los materiales semiconductores), a las dimensiones tecnológicas y económicas y las concesiones recíprocas en las que se concentra (por ejemplo, densidad de los circuitos, velocidad, inmunidad al ruido, dispersión, rango de frecuencia, costo unitario, etc.). Una vez dadas esas dimensiones tecnológicas y económicas, también es posible obtener, hablando en general, una idea de progreso como mejoramiento de los *trade-offs* vinculados con esas dimensiones.

La amplia analogía entre ciencia y tecnología que hemos presentado claramente no debería tomarse como una identidad. Además de la obvia diferencia relacionada con la distinta naturaleza de la actividad de resolución de problemas, el "conocimiento" tecnológico está mucho menos bien articulado que el científico, ya que gran parte no está escrita, sino que está implícita en la "experiencia", las calificaciones, etc. Esto también implica que la definición de paradigma tecnológico deba ser mucho más laxa, mientras es posible que, en la práctica, sea difícil hacer una distinción entre actividad normal y cambio de problemática. La misma idea de paradigma tecnológico debería tomarse como una aproximación, adecuada en algunos casos, pero no tanto en otros. Desde nuestro punto de vista, sin embargo, la analogía mantiene su validez en tanto las actividades científicas y las tecnológicas representan *gestalten* fuertemente selectivas que corporizan una poderosa heurística.

Una cuestión de la mayor importancia está referida a cómo aparece un paradigma tecnológico establecido, y por qué se lo prefirió a otros posibles. Consideramos la secuencia ciencia - tecnología - producción, recordando que intenta ser sólo una simplificación *lógica* que omite la crucial influencia de largo plazo de los entornos económicos y tecnológicos sobre la ciencia en sí misma.

Aun dentro de la ciencia, los problemas y los "enigmas" realmente detectados (y los resueltos) son, por supuesto, mucho más limitados en número que la cantidad total de problemas y acertijos que potencialmente admiten las teorías científicas; aún más limitadas son las partes de la teoría, acertijos y posibilidades de desarrollo "transferidas" desde la teoría científica a las ciencias aplicadas y tecnología (las últimas dos, por lo menos, significativamente traslapando de lado temporalmente los problemas de retroalimentación). La hipótesis es que, a lo largo de la corriente ciencia - tecnología - producción, las fuerzas económicas (que definiremos más abajo), junto con las fuerzas culturales y sociales, operan como un *aparato de selección* (el

dor" de Rosenberg<sup>1</sup>). De entre un vasto conjunto de *posibilidades* de orientaciones de desarrollo conceptualmente permitidas por la ciencia, primero se realiza un primer nivel de selección (por lo menos en la inmensa mayoría de la actividad de investigación en el sector empresario) en base a preguntas más bien generales, tales como "¿Se puede concebir alguna aplicación práctica?" "¿Hay alguna posibilidad de que la hipotética aplicación sea comercializable?", etc. A lo largo de la corriente que desciende desde la ciencia hasta la producción (en un sendero que es mucho más fácil de concebir como un *continuum* que como un conjunto discreto de pasos estrictamente definidos), el *grado de determinación* de la selección se incrementa: en un extremo tenemos la "actividad para resolver enigmas"<sup>2</sup> definida por los paradigmas científicos en sentido estricto y, en el otro, tenemos una tecnología completamente corporeizada en artefactos y equipos. En el medio, en un campo que ya debemos llamar tecnología porque está dirigido hacia sectores o problemas económicos específicos, las actividades que apuntan al progreso técnico todavía tienen muchos procedimientos y características similares a los de la ciencia, en especial la actividad de resolución de problemas a lo largo de líneas definidas por la naturaleza del paradigma.

Los criterios económicos que actúan como selectores definen cada vez con mayor precisión los senderos a seguir realmente, entre un conjunto mucho más grande de senderos posibles. Por otra parte, una vez que un sendero fue elegido y establecido, tiene inercia propia<sup>3</sup>, que contribuye a definir las direcciones en que se mueve la actividad de resolución de problemas: son lo que Nelson y Winter definen como "trayectorias naturales" del progreso técnico<sup>4</sup>. Una trayectoria tecnológica (por ejemplo, repetimos, la actividad "normal" de resolución de problemas determinada por un paradigma) puede ser representada por el movimiento de las intercambios (*trade-offs*) multidimensionales entre las variables tecnológicas que el paradigma señala como relevantes. El progreso puede ser definido como la mejora de estos *trade-offs*<sup>5</sup>. Podríamos imaginar la trayectoria como un

<sup>1</sup> Rosenberg, nota 6.

<sup>2</sup> Kuhn, nota 14.

<sup>3</sup> Ver Nelson y Winter, nota 5; y Rosenberg, nota 6.

<sup>4</sup> R. Nelson y S. Winter, "In search of useful theory of innovation", *Research Policy*, 1977, 6, 1, páginas 36-76. Estos autores sugieren que existen dos dimensiones generales de estas "trayectorias naturales" (hacia la progresiva explotación de las economías de escala latentes, y hacia el aumento de la mecanización de las operaciones, citando como evidencia que apoya su tesis (entre otros) los estudios de Hughes sobre equipamiento movido con energía eléctrica, los de Levin sobre diversos procesos petroquímicos, y los de Rosenberg (ver nota 6).

<sup>5</sup> Para mencionar ejemplos obvios, los intercambios (*trade-offs*) entre el consumo de energía y los caballos de fuerza en los motores de combustión interna o entre la velocidad y la densidad de los circuitos de los semiconductores (esto está referido a la comparación entre las tecnologías bipolares y las MOS). Una definición de progreso técnico en términos de *trade-offs* multidimensionales se utiliza algunas veces en los modelos de prospectiva tecnológica. D. Sahal, "On the conception and measurement of trade-offs in engineering systems", *Technological Forecasting and Social*

"cilindro" en el espacio multidimensional definido por esas variables tecnológicas y económicas. (De este modo, una trayectoria tecnológica es un conjunto de direcciones tecnológicas posibles cuyos límites exteriores están definidos por la propia naturaleza del paradigma). Algunos rasgos de estas trayectorias tecnológicas, definidas en base a los paradigmas tecnológicos son dignas de considerarse:

- Las trayectorias pueden ser más generales o más circunscriptas, y también más o menos poderosas<sup>21</sup>.
- Generalmente existen *complementariedades* entre trayectorias (por ejemplo, metáforas aparte, hay fuertes complementariedades entre diferentes formas de conocimiento, experiencia, calificaciones, etc.)<sup>22</sup>. Además, el desarrollo, o la falta de él en una tecnología podría facilitar o impedir desarrollos en otras tecnologías.
- En términos de nuestro modelo, podemos definir la "frontera tecnológica" como el mayor nivel alcanzado en un sendero tecnológico con respecto a las dimensiones económicas y tecnológicas relevantes<sup>23</sup>.
- El progreso a lo largo de una trayectoria tecnológica puede retener algunas características acumulativas: la probabilidad de avances futuros está, en este caso, relacionada con la posición que alguien (una empresa o un país) ya ocupa con respecto a la frontera tecnológica ya existente. Esto es estrictamente consistente con la representación de Nelson y Winter sobre el progreso técnico a nivel de la firma y de la industria, con cadenas markovianas<sup>24</sup>.

Change, 1974, y *Law-like Aspects of Technological Development* (Berlín, International Institute of Management, 1978), utiliza una definición similar de tecnología y progreso técnico, aplicada a las industrias y los productos individuales. Después de que completáramos el primer borrador de este artículo, se publicó un importante estudio de D. Sahal ("Alternative conceptions of technology", *Research Policy*, 1981). Este autor sugiere un "enfoque sistémico" del cambio técnico, al que considera un proceso evolutivo y continuo. Además, sugiere la existencia de "balizas tecnológicas". Se puede apreciar con facilidad la consistencia de su tesis con lo que estamos argumentando aquí. Esperamos que con este artículo también podamos arrojar alguna luz sobre la definición, surgimiento y selección de sus "balizas tecnológicas" y sobre las implicancias en términos de evolución de las estructuras industriales.

<sup>21</sup> Nuevamente utilizamos el término por analogía con la epistemología: en nuestro caso, una trayectoria es más poderosa cuanto más grande sea el conjunto de tecnologías que excluye. Por ejemplo, parece que el sendero tecnológico definido por los equipos de generación de energía, nucleares o a petróleo, es muy poderoso, lo que significa que muchas otras fuentes de energía (es decir, muchas otras tecnologías) quedan excluidas.

<sup>22</sup> Ver Rosenberg, nota 6, y N. Rosenberg, "Technological interdependence in the American Economy", *Technology and culture*, 1978.

<sup>23</sup> Podemos representar esa "frontera" como un conjunto de puntos en un espacio multidimensional.

<sup>24</sup> Nelson y Winter, nota 5. Las cadenas de Markov, en el modelo de estos autores, vinculan las posibilidades futuras de innovación / imitación, para cada firma y para presupuestos dados de I y D, a los niveles de innovación alcanzados. En otras palabras, las probabilidades de innovación tienen una correlación en serie.

- Especialmente cuando una trayectoria es muy "poderosa", puede ser difícil cambiar de una trayectoria a otra alternativa. Además, cuando es posible realizar alguna comparación entre ambas (por ejemplo, cuando tienen algunas "dimensiones" en común), la frontera de la trayectoria "alternativa" (nueva) puede estar muy atrás de la de la trayectoria antigua con respecto a alguna o todas las características comunes. En otras palabras, cuando los paradigmas tecnológicos cambian, hay que recomenzar la actividad de resolución de problemas (casi) desde el principio.
- No hay certeza sobre la posibilidad *a priori* de comparar y evaluar la superioridad de un sendero tecnológico sobre otro. Seguramente, una vez que se elijan algunos indicadores, podría haber algunos criterios objetivos, pero sólo *ex post*<sup>25</sup>. Esta es una de las razones subyacentes por las cuales la actividad de investigación es de naturaleza inherentemente incierta (aun si dejamos de lado la evaluación de resultados que hace el mercado y sólo consideramos los indicadores puramente tecnológicos).

#### Economía y tecnología

El papel de los factores económicos, institucionales y sociales debe ser considerado con mayor detalle. Un primer rol que, como ya dijimos, es vital, es la *selección* en cada nivel, desde la investigación a los esfuerzos tecnológicos relacionados con la producción, entre senderos posibles en base a algunos criterios bastante obvios y amplios, tales como factibilidad, posibilidades de comercialización y rentabilidad. Sobre este campo muy general, todavía podrían existir muchos paradigmas tecnológicos elegibles. Dada la incertidumbre intrínseca asociada con sus resultados, en términos de éxito tanto tecnológico como económico, es poco posible compararlos y ordenarlos *ex ante*<sup>26</sup>. Es posible que entren en juego otras variables más específicas, tales como (i) los intereses económicos de las organizaciones que tienen actividades de I y D en esas nuevas áreas tecnológicas; (ii) su historia tecnológica, los campos en los que tienen *expertise*, etc., y (iii) las va-

<sup>25</sup> Para algunos ejemplos sobre los semiconductores, ver Dosi, nota 1. Un importante esfuerzo por definir algunos criterios precisos de "progreso" pueden encontrarse en Sahal, *Law-like Aspects...*, nota 23. Como debería quedar claro a partir del desarrollo presentado más arriba, un criterio unívoco puede ser identificado (fácilmente sólo dentro de un paradigma tecnológico (es decir, a lo largo de una trayectoria tecnológica). Las comparaciones, aun las *ex-post*, entre las diferentes trayectorias pueden algunas veces, aunque no siempre, dar resultados ambiguos. En otras palabras, la "nueva" tecnología puede ser "mejor" que la "vieja" en varias dimensiones seleccionadas, pero en algunas otras puede seguir siendo "peor". Podemos ver aquí una analogía muy laxa con la discusión epistemológica entre el enfoque kuhniano extremo, que postula una estricta incomparabilidad, y el popperiano, que sugiere alguna continuidad progresiva.

<sup>26</sup> Para una discusión sobre la incertidumbre en la evaluación de proyectos de I y D, ver C. Freeman, *The Economics of Industrial Innovation*, segunda edición, (Londres, Frances Pinter, 1982), capítulo 7.

riables institucionales *stricto sensu*, tales como las instituciones públicas, los organismos militares, etc. Todos estos factores pueden operar como fuerzas de focalización sobre direcciones definidas del desarrollo tecnológico. En particular, debemos enfatizar el rol que a menudo tienen las fuerzas públicas ("políticas") en la determinación de una trayectoria tecnológica particular. Un ejemplo obvio es la electrónica, especialmente en el ámbito de los semiconductores y las computadoras durante las primeras dos décadas del periodo de posguerra. Los programas militares y espaciales operaron como poderoso mecanismo de focalización al definir objetivos tecnológicos, al tiempo que aportaban respaldo financiero a la I y D y garantizaban la adquisición de insumos con fondos públicos<sup>19</sup>. Otros casos similares pueden encontrarse a lo largo de la moderna historia de la tecnología: por ejemplo, el surgimiento de la química de los productos sintéticos en Alemania, tiene una estrecha relación con la decisión "política" de ese país para lograr la autosuficiencia después de la época de Bismarck<sup>20</sup>.

Estas clases de efectos institucionales sobre el surgimiento de nuevas tecnologías no son una regla general: lo que queremos destacar, sin embargo, es la debilidad general de los mecanismos del mercado en la selección *ex ante* de direcciones tecnológicas, una de las razones que aboga por la existencia de "instituciones - puente" entre la ciencia "pura" y la I y D aplicada<sup>21</sup>. Aun cuando haya una significativa focalización institucional, es probable que haya diferentes posibilidades tecnológicas, un proceso incierto de búsqueda, y diferentes organizaciones, empresas o individuos "apostando" a diferentes soluciones tecnológicas. Continuando con nuestro paralelismo con la epistemología, esto se parece a un mundo "a la Feyerabend"<sup>22</sup>, con diferentes paradigmas tecnológicos que compiten: la competencia se da no sólo entre la "nueva" y las "viejas" tecnologías a las que tiende a sustituir, sino también entre los "nuevos" enfoques tecnológicos alternativos.

No hemos dicho mucho sobre los criterios *positivos ex ante* para seleccionar entre paradigmas tecnológicos potenciales aparte de los que son más bien generales, como las posibilidades de comercialización o la rentabilidad potencial. Otro poderoso criterio de selección en las economías capitalistas es, posiblemente, la capacidad que tenga la tecnología para ahorrar mano de obra: esto es obviamente consistente con la sugerencia de Nelson y Winter de que las "trayectorias naturales" marchan hacia la mecanización y la explotación de las economías de escala. Ciertamente, en sociedades donde el conflicto laboral y la puja por la distri-

<sup>19</sup> Hay una discusión más detallada en Dosi, nota 1.

<sup>20</sup> Ver Freeman, nota 29, y V. M. Walsh, J. F. Townsend, B. G. Achilladelis y c. Freeman, "Trends in invention and innovation in the chemical industry". Informe al SSRC (mimeo), SPRU, University of Sussex.

<sup>21</sup> Una discusión convincente y completa está en Freeman, nota 29.

<sup>22</sup> P. K. Feyerabend, *Against Method* (Londres, New Left books, 1975).

bución del ingreso son rasgos estructurales, la sustitución de mano de obra por máquinas debe ser un determinante poderoso en el proceso de búsqueda de nuevas tecnologías.

De un modo muy general, dentro del proceso de selección de nuevos paradigmas tecnológicos, el patrón de conflicto laboral y social tiende a operar como criterio, tanto negativo (qué desarrollos posibles hay que excluir) como positivo (qué tecnologías elegir). A este respecto, podríamos definir algunas relaciones de largo plazo entre los patrones de desarrollo social y los paradigmas tecnológicos realmente elegidos (un ejemplo bastante claro podría ser la asociación entre las relaciones laborales, a finales del siglo pasado, y la selección y desarrollo, en la ingeniería mecánica, de patrones tayloristas de cambio técnico).

Consideramos la etapa final de esta secuencia lógica que va de la ciencia a la producción, en la cual -en el caso de la innovación de producto- un bien es producido y vendido: en este estadio final los mercados operan nuevamente como entorno selectivo<sup>23</sup>. Debemos poner de relieve que esta selección final tiene una naturaleza diferente a las etapas anteriores. En la selección del sendero tecnológico, algunas clases de indicadores económicos estaban operando como instrumentos *a priori* de detección frente a un gran número de opciones tecnológicas posibles y amplias. Aquí el mercado opera *ex post* como mecanismo de selección, generalmente entre una variedad de productos ya determinados por patrones tecnológicos amplios, elegidos del *lado de la oferta*. Para dar mayor claridad a la distinción, en sus comentarios sobre un borrador previo de este artículo, R. Nelson sugirió una analogía biológica. La selección final del mercado podría equipararse a la selección de las mutaciones (los modelos de Nelson y Winter describen principalmente este mecanismo "evolutivo" dentro del entorno económico). La discusión precedente remite, por el contrario, a la selección de mecanismos "generadores de mutaciones". De este modo, el entorno social y económico afecta al desarrollo tecnológico de dos maneras, primero seleccionando la "dirección de la mutación" (es decir, seleccionando el paradigma tecnológico) y luego seleccionando entre mutaciones de un modo más darwiniano (por ejemplo, la selección *ex post* entre los ensayos y errores schumpeterianos).

Cuando las nuevas tecnologías están emergiendo, a menudo podemos observar nuevas empresas (Schumpeterianas) tratando de explotar diferentes innovaciones tecnológicas. Los mercados actúan como un sistema de premios y castigos, controlando y seleccionando entre diferentes alternativas. A este respecto, la existencia de múltiples actores que asumen riesgos en una economía no planificada, es crucial para los procedimientos de ensayo y error asociados con la búsqueda de nuevos senderos tecnológicos. Estos actores asumen riesgos, por supuesto, porque hay mercados que permiten grandes recompensas (por ejemplo, beneficios) en caso de éxito comercial.

<sup>23</sup> Nelson y Winter, nota 5.

Incidentalmente, debemos subrayar que, si nuestra interpretación del proceso de cambio técnico es correcta, el surgimiento de nuevos paradigmas tecnológicos es *contextual* a la emergencia explícita de "necesidades" económicamente definidas. En otras palabras, el lado de la oferta determina el "universo" de modalidades posibles por medio de las cuales se satisfacen las "necesidades" genéricas o los requerimientos productivos (que como tales no tienen ninguna significación económica). (En esto podemos apreciar el elemento de verdad que contienen las teorías basadas en la sociología, que sugieren que las necesidades son "inducidas" por las estrategias de las grandes empresas).

Las cambiantes condiciones económicas claramente interactúan con el proceso de selección de nuevas tecnologías, con su desarrollo y por último con su obsolescencia y sustitución. Tenemos, por consiguiente, que analizar los mecanismos de retroalimentación "hacia arriba", o sea, desde el entorno económico hacia la tecnología. (También deberíamos considerar la influencia a largo plazo de los factores económicos y tecnológicos sobre el cambio científico: esto está, sin embargo, muy alejado del alcance de este artículo). Los cambiantes precios relativos y la distribución del ingreso nacional deben necesariamente afectar a la demanda de los diferentes bienes y a la rentabilidad relativa de producirlos. Los productores ciertamente reaccionan a estas señales del entorno económico, tratando de responder con avances técnicos. Sin embargo, esto ocurre a menudo dentro de las fronteras de una trayectoria tecnológica definida, que puede ser conductiva o colocar crecientes restricciones a cualquier desarrollo consistente con las señales que está mandando el entorno económico<sup>33</sup>. Las dificultades y los enigmas tecnológicos no resueltos, para emplear nuevamente la terminología de Kuhn, operan hacia arriba como mecanismos de focalización: algunas veces ejercen presión sobre otros campos tecnológicos para avanzar en su resolución de problemas, y por último facilitan u obstaculizan el cambio a otras trayectorias tecnológicas. Debemos destacar, sin embargo, que las dificultades tecnológicas no resueltas no implican automáticamente el cambio a otro sendero<sup>34</sup>. Por supuesto, los cambios en las condiciones y oportunidades del mercado (entre las cuales tienen mucha importancia los cambios en los patrones de demanda, en la distribución relativa del ingreso nacional, en los costos de producción, etc.) ejercen continuamente presión hacia "arriba", en varios niveles, sobre las trayectorias tecnológicas y sobre los mismos criterios de selección en base a los cuales se eligieron esas trayectorias. Pero esto no implica en modo alguno suponer senderos tecnológicos alternativos maleables y "listos para usar" y, menos aún, respuestas tecnológicas ins-

<sup>33</sup> Tomemos el ejemplo del motor de combustión interna alimentado a petróleo. Los cambiantes precios del petróleo presionaron en forma creciente hacia la sustitución y el ahorro de energía. El rango para la sustitución, sin embargo, está limitado por la tecnología, que por sí misma define el abanico de avances tecnológicos posibles.

<sup>34</sup> Precisamente como los enigmas no resueltos (o "falsaciones") en un paradigma científico no implican un paradigma alternativo.

tantáneas a los cambios en las condiciones del mercado. Más aún, una consecuencia implícita de lo que acabamos de expresar es que el impacto "hacia arriba" de las condiciones económicas cambiantes sobre los patrones de investigación tecnológica, parecen ser directamente proporcionales al *grado en que la tecnología determina* los propios estímulos económicos<sup>35</sup>. De modo que en general esperamos que esta determinación se incremente y venga desde los bienes de consumo a los bienes de inversión y a otras clases de resultados que no pueden considerarse propiamente como bienes de mercado (por ejemplo el equipamiento militar).

Hay que destacar que los cambios en el entorno económico son una característica permanente del sistema: estos cambios a menudo simplemente estimulan el progreso técnico (en el sentido definido más arriba) *a lo largo* de una trayectoria tecnológica. Haciendo nuevamente un paralelo con la epistemología, podemos llamarla actividad tecnológica *normal*. Los intentos tecnológicos *extraordinarios* (vinculados con la búsqueda de nuevas direcciones tecnológicas) emergen en relación con las nuevas oportunidades que los científicos abren, o con las crecientes dificultades para avanzar en alguna dirección tecnológica dada (por razones tecnológicas o económicas) o ambas a la vez<sup>36</sup>.

#### Cambio técnico y estructuras industriales:

##### desde una fase schumpeteriana a la madurez industrial

Hemos tratado de realizar, en los párrafos precedentes, una distinción lógica entre el proceso de búsqueda y selección de nuevos paradigmas y el progreso técnico a lo largo de un sendero definido. Las nuevas tecnologías se seleccionan por medio de una compleja interacción entre algunos factores económicos fundamentales (búsqueda de nuevas oportunidades para lograr beneficios y nuevos mercados, tendencias hacia la reducción de costos y la automatización, etc.), junto con poderosos factores institucionales (los intereses y la estructura de las empresas existentes, los efectos de los organismos gubernamentales, etc.). El cambio técnico a lo largo de senderos tecnológicos establecidos, por otra parte, se vuelve más endógeno al mecanismo económico "normal". Esta distinción entre dos fases tecnológicas probablemente corresponda históricamente a dos conjuntos diferentes de rasgos de la industria, vinculados con su surgimiento y su madurez. En la fase de *ensayo y error* económico, se debe atribuir una importancia primordial a: (a) las *instituciones* que producen y dirigen la acumulación de conocimiento, experien-

<sup>35</sup> Esto corresponde en forma laxa al concepto de "determinación por el mercado" de Teubal (Ver Teubal, nota 12).

<sup>36</sup> Puede ser (y ha sido) razonablemente argumentado, que los desarrollos científicos mismos son protegidos, en el largo plazo, por los "focos" de atención económicos y tecnológicos, y que en cierta manera están dirigidos por el *weltanschauung* que proveen los sistemas económicos. Esta extensa cuestión incluye campos como la epistemología, la sociología del conocimiento, etc., y no es posible discutirla aquí.



cia, etc., y (b) la existencia de una variedad de actores que están preparados para asumir riesgos, listos para probar diferentes soluciones técnicas y comerciales. Los rasgos schumpeterianos, muy apropiadamente, se refieren a este segundo aspecto<sup>7</sup>. Hay que notar que los grandes inventos y las innovaciones, en esta fase, no necesitan ser desarrollados por las propias empresas schumpeterianas. Por el contrario, hay evidencia de que, a menudo en este siglo, la producción de los más importantes avances tecnológicos ha sido el resultado de esfuerzos organizados de I y D, como oposición a la "inventiva" de los individuos<sup>8</sup>. Lo que importa son los intentos (tanto por parte de las nuevas empresas o de las más antiguas), en la primera fase, para implementar y explotar comercialmente la tecnología extraordinaria, movidos por la búsqueda de beneficios y nuevas oportunidades de mercado. A menudo este período de surgimiento de nuevas tecnologías está realmente caracterizado por el surgimiento de nuevas firmas, aun en aquellos casos en que los avances tecnológicos más importantes hayan sido producidos originalmente en empresas e instituciones establecidas (un ejemplo es la tecnología de los semiconductores)<sup>9</sup>.

En la segunda fase, que a menudo corresponde a una *madurez oligopólica* en la producción, la explotación y la difusión comercial de las innovaciones están mucho menos divorciadas, y el cambio técnico a menudo se vuelve parte del patrón de competencia oligopólica. Cuanto más establecido está un patrón tecnológico básico, el mecanismo de generación de innovaciones y avances técnicos parece volverse más endógeno al mecanismo económico normal. En este sentido, la posibilidad de disfrutar temporariamente de posiciones monopólicas (y oligopólicas de largo plazo) para los nuevos productos y procesos parece actuar como poderoso incentivo para la actividad de innovación orientada a la mejora de los productos existentes, etc. En la medida en que se prevean incrementos de las ventas diferenciales para los líderes en tecnología y del mercado, las posibilidades existentes probablemente influyan y estimulen el proceso de innovación mucho más que la estructura del mercado *ex ante* como tal<sup>10</sup>. El proceso de innovación

<sup>7</sup> Aquí nos estamos refiriendo al "primer" Schumpeter, el de la *Theory of Economic Development* (Nueva York, OUP, 1961; primera edición, 1919).

<sup>8</sup> Una revisión de la discusión sobre este tema se encuentra en Freeman, nota 29. Algunos, sin embargo, tienen puntos de vista opuestos (J. Jewkes *et al.*, *The sources of invention*, Londres, Macmillan, 1958). La historia de las innovaciones químicas es analizada por Walsh *et al.*, referencia 31. Sobre el rol de las firmas establecidas sobre los semiconductores, ver Dosi, nota 1.

<sup>9</sup> Tratamos de analizar los factores que lo permiten, en relación con las diferentes actitudes frente al riesgo, las restricciones que limitan una rápida difusión de las innovaciones por parte de las firmas existentes y los regímenes impositivos, en Dosi, nota 1.

<sup>10</sup> La relación entre la estructura del mercado y el incentivo para innovar ha producido discusiones significativas en la literatura. Ver, entre otros, Arrow, referencia 8, R. Scherer, "Firm size, market structure, opportunity and the output of patented inventions", *American Economic Review*, 1965; D. Needham, "Market structure and firms' R&D behaviour", *Journal of Industrial Economics*, 1975; M. Salvati, *Monopolio Sviluppo e Distribuzione* (Roma, Edizioni dell'Ateneo, 1971). Salvati muestra, bajo supuestos más bien generales, que el incentivo para introducir innovaciones en

en sí mismo afectará, por supuesto, la estructura industrial y dará forma a su transformación.

El establecimiento de un paradigma tecnológico definido puede ser acompañado paralelamente por un proceso de "internalización", dentro de las firmas, de las llamadas "externalidades" relacionadas con la actividad de innovación, capitalizando la experiencia previa de intentos, éxitos y fracasos, etc. Dentro de un paradigma tecnológico establecido, puede desaparecer la estructura fluida del mercado caracterizado por el "empresariado heroico", situación que a menudo describe la literatura sobre las nuevas industrias.

Ambas fases pueden mostrar algún "poder oligopólico", aunque sus orígenes difieran notablemente: mientras que en el primero las posiciones oligopólicas están vinculadas principalmente con las economías *dinámicas* ("curva de aprendizaje", etc.) y las asimetrías temporales en relación con la capacidad de innovar exitosamente, en el segundo estadio los orígenes de las estructuras oligopólicas estarían relacionados no solo con la progresión tecnológica de las empresas, sino también con algunas barreras *estáticas* a la entrada (economías de escala, etc.).

### Continuidad y discontinuidad en el cambio técnico

En primer lugar, deseáramos destacar las limitaciones del modelo sugerido: la analogía entre ciencia y tecnología es, en algunos aspectos, impresionista y no deberíamos forzar demasiado el paralelismo, porque correríamos el riesgo de encontrar rendimientos decrecientes. No obstante ello, el modelo puede dar nuevas pistas de utilidad para interpretar algunas cuestiones importantes relacionadas con

general, no es menor bajo condiciones oligopólicas que en condiciones de competencia. Arrow, en su artículo fundacional, presenta el punto de vista opuesto (por lo menos, en lo que se refiere al proceso de innovación). Sin embargo, dos supuestos implícitos y más bien cuestionables son cruciales para su argumento. Primero, debemos asumir que no hay economías de escala, ni umbral mínimo de actividades de I y D, ni acumulatividad del progreso técnico, o bien, en forma alternativa, que los mecanismos del mercado inducen una asignación de las actividades de innovación entre los actores que están compitiendo como si fueran un monopolio simple. Segundo, debemos asumir que el "grado de apropiabilidad privada" de la innovación es el mismo tanto bajo condiciones de competencia como en un oligopolio. Needham ofrece un completo y riguroso análisis de las decisiones de I y D y de innovación bajo los supuestos comportamentales neoclásicos sobre la conducta de las firmas. Este autor muestra que, dependiendo de las elasticidades y de las reacciones que se esperan de los rivales, podemos esperar que pase más o menos cualquier cosa (es decir, que las variables estructurales, como la concentración, las elasticidades de la demanda, etc., pueden tener efectos de signos opuestos sobre la propensión de las firmas a innovar). Podemos encontrar un análisis crítico de la evidencia disponible sobre el tema, así como un energético apoyo a la postura de Schumpeter, en L. Soete ("Firm size and inventive activity: the evidence re-considered", *European Economic Review*, 1979, 12). Nelson y Winter (nota 5) interpretan, en un marco genuinamente dinámico, el proceso de innovación bajo condiciones de oligopolio y la propia estructura del mercado como variable endógena.

<sup>11</sup> Tratamos de evaluar la existencia y los determinantes de los márgenes oligopólicos en la industria de los semiconductores, en Dosi, nota 1.

el proceso de cambio técnico. En primer término, puede explicar -en términos más bien generales- el rol de la *continuidad vs. la discontinuidad* en el cambio técnico. La relación innovación incremental vs. innovaciones radicales puede ser reinterpretada, en términos de progreso técnico normal, como opuesta a los nuevos paradigmas tecnológicos que están surgiendo. En la práctica, todavía podría ser difícil hacer esa distinción, que, sin embargo, puede servir para dar cuenta de las condiciones que permiten que tenga lugar tanto el progreso normal como el esfuerzo innovador extraordinario.

En segundo lugar, puede arrojar alguna luz sobre los *procedimientos* mediante los cuales ocurre el cambio técnico. La búsqueda de nuevos productos o procesos nunca es un proceso que se realiza al azar entre todo el conjunto de oportunidades tecnológicas conceptuales. Los paradigmas son también un "punto de vista" que concita la atención y los esfuerzos de los tecnólogos e ingenieros en direcciones definidas. (Esto, incidentalmente, puede tener interesantes implicaciones en términos de sociología para la empresa y será digno de estudiar, los orígenes, y la formación y experiencia de los ingenieros "revolucionarios" en comparación con los "normales").

En tercer término, la idea de paradigmas y trayectorias puede dar cuenta del fenómeno frecuentemente observado de la *acumulatividad* de los avances técnicos (dentro de una trayectoria establecida). Al mismo tiempo, la *incertidumbre* intrínseca asociada con el cambio tecnológico puede ser apreciada con claridad. Dentro de un sendero tecnológico, la idea de progreso técnico puede ser rigurosamente definida (como mejora de las concesiones recíprocas entre las dimensiones económica y tecnológica que encarna), pero puede ser imposible la comparación *ex ante* de dos diferentes paradigmas tecnológicos: aun *ex post* pueden haber abrumadoras dificultades para hacerlo exclusivamente sobre bases tecnológicas<sup>44</sup>.

Hemos tratado de sugerir que algunos mecanismos interactúan ente los factores tecnológicos y los económicos, y que estos últimos operan como criterios de selección, como control final ("de mercado") y como fuente continua de emisión de estímulos de incentivación, restricción y retroalimentación. La evidencia sobre la actividad de innovación inducida por el mercado<sup>45</sup>, que supera un escrutinio

<sup>44</sup> Otro ejemplo de la industria de los semiconductores: ¿cómo podría haber sido posible comparar en la década del 50 la tecnología de las válvulas termiónicas con la emergente tecnología de los semiconductores? Incluso *ex-post*, (o sea, ahora), cuando la mayoría de las dimensiones comunes (como el tamaño y la densidad, la velocidad, los costos, consumo de energía, etc.) muestran una sorprendente superioridad de la tecnología de los semiconductores, las válvulas todavía conservan su ventaja en algunas estrechas dimensiones tecnológicas. Nótese que aquí hemos tomado uno de los ejemplos más extremos de nueva tecnología definitivamente "superior"; en muchos otros casos incluso las comparaciones *ex-post* entre las diferentes tecnologías pueden resultar más bien difíciles.

<sup>45</sup> Ver el trabajo de J. Schmookler, *Invention and Economic Growth* (Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1966).

no más exhaustivo de sus fundamentos empíricos<sup>46</sup>, puede ciertamente ser consistente con nuestro modelo: el crecimiento económico y la transformación de la economía implican una constante reasignación de recursos así como de los esfuerzos de investigación entre diferentes sectores, y es plausible asumir que un mayor esfuerzo se hará en aquellas áreas que ofrecen oportunidades de crecimiento y de beneficios relativamente mayores (aunque las dos áreas no necesariamente coincidan). Este proceso, sin embargo, se refiere mucho más a la tecnología *normal* que a los avances tecnológicos discontinuos. En otras palabras, supongamos que hay dos sectores, ambos definidos por trayectorias tecnológicas bastante estables, que permiten posibilidades relativamente similares de avance tecnológico<sup>47</sup>, pero que uno experimente tasas más altas de crecimiento de la demanda que el otro. Es posible que una firma haga mayor esfuerzo de investigación en el primero y no en el otro sector. Además, si hay alguna relación entre el *input* de la investigación y el *output* de la innovación, podemos encontrar un mayor número de innovaciones técnicas (medidas, digamos, en términos de patentes) en el primer sector. Este efecto inducido, sin embargo, no explica el surgimiento de innovaciones radicales significativas, que es precisamente lo que tratamos de explicar en los párrafos precedentes. Esto no quiere decir que el surgimiento de nuevos paradigmas tecnológicos sea independiente de la evolución y de los cambios del sistema social (del cual la estructura económica es un componente esencial). Una reconstrucción de la historia de la tecnología y de la ciencia mostraría, casi con seguridad, las influencias de largo plazo que la evolución de la estructura económica y social ha tenido sobre el surgimiento de nuevas oportunidades científicas y tecnológicas. Simplemente, lo que queremos destacar es su autonomía relativa con respecto al ajuste y a los mecanismos de inducción del sistema económico en el corto plazo (cambios en los precios, cantidades, rentabilidad, etc.).

En este renovado interés por la *problématique*<sup>48</sup> schumpeteriana sobre la relación a largo plazo entre el cambio técnico y el crecimiento económico, en las últimas dos décadas se han propuesto varias hipótesis sobre los determinantes y las direcciones del cambio técnico. (Por supuesto deberíamos mencionar también a Marx como el otro economista clásico que enfocó este tema). Vale la pena mencionar estos modelos e hipótesis, no sólo para reconocer nuestras deudas teóricas,

<sup>46</sup> Walsh *et al.* (nota 31) examinan la hipótesis de Schmookler sobre la dependencia de la actividad de innovación con respecto al crecimiento del mercado y, en el caso de las innovaciones químicas encuentra abundantes evidencias de falsación.

<sup>47</sup> Nótese que dentro de tecnologías estables, las posibilidades de avance (es decir, la tasa potencial de progreso técnico compatible con dicha tecnología) puede ser radicalmente diferente. Las bajas posibilidades de realizar mayores avances y la existencia de problemas técnicos no resueltos (o resueltos de forma no satisfactoria) pueden ciertamente servir de estímulo para la búsqueda de un nuevo paradigma tecnológico.

<sup>48</sup> Sic en el original. (N. de la T.)

sino también para discutir brevemente su consistencia recíproca. En particular nos referimos a Freeman<sup>29</sup>, Nelson y Winter<sup>30</sup>, Rosenberg<sup>31</sup>, Abernathy y Utterback<sup>32</sup>, y Sahal<sup>33</sup>. De diferentes modos y con distintos objetivos analíticos, podemos considerar estas contribuciones como una parte de un trabajoso esfuerzo por construir una teoría no - neoclásica sobre el cambio técnico, capaz de dar cuenta satisfactoriamente de (a) la relación entre las fuerzas económicas y la inercia que el progreso técnico parece conservar; (b) el rol de los factores del lado de la oferta; (c) el rol y los efectos del cambio técnico en entornos oligopólicos; (d) su relación con el comportamiento de las firmas y de las estructuras organizacionales, (e) la relevancia de las organizaciones no mercantiles y, en particular, de las instituciones públicas en la conformación de patrones de cambio técnico.

Hablando en general, la interpretación de los procedimientos, tendencias y cambios en el proceso de innovación que proponemos aquí es, desde nuestro punto de vista, consistente con el enfoque de los trabajos citados más arriba. Algunos rasgos merecen destacarse. En particular, debería quedar de manifiesto la continuidad (y solapamiento parcial) entre nuestras hipótesis y los modelos de Nelson y Winters. La existencia de paradigmas tecnológicos, con los atributos que hemos tratado de describir, sostienen la existencia de "trayectorias naturales" de cambio técnico, tal como lo sugieren Nelson y Winter. El modelo de estos autores se centra principalmente en las *dinámicas endógenas* del progreso técnico en ambientes oligopólicos (y, en sus simulaciones del modelo, el éxito de las innovaciones diferenciales es una de las principales fuerzas que impulsan hacia las estructuras oligopólicas). Traducido en términos de las definiciones que hemos dado más arriba, el modelo de los mencionados autores<sup>34</sup> da cuenta, de manera fascinante, de la transición hacia la madurez oligopólica, rica en términos de variables de comportamiento de las firmas, y de la subsecuente competencia oligopólica que está basada en la tecnología y se desarrolla a lo largo de un sendero tecnológico.

El modelo aquí sugerido contribuye -esperamos- a la distinción entre aquellos aspectos del progreso técnico que resultan esencialmente endógenos al sistema económico (a los que hemos denominado progreso técnico normal a lo largo de una trayectoria tecnológica definida) y esos extraordinarios cambios tecnológicos que están referidos a las nuevas tecnologías (los nuevos paradigmas tecnológi-

<sup>29</sup> Freeman, nota 29.

<sup>30</sup> Nelson y Winter, notas 5 y 22.

<sup>31</sup> Rosenberg, nota 6.

<sup>32</sup> J. M. Utterback y W. J. Abernathy, "A dynamic model of product and process innovation", *Omega*, 1975, 3, páginas 639 - 656; W. J. Abernathy y J. M. Utterback, "Patterns of industrial innovation", *Technology review*, Junio - Julio 1978, páginas 41 - 47.

<sup>33</sup> Sahal, nota 23.

<sup>34</sup> Ver, entre otros, el modelo citado en la nota 5.

cos). Las diferentes perspectivas de crecimiento de la demanda probablemente afecten a la *tasa* de progreso técnico normal. Los cambios en la distribución del ingreso, en los precios de los insumos y, más en general, de los precios relativos, pueden afectar la *dirección* del progreso técnico normal *dentro* de las laxas fronteras determinadas por el paradigma tecnológico. No obstante, sostenemos que el surgimiento de una nueva tecnología no puede ser adecuadamente explicado sólo en términos de su capacidad de respuesta a los cambios en el entorno económico, especialmente si consideramos que el desarrollo de nuevas tecnologías está vinculado con los avances científicos. Aun cuando los cambios científicos son influenciados, en el largo plazo, por la estructura social y económica y por los problemas de una sociedad, el *timing* de los avances científicos y de los mayores descubrimientos pueden no coincidir con el de los cambios económicos. Esto es simplemente otra manera de decir (como debería quedar claro luego de nuestra discusión) que el sistema científico - tecnológico no está definido unívocamente en cada momento del tiempo por el sistema económico. Estos argumentos pueden ser ilustrados con un ejemplo bastante obvio: por lo menos desde los comienzos de la sociedad capitalista, el sueño de cada empresario ha sido tener fábricas llenas de robots baratos y dóciles. El hecho de que, primero, no hayamos llegado todavía a ese punto y, segundo, que estemos avanzando en esa dirección, ilustra los dos argumentos que hemos presentado acerca del poder que tiene el sistema económico para dar forma a las tendencias de largo plazo sobre ciencia y tecnología, por un lado, y sobre el grado relativo de autonomía y falta de sincronización entre los dos sistemas, por el otro. Antes de discutir la relevancia de la idea de paradigmas y trayectorias tecnológicas para el análisis de los patrones de crecimiento, hagamos una breve digresión sobre algunos temas relacionados.

### Cambio técnico y cambios en el sistema económico: autorregulación completa?

Los modernos sistemas económicos sufren profundas transformaciones cualitativas y, al mismo tiempo muestran diferentes grados de autoadaptación al cambio. El cambio técnico es factor tanto de transformación como de adaptación. En otras palabras, el cambio técnico *induce* la transformación socioeconómica (más arriba hemos discutido el efecto del progreso técnico sobre la evolución de las estructuras industriales, pero podríamos considerar también sus efectos sobre los ingresos reales, la distribución del ingreso, la competitividad internacional, las estructuras de calificaciones, el empleo, las formas de vida, la estructura de consumo, etc.) y, al mismo tiempo, es una *mecanismo de adaptación* al cambio (tanto en términos de cambio técnico normal como de búsqueda a largo plazo de nuevos paradigmas científicos y tecnológicos). Una implicancia de la discusión precedente, sin embargo, es que los dos mecanismos *no* son completamente simétricos y *tampoco* son sincrónicos.

Si los dos mecanismos del cambio inducido por el sistema económico...

se dieran al mismo tiempo o, por lo menos, tuvieran un ciclo regular con predominio alternado de uno o el otro<sup>5</sup>, tendríamos una variable dinámica (la tecnología) que podría generar en el sistema económico un cambio bastante regular. Se puede ver fácilmente cómo esto puede relacionarse con una teoría de los ciclos *endógenos* de largo plazo, según la cual la tecnología genera tanto el cambio como la adaptación al cambio. Por otra parte, si los dos mecanismos no son completamente simétricos, se hace más complejo investigar (i) qué es lo que hace que el sistema económico cambie y (ii) qué es lo que lo mantiene relativamente estable.

Podemos tratar de reinterpretar partes de las renovadas discusiones sobre los ciclos largos de Kondratiev en términos de este marco. En particular la contribución de Mensch<sup>6</sup> centra su atención en estos problemas relacionados con las transformaciones cualitativas (además de las cuantitativas) del sistema económico y en la relación que existe entre los factores de estabilidad y los factores de cambio (lo que se denomina "consistencia interna" y "consistencia externa" del movimiento). La consideración de estas cuestiones cruciales, sin embargo, es -en nuestra opinión- insatisfactoria, tanto en términos de los instrumentos teóricos empleados como en términos de respuestas reales. Es imposible aportar aquí una crítica acabada de la interpretación de las fuerzas que conducen a la estabilidad ("consistencia interna del movimiento") y a los cambios dinámicos ("consistencia externa del movimiento"). Sólo podemos mencionar que la atribución de la ley de la oferta y la demanda, junto con el llamado Principio de Utilidad, al primer conjunto de fuerzas, y del Principio del Costo de la Producción de Ricardo, "dominado por la oferta" para el segundo conjunto, es profundamente engañosa: ambos principios (oferta y demanda, por un lado, y teoría del valor del costo de producción, por otro) están destinados a explicar los valores de *equilibrio* y de este modo ambos deberían estar referidos al primer conjunto de preguntas (por ejemplo, cuáles son los mecanismos de estabilización del sistema que operan también en condiciones estáticas). No sólo eso, sino que además son incompatibles entre sí, a pesar de los esfuerzos que hace Marshall para reconciliar una de las piedras basales de la escuela neoclásica (el Principio de Utilidad) con la teoría clásica del valor<sup>7</sup>.

<sup>5</sup> Podemos tomar un ejemplo de los sistemas físicos, en los cuales una variable de estado (digamos, la temperatura) es controlada por un mecanismo (en este ejemplo, el termostato) que "la supera": el perfil en el tiempo que presenta la variable de estado muestra, entonces, un ciclo que -para algunos valores apropiados- puede ser estable (es decir, ni explosivo ni asintótico a una línea recta).

<sup>6</sup> G. Mensch, *Das technologische Patt* (Frankfurt, Umschau Verlag, 1975); edición en inglés *Stalemate in Technology* (Cambridge, Mass., Ballinger, 1979).

<sup>7</sup> Ambas teorías están dirigidas a determinar la estructura de los precios relativos. De este modo nos vemos obligados a elegir entre dos teorías alternativas:

- en un enfoque "clásico" siguiendo a Ricardo - Marx - Sraffa:
  1. las mercancías se pueden reproducir libremente
  2. las tecnologías de producción se caracterizan por los retornos no decrecientes a escala.

Para los propósitos de esta discusión, sin embargo, es más importante advertir que la hipótesis sustantiva del enfoque de Mensch es la capacidad de reacción de la innovación básica en los periodos de depresión. Por el contrario, como consecuencia de nuestro argumento expuesto más arriba, la autonomía relativa del *timing* en el surgimiento de nuevos paradigmas tecnológicos, implica que no podemos suponer fácilmente la existencia en el sistema económico de una variable anticíclica tan automática. Esto es lo que entendemos también de la respuesta de Clark, Freeman y Soete (ver cap. 3) a la teoría de Mensch: si nuestra interpretación es correcta, el objetivo de estos autores no es oponer una teoría de la innovación básica de atracción del crecimiento con una teoría del "gatillo" de la depresión sino enfatizar la falta de la necesaria correspondencia entre variables principales de la economía -tales como la tasa de actividad, la distribución del ingreso, las tasas de beneficio o los patrones de estructura industrial- y el surgimiento de innovaciones básicas (en el lenguaje aquí introducido, el surgimiento de nuevos paradigmas tecnológicos). Estos nuevos paradigmas tecnológicos pueden emerger durante periodos tanto de depresión como de prosperidad simplemente porque -como tratamos de mostrar- las reglas que rigen su generación no pueden ser definidas solamente en términos de estímulos económicos.

#### El termostato y el motor: ¿qué mantiene al sistema en marcha?

La relación entre los efectos de inducción y de adaptación al cambio del progreso técnico, de hecho apunta a una pregunta que discrimina entre las diferentes visiones de nuestro sistema socioeconómico, es decir, ¿las sociedades capitalistas son fuertemente homeostáticas, de manera que se les posibilite garantizar tanto el dinamismo como la estabilidad? La hipótesis semi - neoclásica de que el cambio técnico está enteramente inducido por el sistema económico podría, claramente, ser de gran ayuda para obtener una respuesta positiva. Es en cierta medida paradójico que una parte de la tradición marxista, obsesionada por el postulado de la dominación de las estructuras económicas sobre todo lo demás, también llegue a una conclusión similar sobre la tecnología, que la presente como variable pasivamente dependiente de las exigencias capitalistas.

La hipótesis semi - neoclásica puede, entonces, definir a la tecnología como termostato y como motor del crecimiento económico que, para decirlo de algún

\* En el enfoque neoclásico:

3. Las tecnologías de producción muestran retornos decrecientes a escala y/o el sistema opera con pleno empleo de los factores de producción.
4. Los patrones de demanda muestran una amplia posibilidad de sustitución según los precios relativos.

En el primer caso, el "centro de gravedad" de los precios relativos será definido por los costos de producción y, en el segundo, por la denominada "ley de la oferta y la demanda" (es decir, en la práctica no habrá centro de gravedad porque si este último continúa moviéndose no es más un centro de gravedad, por definición).

modo, lo enfría pero también lo hace arrancar de nuevo con relativa regularidad. Según nuestro argumento, por el contrario, las tendencias del sistema hacia la autorregulación, que están relacionadas con la tecnología, son relativamente más débiles.

Como expondremos más abajo, nuestra hipótesis referente a algunos grados de libertad en el surgimiento de nuevos paradigmas tecnológicos socava actualmente el rol de la tecnología como variable *suficiente* para generar ciclos relativamente regulares en la actividad económica, aunque probablemente sigue siendo una variable necesaria. Para desarrollar nuestro argumento, sin embargo, debemos analizar más profundamente el rol del progreso técnico, tanto normal como extraordinario, en la conformación del crecimiento económico. Mencionamos más arriba que el surgimiento de nuevos paradigmas tecnológicos a menudo involucra poderosas complementariedades entre los diferentes desarrollos tecnológicos y las interdependencias entre las industrias<sup>14</sup>. Podemos ver la relación entre dichas complementariedades y el agrupamiento de las innovaciones y su difusión tal como lo sugieren Clark, Freeman y Soete. El desarrollo de nuevos paradigmas tecnológicos puede inducir a la aparición de mecanismos de autorrefuerzo. Coombs ofrece un modelo convincente de círculos virtuosos entre diferentes industrias.

El concepto de interrelación industrial y estimulación recíproca tanto para el crecimiento como para el progreso técnico puede ser aprehendido mediante la noción -que podemos encontrar en la literatura económica francesa- de *filière*<sup>15</sup>. Una *filière* es un grupo de sectores o actividades que están interconectadas tanto por relaciones insumo-producto como por interdependencias tecnológicas<sup>16</sup>. Casi con seguridad, la precisa identificación de cada *filière* requiere gran cantidad de juicios cualitativos *a priori*. Un útil instrumento teórico, sin embargo, es el de *sectores integrados verticalmente*<sup>17</sup>. Podemos de este modo replantear nuestro argumento de la siguiente manera: el surgimiento de nuevos paradigmas tecnológicos

<sup>14</sup> Rosenberg, referencia 25.

<sup>15</sup> Sic en le original (N. de la T.) Ver entre otros, F. Perroux, "L'Effet d'entraînement: de l'analyse au repérage quantitatif", *Economie Appliquée*, 1973; D. Pastre y J. Toledano, *Filières d'entraînement et effets externes: le développement de la filière "Composants Electroniques" et ses effets sur l'emploi*, ADEFI, Chantilly, 1975; G. Lafay, A. Brender y A. Chevallier, "Trois expériences de la spécialisation internationale: France, Allemagne Fédérale, Japon", *Statistiques et Etudes Financières*, 1977.

<sup>16</sup> Podemos ver, por ejemplo, un efecto *filière* "vertical" entre los componentes electrónicos, las computadoras, las telecomunicaciones, etc., o un efecto "horizontal" entre las diferentes tecnologías químicas - ver G. C. Hufbauer, *Synthetic Materials and the Theory of International Trade* (Londres, Duckworth, 1966), también comentado en C. Freeman, J. Clark y L. Soete, *Unemployment and Technological Innovation: a Study of Long Waves and Economic Development* (Londres, Frances Pinter, 1982).

<sup>17</sup> L. L. Pasinetti, *Structural Change and Economic Growth* (Cambridge, Cambridge University Press, 1981). F. Momigliano y D. Simscalco están realizando una investigación muy interesante tratando de calcular el monto total de empleo creado en cada sector verticalmente integrado (para un informe de avance: "Terziario Totale e Terziario per il Sistema Produttivo", *Economia e Politica Industriale*, 1981).

activa la expansión de uno o -más probablemente- varios sectores integrados verticalmente que representan -o están vinculados con- las nuevas tecnologías y productos. En términos macroeconómicos, el surgimiento de nuevos sectores y actividades industriales junto con tecnologías radicalmente nuevas para hacer las cosas viejas puedan ser consideradas una *expansión autónoma de la demanda efectiva* (tanto por medio de la demanda *ex novo* para los nuevos productos de consumo como por medio de inversión "autónoma", es decir, la inversión no inducida vía mecanismos de la aceleración o de ajuste de stock).

Hemos sostenido el argumento de que el *surgimiento* de nuevos paradigmas tecnológicos no puede ser imputado directamente al estímulo económico. Por otra parte, el despegue y la expansión económica de las nuevas *filières* encuentran en los nuevos paradigmas tecnológicos emergentes sólo un conjunto de condiciones, necesarias, pero, repetimos, no suficientes. Lo que se necesita a menudo son condiciones institucionales, económicas y sociales. Este punto puede ser ilustrado con un ejemplo. A menudo nos referimos al periodo posterior a la Segunda Guerra Mundial como una fase ascendente (*upswing*), en términos de Kondratiev, basado en la electrónica, los químicos sintéticos, etc. Consideremos la *filière* anterior. El despegue económico de las industrias electrónicas fue permitido por el surgimiento de una nueva tecnología (la microelectrónica), que es, en muchos sentidos, la condición necesaria, pero contextualmente también fue posibilitado por factores institucionales (por ejemplo, las políticas militares y espaciales norteamericanas) y por condiciones macroeconómicas y sociales (por ejemplo, la decisión de adoptar políticas públicas de crecimiento con tasas relativamente altas y distribuciones de ingreso relativamente "democráticas") que garantizaban una rápida expansión de la demanda de bienes de consumo electrónicos, buenas relaciones laborales, altas tasas de beneficio, etc.). Los círculos virtuosos son a menudo tan difíciles de desenmarañar como los círculos viciosos. Tenemos tendencia a creer que las condiciones tecnológicas por sí solas *no* pueden poner nuevamente en marcha el motor económico, luego de una detención importante. Sin embargo, las mismas condiciones tecnológicas (por ejemplo, el crecimiento de una nueva *filière*) pueden *mantener* el rápido crecimiento en toda ocasión en que las condiciones tecnológicas, sociales y económicas hayan puesto en marcha al sistema<sup>18</sup>. Ciertamente, esta visión es menos directa que un modelo cerrado basado en un bucle de dos direcciones entre las condiciones económicas y la tecnología, pero nos parece que se adecua mejor a la complejidad de las dinámicas de nuestros sistemas económicos.

<sup>18</sup> Esto parece también ser el resultado implícito del modelo de Clark, Freeman y Soete, que no está "cerrado" porque no determina la tecnología en una forma totalmente endógena. De este modo, no puede pronosticar con precisión los puntos variables y los mecanismos cambiantes de los ciclos. Esto es, según nuestro punto de vista, una *ventaja*, porque permite grados de libertad a otras importantes variables sociales y económicas. En un sistema cerrado, las guerras, por ejemplo, sólo pueden ser una variable completamente dependiente o un accidente.

Examinemos brevemente los factores "de enfriamiento" del sistema, relacionados con la tecnología. En primer lugar, el progreso técnico normal a lo largo de una trayectoria tecnológica está, por así decirlo, restringido dentro de las fronteras tecnológicas definidas por un paradigma tecnológico básico que, también, como discutimos más arriba, define el "alcance del progreso" y las concesiones recíprocas implícitas en el sendero de avance tecnológico. Este es un primer factor que puede disminuir la velocidad del impulso de crecimiento asociado con el surgimiento de una nueva tecnología: las leyes de la física pueden representar cada vez más un límite asintótico para cualquier otro posterior avance tecnológico.

En segundo lugar, además, si la rentabilidad de las nuevas actividades comienza a declinar luego de un cierto tiempo, y si las innovaciones, difusión e inversiones posteriores son, *ceteris paribus*, función de la rentabilidad, quiere decir que está operando un segundo factor retardante. (Para nosotros no está claro en qué medida una posible caída de la tasa de rentabilidad puede relacionarse con los factores microeconómicos tales como la pérdida, a través de la competencia, de los beneficios "supra-normales" y el incremento de los costos de los insumos, y cuánto, por el contrario, se debe a condiciones macroeconómicas como los cambios en la distribución del ingreso<sup>9</sup>).

En tercer término, como lo ha sugerido un trabajo de Freeman, luego del establecimiento de una trayectoria normal de progreso técnico, el equilibrio entre los efectos de creación de puestos de trabajo y de desplazamiento de la mano de obra producidos por el progreso técnico puede cambiar a favor del primer efecto<sup>10</sup>. Podemos subdividir el argumento en tres partes.

Primero, podría muy bien ser que para niveles *dados* de actividad macroeconómica el equilibrio existente entre el crecimiento de la productividad (y, por consiguiente, desplazamiento de la mano de obra) en los sectores verticalmente integrados *existentes* y la creación de *nuevos* sectores integrados verticalmente,

<sup>9</sup> Desde nuestro punto de vista, el modelo elemental de Metcalfe es más convincente en su segunda interpretación que la primera. En otras palabras, en el ejemplo de la electrónica, la tasa de beneficio cae -si es que lo hace- no porque sube el precio del silicio y/o de la mano de obra vinculada con la electrónica, sino en razón del alza *general* de los salarios y posiblemente de otros insumos asociados con altos niveles de crecimiento y generalmente con los factores macroeconómicos y sociales. En lo referente al nivel microeconómico, tratamos de mostrar, en Dosi, nota 1, que a lo largo de la historia de los semiconductores, el grado de oligopolio no sufrió ningún cambio destacable, ni tampoco lo hizo la tasa de beneficio, a pesar del hecho de que las fuentes de este poder oligopólico fueron cambiando. Sobre el rol de la rentabilidad en los ciclos largos, ver F. Chesnais, "Schumpeterian recovery and Schumpeterian perspective - some unsettled issues and alternative interpretations", in H. Giersch (ed.), *Proceedings of Conference on Emerging Technology: Consequences of Economic Growth, Structural Change and Employment in Advanced Open Economies* (Tübingen, J. C. B. Mohr, 1982).

<sup>10</sup> Ver C. Freeman, "The Kondratiev long waves, technical change and unemployment", in *Structural Determinants of Employment and Unemployment* (Paris, OCDE, 1977). Hay una completa y convincente discusión sobre el tema en Pasinetti, nota 61.

correspondientes a los nuevos productos, tiendan a cambiar en favor de los primeros. Esto no debería sorprendernos: en la etapa de selección de nuevas trayectorias tecnológicas (que corresponde también a los nuevos productos) es difícil explotar toda la productividad potencial de la mecanización, la automatización, las economías de escala, etc., mientras que éstas pueden tener pleno efecto cuando una tecnología está completamente establecida.

Segundo, la tasa de crecimiento de la demanda (es decir, la tasa de expansión del producto físico de cada sector verticalmente integrado) posiblemente se haga menor una vez alcanzado cierto nivel. Esto apunta claramente a la cuestión de la saturación de la demanda. La subestimación de este factor en la literatura (y la correspondiente confianza en un "efecto de compensación" significativo, por medio del efecto de los precios relativos sobre la demanda) se debe, tal vez, al enfoque neoclásico de la utilidad en cuanto a la estructura del consumo, que sugiere una amplia sustitución. La sustitución, por el contrario, puede no ser tan importante, y la canasta de consumo puede estar determinada por ordenamientos de prioridades con bases antropológicas o históricas que tienen poco que ver con la estructura de precios relativos. Independientemente de cuánto pueda bajar el precio real de los televisores, es difícil imaginar que la gente comprará, digamos, veinte televisores por familia. Del mismo modo, no importa cuánto caiga el precio relativo de los plásticos *vis à vis* el acero: después de un cierto punto la demanda estará limitada por la demanda final de productos que incorporen plásticos. Los cambios importantes en la estructura de consumo agregado pueden asociarse con los cambios históricos en la estructura social (y en alguna medida con la distribución del ingreso).

Tercero, hemos sugerido más arriba que dentro de las fronteras de las trayectorias tecnológicas definidas hay una capacidad de respuesta en la tasa y dirección del progreso técnico hacia los cambios del entorno económico. En particular, es posible que, luego de un periodo de crecimiento sostenido, con tasas de actividad cercanas al pleno empleo y, probablemente crecientes demandas salariales y conflicto laboral en aumento, se incremente la presión que se ejerce sobre el cambio tecnológico para que ahorre mano de obra. En otras palabras, por encima del efecto "normal" de ahorrar fuerza de trabajo asociado con la innovación tanto de proceso como de producto en el sector productor de bienes de capital, es muy probable que haya una *aceleración* de esas tendencias (repetimos, dentro de los límites fundamentales determinados por los paradigmas tecnológicos).

Nuevamente, estos efectos relacionados con la tecnología pueden interactuar con factores macroeconómicos y sociales que traen presiones recesivas para el sistema.