

3-1)

La naturaleza de la innovación y la evolución del sistema productivo*

Christopher Freeman

I. Introducción y resumen

En este capítulo se discute la relación entre los cambios en la productividad y la innovación técnica. En tanto los economistas siempre han aceptado que el cambio técnico es una fuerza fundamental que provoca el crecimiento de la productividad, no es menos cierto que han tenido diferencias sobre los supuestos y sobre las teorías de sus orígenes y su impacto. Algunos han enfatizado sus aspectos 'exógenos', describiéndolos como 'maná del cielo'. Otros sostuvieron, siguiendo a Schmookler (1961), que las invenciones e innovaciones son actividades endógenas de la economía y responden a presiones en la demanda o cambios en los costos de los factores. Estos economistas tendieron a remarcar la naturaleza fluida y continua del cambio técnico, mientras que otros, siguiendo a Schumpeter (1912) lo presentaron como una serie de choques o explosiones, desparejos en cuanto a su incidencia en el espacio y el tiempo. Subrayaron los desarrollos, impredecibles y en general autónomos, de las ciencias básicas en su interacción con la tecnología y el rol creativo y pionero de los empresarios innovadores, con características que diferían de los rutinarios managers y hombres de negocios comunes. La visión de Schumpeter se analiza en la Sección III.

Cuando se los presenta por primera vez, por definición y porque simplemente marcan un corte con la práctica de la producción y experiencia del pasado, tanto el *management* como la fuerza de trabajo no están familiarizados con los productos y procesos radicalmente nuevos, y, en algunos casos, se resisten a su introducción. Es más, incluso con la investigación y desarrollo mejor organizados rara vez es posible eliminar todos los defectos en la etapa de I y D. Casi siempre hay problemas 'de crecimiento' con las innovaciones radicales, que pueden prolongarse durante años. Los estudios de caso sobre los inventos e innovaciones radicales, como el de Jewkes, Sawers y Stillerman (1958), proveen de abundante evidencia sobre esta proposición. Consecuentemente, aunque los empresarios, in-

* "The nature of innovation and the evolution of the productive system". *The Economics of Hope. Essays on Technical Change, Economic Growth and the Environment*, cap. 4, Pinter Publishers, London. Este capítulo fue presentado originalmente como artículo en el Seminario Internacional de Ciencia de la OCDE. Traducción: Alicia Calvo.

genieros y científicos más imaginativos puedan estar bastante seguros de los beneficios finales en lo técnico y lo económico, a menudo se ven decepcionados en sus expectativas de rápida productividad y rentabilidad. Por esta causa, las estrategias del 'yo también' (imitador) o 'el segundo en rapidez' se prefieren a las tribulaciones que se sufren por ser el primer innovador. También por esta razón, así como por los problemas de aceptación en el mercado, la mayoría de los estudios de difusión comienzan con la parte más plana de la familiar curva en S.

Para superar los problemas de crecimiento de las innovaciones radicales se necesitan generalmente innovaciones incrementales, de manera que las experiencias de los usuarios y productores son tomadas en cuenta para rediseñar productos y procesos. Estas mejoras continúan a lo largo de la vida del producto de manera que, una vez que comienza la rápida difusión, una combinación de aprender haciendo (*learning by doing*), aprender usando (*learning by using*) y economías de escala puede producir fuertes incrementos de productividad durante un periodo considerablemente prolongado, incluso de varias décadas. Al final, sin embargo, las mejoras incrementales posteriores comienzan a chocar contra los límites tanto de escala como técnicos (Ley de Wolf). Aunque los incrementos de productividad más lentos pueden continuar durante un largo tiempo y aún recibir más estímulos provenientes de la competencia con otras nuevas innovaciones radicales, al final el foco cambia hacia tipos de producción radicalmente nuevos que ofrezcan una vez más la aptitud *potencial* de aportar más incrementos significativos.

Sin embargo, el análisis del aumento de la productividad no puede restringirse al nivel de la innovación aislada. Toda la evidencia empírica apunta a la interdependencia entre muchas innovaciones radicales e incrementales. Tanto los historiadores de la tecnología (como Gille, 1978) como los estudios sobre la difusión (por ejemplo, el de Gold, 1981), señalan la importancia de los 'sistemas' de innovación o las 'redes' de elementos interdependientes. Los ejemplos obvios son los sistemas de energía eléctrica, los ferrocarriles y las telecomunicaciones. En estos casos, el éxito de cualquier innovación depende a menudo de modificaciones realizadas en alguna otra parte del sistema y las fallas de equilibrio son poderosos desencadenantes de innovaciones complementarias (Rosenberg, 1976, 1982). Estos aspectos sistémicos de la innovación están más extendidos de lo que comúnmente se cree, porque muchas innovaciones radicales requieren de nuevas combinaciones de *inputs*, tales como materiales, instrumentos y maquinaria, así como de nuevas calificaciones. Los nuevos sistemas tecnológicos se presentan en la Sección IV.

Los aumentos en la productividad del sistema dependen, por consiguiente, de una combinación de innovaciones interrelacionadas, de tal modo que el tiempo necesario para que se comprendan cabalmente las posibilidades de producir incrementos sustantivos en la productividad es más largo, y normalmente se extienden

de durante décadas en lugar de años. Si se necesitan también nuevas inversiones en infraestructura y el nuevo sistema tecnológico es tan extenso e influyente que afecta la *performance* de toda la economía, esto significa un cambio de 'paradigma técnico-económico' (Pérez, 1983). La sección final de este artículo, sección V, postula que un cambio semejante hacia un nuevo paradigma 'de tecnología de la información y de la comunicación' estuvo en la base de algunos de los movimientos paradójicos de la productividad en las décadas del 70 y 80.

II. Schumpeter

Cualquier intento de discutir el rol de cambio técnico en la teoría económica debe remitirse a Schumpeter. Casi solo entre los economistas del siglo XX, trató de colocar a la innovación técnica en el corazón de su sistema. Sin embargo, en los trabajos de Schumpeter tal como ocurre con otros economistas, encontramos algo de dualismo. Por un lado, en su *Teoría del Desarrollo Económico* (1912), la ciencia y la tecnología son tratadas, por lo menos implícitamente, como exógenas al sistema. Por otro, en su famoso artículo sobre la 'Inestabilidad del capitalismo' (1928), y más aún en sus obras posteriores (como el texto de 1943), enfatizó el rol de la 'I y D burocratizada' que se había convertido en una función internalizada de las grandes empresas, y también en la fuente de su supuesta superioridad competitiva. Tan fuerte era este contraste que Almarin Phillips (1971) llegó a hablar de 'dos Schumpeters' -el joven y el viejo. Sin duda que hay alguna validez en esta distinción, pero también es posible ver ese contraste como un reflejo del propio sentido histórico que tenía Schumpeter de los cambios que, a lo largo de su vida, se estaban operando en el proceso de innovación técnica (Freeman, Clark y Soete, 1982). Sea como fuere, es evidente que cualquier intento de tratar los temas de exogeneidad y endogeneidad debe comenzar con una crítica al enfoque de Schumpeter.

Ruttan (1959) sostuvo que Schumpeter ni siquiera tenía una teoría de la innovación. Esto es presentar la cuestión de una manera demasiado fuerte. Schumpeter tenía una teoría de la innovación, aunque tuviera un solo lado y se subordinara a su teoría sobre el empresariado. Esto lo llevó a descuidar la innovación incremental, por un lado y, por otro, a relegar las interdependencias entre las innovaciones radicales más importantes. Su teoría de la innovación estaba basada en su definición de 'empresario', aquel individuo (o combinación de individuos) responsable de las decisiones del negocio que permitían la introducción de nuevos productos, procesos y sistemas, o la apertura de nuevos mercados y nuevas fuentes de aprovisionamiento. Desde su punto de vista, una conducta empresaria tan innovadora era un acto 'no del intelecto sino de la voluntad', y su liderazgo creativo era la fuente del enorme dinamismo en la sociedad capitalista. Esto lo llevó a concentrar su atención en los tipos de innovación más espectaculares, 'heroicos', que estaban identificados con individuos destacados y que reflejaban el cli-

ma de los años previos a la Primera Guerra Mundial. Reconoció empresarios corporativos y hasta estatales (Schumpeter, 1939, p. 346), pero estas figuras adaptaban con mayor dificultad a su esquema.

La fuente de las ideas técnicas y científicas, que estaba, en última instancia, corporeizada en nuevos procesos y productos mediante un acto del empresario, nunca fue algo que lo preocupara mucho. Aunque consistentemente destacaba la importancia de la historia en las ciencias sociales, de modo alguno era un historiador de la ciencia o la tecnología y en todo el trabajo de Schumpeter hay sorprendentemente poco sobre el aspecto técnico de los inventos o las innovaciones. A este respecto, su enfoque fue similar al de los economistas del 'maná del cielo'. Sin embargo, no consideró en lo absoluto que el flujo de innovaciones técnicas y organizacionales fuera un proceso fluido y continuo alimentado por una corriente regular de desarrollos exógenos en ciencia y tecnología. Por el contrario, nadie enfatizó más que Schumpeter las características de desigualdad, discontinuidad e impredecibilidad del cambio técnico, que es 'más como una serie de explosiones que una transformación suave pero incesante' (Fels, 1964, p. 75). Las innovaciones son 'desparejas, discontinuas y poco armónicas por naturaleza' y ni siquiera están distribuidas regularmente a lo largo del tiempo o del espacio, sino que tienden a agruparse 'porque primero algunas y luego la mayoría de las firmas, siguen la estela de las innovaciones exitosas'.

Su bien conocida distinción entre 'invención', 'innovación' y difusión, que ha sido adoptada en adelante por la mayoría de los análisis económicos del cambio técnico, sirvió para destacar el rol del empresario en todo el proceso y para poner el énfasis principal en las innovaciones más radicales. Tanto la invención como la difusión quedaron relegadas a un estatus en cierta forma inferior. El rol de inventor, aunque por supuesto fue reconocido, no era comparable al del innovador, aun cuando los roles podrían en algunos casos estar combinados en la persona del empresario-inventor. Muchos inventos nunca habrían llegado más lejos que el laboratorio o el proverbial altílo, o hubieran juntado polvo en la oficina de patentes. Solamente un acto del empresario innovador sacaría un invento del estatus de curiosidad científica para convertirlo en un artefacto comercial: para Schumpeter, esto era la verdadera y única fuente de beneficios y crecimiento en la sociedad capitalista, de la cual era el rasgo más característico.

Del mismo modo, la drástica separación que hacía Schumpeter entre innovación y difusión estaba vinculada a una clara división entre los empresarios 'creativos' y los *managers* 'meramente' rutinarios (los hombres de negocios normales), que simplemente seguían la estela de los líderes de la actividad. Rosenberg (1976) en particular ha enfatizado con consistencia sobre los peligros de esta dicotomía schumpeteriana (o tricotomía si se incluye a los inventores). Repetidamente ha señalado que el producto o proceso que se está difundiendo entre una población que los adopta está sujeto a un continuo proceso de mejora y modifi-

cación, de manera que la difusión es rara vez un simple proceso de reapiación por parte de imitadores poco imaginativos.

Para ser justos con Schumpeter, hay que decir que ocasionalmente él mismo destacó este punto, como cuando lo relaciona con la historia del automóvil. Señaló que 'los que siguen a los pioneros también son emprendedores, aunque en un grado que disminuye paulatinamente hasta llegar a cero' (Schumpeter, 1939, p. 414). No obstante, el principal interés de este argumento es indudablemente poner de relieve la figura del empresario - innovador y restarle peso, en cierta forma, al grupo de eventos constituido por el ciclo "difusión - mejora - aprender haciendo - aprender usando", y también al nexo entre ciencia, tecnología e invención que conduce a la innovación. Sin embargo, es precisamente la interdependencia entre invención, innovación y difusión lo que surge de la mayoría de los trabajos empíricos sobre cambio técnico, desarrollados en los aproximadamente cuarenta años transcurridos desde la muerte de Schumpeter. La mayoría de los incrementos de productividad asociados con la difusión de nuevas tecnologías no surgen como consecuencia inmediata de la primera innovación radical. Por el contrario, en general son logrados sólo como resultado de un proceso bastante largo que incluye aprender, mejorar, lograr la escala adecuada y modificar los nuevos productos y procesos. Esto comporta muchos inventos e innovaciones concomitantes a lo largo de la vida comercial del producto o del sistema. La máquina de vapor, la generación de electricidad, el automóvil y la computadora son ejemplos obvios.

Llegados a este punto, podríamos aducir que todos estos ejemplos son atípicos. Se trata de innovaciones extremadamente importantes, que eran sistémicas por naturaleza, y cada una de ellas puso su sello sobre toda una era histórica del desarrollo de la tecnología. Pero éste precisamente es el punto. No es posible considerar a todas las innovaciones como si fueran eventos aislados e iguales. Una teoría satisfactoria del cambio técnico debe abarcar la taxonomía de la innovación, que reconoce las diferencias cualitativas entre los diferentes tipos de innovación y sus interdependencias sistémicas. Aunque hay algunas señales de esto en Schumpeter, el enfoque básico de este autor impedía su desarrollo completo. Pese a que reconocía la importancia del trabajo de Gilfillan, deliberadamente eligió enfatizar otros aspectos del proceso.

III. Las innovaciones radicales y las incrementales

El trabajo de Schumpeter sobre la sociología de las innovaciones (y él era tanto sociólogo como economista) (Shionoya, 1986), difería de la obra de Gilfillan (1934) sobre la sociología de la invención, a pesar de su intento (1939, p. 226) para reconciliar ambos enfoques. Gilfillan destacó la corriente, continua y a menudo anónima, de descubrimientos, inventos y mejoras, y asignaba menor impor-

tancia a los procesos individuales de invención y emprendimiento que eran los principales intereses de Schumpeter. Muchos de los más recientes trabajos empíricos sobre el cambio técnico han reivindicado el énfasis puesto por Gilfillan sobre un proceso bastante regular de innovaciones incrementales a lo largo de periodos extensos, y sobre la gran importancia que tiene el aprender haciendo (*learning by doing*) y el aprender usando (*learning by using*). Estas expresiones, introducidas por Arrow (1962), von Hippel (1976) y otros economistas post-schumpeterianos, se han vuelto parte de la jerga aceptada del análisis del cambio técnico. Más recientemente, la expresión 'aprender por la interacción' (*learning by interacting*) (Lundvall, 1988) también se ha vuelto parte de la terminología corriente, y sirve para destacar la interdependencia mutua entre los 'proveedores' y 'usuarios' de las innovaciones dentro de un sistema nacional o internacional. Aunque el propio Gilfillan no usó ninguna de esas expresiones, se trata de un desarrollo y un refinamiento lógicos a partir de su trabajo. En realidad son, esencialmente, una elaboración de un aspecto del abordaje del cambio técnico ya desarrollado por Adam Smith y Karl Marx.

Aunque Smith ponía el acento en el rol combinado de productores y usuarios de las máquinas como fuente conjunta de mejoras técnicas, también señalaba a los científicos ('filósofos') cuyo papel es especular y combinar la comprensión de objetos disímiles. Marx también subrayó la manera en que los usuarios de herramientas y máquinas las modificaban para cubrir las innumerables y cambiantes necesidades de las aplicaciones específicas, como en el ejemplo (Clark y Juma, 1988) de la amplia variedad de martillos que se usaban en los talleres de ingeniería británicos durante la Revolución Industrial. Sin embargo, Marx también reconoció las formas en las que la ciencia era incesantemente empujada hacia el servicio directo de la producción.

Smith y Marx estaban interesados en los detalles del cambio técnico y reconocían el rol de la ciencia así como el de las modificaciones incrementales en el proceso de cambio del sistema productivo. Sin embargo, la mayoría de los economistas neoclásicos prefirieron sustraerse de esta preocupación poco elegante por la innovación. Rogers (1962) pudo encontrar sólo un estudio de caso de la difusión industrial de las innovaciones realizado por un economista. Sin embargo, desde la década del 50 ha existido un resurgimiento de la investigación empírica, de modo que ahora tenemos mucha más evidencia sobre la cual basar las generalizaciones sobre el rol de los productores y de los usuarios de las innovaciones durante la difusión.

Entre otros muchos estudios del cambio técnico en industrias específicas, hay dos en particular que demuestran ampliamente el papel del aprender haciendo y el aprender usando sobre la innovación incremental. Son el de Hollander (1965), un trabajo sobre las plantas de DuPont para la producción del rayón, y el de Townsend (1976), un estudio sobre la máquina de Anderton-Boyles para desme-

nuzar y cargar el carbón, y el papel que le cupo en la mecanización de la actividad subterránea en la industria minera británica. El detallado estudio longitudinal de Hollander mostró que el 90 por ciento de los continuos incrementos de productividad logrados en las plantas de rayón de DuPont en la década del 50 podrían ser adjudicados a las mejoras incrementales en la operación de la planta introducidas por los ingenieros (en producción y en sistemas) y los operarios, y, por el contrario, no podrían ser atribuidos al esfuerzo del departamento central de I y D de la firma. Townsend mostró que luego del desarrollo y fabricación original de la máquina de desmenuzar y cargar, realizados por el mismo Anderton-Boyles (quien, a su vez, se basó en los experimentos iniciados por un ingeniero en producción y realizados en la mina con un prototipo), se hicieron cientos de mejoras incrementales al diseño durante las décadas del 50 y 60. Estas surgieron de sugerencias realizadas en la mina y fueron puestas en práctica por los fabricantes, tal como lo había indicado Adam Smith. También aquí, el proceso de innovación incremental llevó a aumentos muy sustanciales de la productividad, particularmente cuando la máquina fue modificada para adecuarse a la amplia variedad de condiciones geológicas y a los severos requerimientos de seguridad exigidos por las pruebas de la Cámara del Carbón.

Estos dos estudios son ejemplos típicos de otros muchos que han confirmado ampliamente que las mejoras incrementales asociadas con el aprender haciendo y usando, son ciertamente una forma importantísima de aumentos de productividad en muchas industrias. Tales mejoras incrementales no son, por supuesto, un simple proceso de cambio técnico, sino que también implican innovación *organizacional* y mejora de las calificaciones basadas en la experiencia. Es difícil distinguir el rol de los heroicos empresarios de Schumpeter dentro de este proceso más bien monótono, excepto, tal vez, en cuanto a la creación de un entorno receptivo a las ideas innovadoras de los ingenieros, trabajadores y usuarios. Como lo ha mostrado Pavitt (1984), se trata de un largo proceso de acumulación de conocimiento tanto tácito como formal en el interior de las empresas.

¿Significa todo esto que el énfasis que ponía Schumpeter sobre los grandes saltos creativos estaba completamente mal colocado y que el incrementalismo al estilo de Gilfillan, combinado con el aprender haciendo de Arrow, dan cuenta de forma satisfactoria de la innovación en la sociedad capitalista? De ninguna manera. Instructivos como son los estudios de Hollander, Townsend y otros similares, reflejan sólo una parte del complejo conjunto de las actividades innovadoras que transforman el sistema productivo. Los trabajos sobre la mejora incremental deben completarse con otros estudios sobre las discontinuidades más radicales de la economía. Independientemente de la magnitud de la mejora experimentada por la operación subterránea de la desmenuzadora-cargadora mediante las recomendaciones de los usuarios, nunca hubiera podido llegar a convertirse en un sistema de trabajo en la mina con movimiento automático basado en sensores y controles electrónicos. Tales cambios no pueden surgir de las innovaciones puramente in-

crementales asociadas con hacer o usar. O, como Schumpeter mismo dice, aunque se pongan juntas muchas diligencias no se logrará obtener una locomotora a vapor o un sistema ferroviario. Una teoría satisfactoria de la innovación debe reunir al incrementalismo de Gilfillan y el empresariado de Schumpeter con las discontinuidades más radicales tanto en productos como en procesos, en las líneas propuestas por Enos (1962), Mensch (1975) y otros.

Las mejoras incrementales tienen sus limitaciones. Hay límites técnicos al uso de velas para la iluminación, o el uso de caballos para la tracción, del hierro y el acero como materiales para la ingeniería, del ábaco para el procesamiento estadístico o de la válvula (o lámpara) en las computadoras electrónicas. No hay cantidad de experiencia, aprendizaje o mejora técnica y organizacional que alcance para superar estas limitaciones, aunque la llegada de una innovación radical (y discontinua) puede, a veces, estimular por fin el surgimiento de innovaciones incrementales -el denominado 'efecto del barco a vela', que debería ser más bien llamado 'efecto del buque a vapor', porque fue la aparición de la innovación radical lo que condujo a la ola final de mejoras en el diseño de los barcos veleros. Tanto los economistas como los tecnólogos han demostrado que cualquier mejora incremental tiene una tendencia al asintotismo hacia límites que pueden ser económicos, técnicos o de ambas clases.

El logro de una escala adecuada para una planta o equipo es un proceso que, en período de la posguerra, ha dado origen a enormes aumentos de productividad en industrias como las del acero, petroquímicas, refinerías de petróleo (Enos, 1962), o transportes marítimos, aéreos y por carretera. Sin embargo, cuando nos acercamos a los límites técnicos (Ley de Wolf), hay un aumento de los costos por cada pequeña mejora adicional. Similares limitaciones pueden afectar tanto al mejoramiento de unidades muy grandes y a la comercialización del producto en relación con el transporte y la distribución. De esta manera, los barcos petroleros y las plantas de etileno han llegado probablemente al límite eficiente de sus aumentos de escala. En muchas industrias, como las del acero, la tendencia a favor de la construcción de plantas con mayor capacidad ha sido revertida a partir del momento en que los incrementos de productividad logrados mediante las nuevas tecnologías, la operación con ayuda de instrumental y sistemas de control electrónico, y la comercialización y distribución controlados por computadora, resultaron mayores que los conseguidos mediante el aumento de la escala hasta llegar al gigantismo.

Schumpeter no estaba equivocado cuando destacaba la importancia de las 'revoluciones industriales sucesivas' y de las discontinuidades radicales en el sistema productivo, o cuando reconocía las enormes dificultades y riesgos a los que se enfrentaba el empresario innovador en sus intentos por lograr innovaciones radicales. El clásico de Jewkes, Sawers y Stillerman (1958) no sólo demuestra la extraordinaria persistencia de los inventores a pesar de toda clase de desilusiones,

pero también muestra que el desarrollo final y la comercialización de los inventos de gran importancia dependen ciertamente de actos de los empresarios, independientemente de que sean firmas grandes o pequeñas, o de que el inventor sea también el empresario o no.

Una teoría satisfactoria de la innovación, por lo tanto, debe tomar en cuenta tanto las innumerables mejoras incrementales como las discontinuidades radicales. Aunque la línea que señala la frontera entre una y otra a veces sea difícil de trazar, como es el caso con todas las distinciones, hay realmente una importante diferencia entre la introducción del nylon o de la electricidad, y la mejora incremental en la manufactura del rayón o los motores a vapor. En el caso de las innovaciones incrementales, los cambios que se operan pueden ser expresados como cambios en los coeficientes de la matriz de insumo-producto del conjunto existente de productos y servicios. En el caso de las innovaciones radicales, lógicamente, serán necesarias nuevas filas y columnas porque cambian el abanico de productos y servicios y no sólo la eficiencia en el uso de los *commodities* existentes. En la práctica, por supuesto, siempre hay largas demoras antes de poder incorporar productos enteramente nuevos, como las computadoras electrónicas, en los sistemas estadísticos, como lo son los cuadros de insumo-producto. Primero aparecen en 'categorías bolsón', tales como productos 'no clasificados en otra categoría', pero esto no invalida el argumento básico.

Las innovaciones radicales causan cambios estructurales en la economía y en última instancia llevan a la aparición de ramas industriales completamente nuevas. Son, ciertamente, como insistía Schumpeter, la fuente principal del desarrollo dinámico, que distingue al capitalismo de los sistemas de producción anteriores. Actualmente requieren diferentes tipos de I y D, distintas relaciones con las ciencias básicas, nuevas formas de comercialización y financiamiento y diferentes tipos de input, y llevan a diferentes patrones de incremento de productividad. Por definición necesitan calificaciones y organización gerencial bastante nuevos, así como diferentes tipos de equipo. Mensch (1975) definió a las innovaciones radicales ('innovaciones básicas') como aquellas que requieren un nuevo tipo de instalación para su producción, y/o la existencia de nuevos mercados.

Para las variaciones de productividad, la diferenciación entre innovaciones incrementales y radicales es claramente de importancia decisiva. Los incrementos de productividad, importantes y sostenidos, tienen posibilidades de lograrse durante la fase principal de *mejora* incremental o por medio de una innovación radical, pero no en la temprana fase de *introducción*, cuando la escala de producción es aún demasiado pequeña como para lograr economías de escala, cuando la estandarización del aprovisionamiento de nuevos materiales y componentes todavía no ha tenido lugar y cuando los diseños tanto de los productos como de los procesos aún están en el período de flujo. Estas consideraciones cobran una importancia todavía mayor cuando consideramos los aspectos *sistémicos* de la ma-

yoría de las más importantes innovaciones radicales. El salto *potencial* a niveles mucho más altos de productividad pueden convertirse en realidad sólo cuando está complementado por un amplio espectro de innovaciones adicionales, incluyendo especialmente a las organizacionales, gerenciales y sociales. Keirstead (1848) fue uno de los primeros economistas en reconocer explícitamente la gran significación económica de estos conjuntos, que él definió como 'constelaciones' de innovaciones.

IV. Las innovaciones radicales y los nuevos sistemas tecnológicos

Como destacara Spike Milligan, un teléfono no servía de mucho sin un tablero de conmutación que lo conectara con otros. Las innovaciones no son un grupo de eventos aislados sino que están inevitablemente vinculados con otros, tanto en su basamento técnico y científico como en sus conexiones físicas con otras partes del sistema económico. A menudo pueden inducir a otras innovaciones, tanto directa como indirectamente. Los historiadores de la tecnología, como Gille (1978), Hughes (1982) y Rosenberg (1976, 1982), han señalado numerosos ejemplos. Hughes (1982) mostró que en redes complejas de aprovisionamiento, como las de energía eléctrica, la innovación en una parte de la red puede dar origen a intensos esfuerzos de los ingenieros para resolver problemas concomitantes o restaurar el equilibrio en todas las demás partes. Rosenberg (1976) insiste con razón en que lo que está involucrado no es tan sólo ese mecanismo inductivo que constituyen los costos relativos de los factores, sino que hay también un complejo ir y venir entre las nuevas posibilidades y 'trayectorias' tecnológicas, las diferentes presiones de costos y los defectos o desequilibrios del sistema.

Por ejemplo, tanto Rosenberg (1976) como Rolt (1970) han demostrado que, en la primera Revolución Industrial, la tecnología de las máquinas-herramienta tuvo una influencia decisiva sobre toda clase de innovación en materia de bienes de capital ocurrida durante los siglos XVIII y XIX. Rolt (1970, p. 128) destaca que el motor de vapor de Watt seguía siendo una buena idea en la mente de su inventor hasta que John Wilkinson desarrolló una máquina que podía sostener un cilindro con suficiente precisión. 'De allí en adelante se hizo claramente evidente que el progreso de la ingeniería estaría gobernado por la habilidad que tuviera el taller de invención de máquinas para transformar las nuevas ideas en artefactos útiles'. Rolt atribuye a Henry Maudslay un cierto número de innovaciones que facilitaron este tipo de avance técnico en otras industrias:

Fue el primero en darse cuenta de que la precisión del trabajo de sus máquinas dependía de cuatro cosas: roscas (tranzuras helicoidales) perfectas en todas las superficies; superficies verdaderamente planas, absoluta rigidez en todas las partes; métodos precisos de medición. Los orígenes del tornillo moderno, pueden ser rastreados hasta la...

... de cuatro cosas: roscas perfectas en todas las superficies; superficies verdaderamente planas, absoluta rigidez en todas las partes; métodos precisos de medición. Los orígenes del tornillo moderno, pueden ser rastreados hasta la...

no de Maudslay para hacer las roscas de los tornillos fue indudablemente el padre del torno moderno, porque fue construido según estos principios.

Rolt muestra que la precisión de estas máquinas-herramienta primitivas tenía gran capacidad para autopropagarse, una vez que se les hubo incorporado la necesaria precisión. Su innovación del micrómetro de banco permitió la detección de diferencias de hasta un diezmilésimo de pulgada, y evidentemente esos avances en la tecnología de las máquinas-herramienta afectó los incrementos de productividad en todas las demás partes del sistema.

A su vez, los avances en la tecnología de las máquinas-herramienta dependían, por una parte, y estimulaban, por otra, avances relacionados con ella que se dieron en la metalurgia, especialmente en la tecnología del acero. Hacia finales del siglo XIX un nuevo grupo de innovaciones en el acero, el tratamiento por calor, los motores eléctricos, los hornos eléctricos y las velocidades de los instrumentos de corte posibilitó más mejoras de enormes dimensiones en la productividad de los sistemas de maquinado a lo largo y ancho de las industrias de ingeniería (Ayres, 1988). Sin embargo, al igual que en la primera Revolución Industrial, la realización de estos nuevos y potenciales incrementos en la productividad fue un proceso largo, que requirió no solamente la difusión de innovaciones individuales discretas, sino también la reorganización de los sistemas productivos para dar lugar, por unidad o por sectores, a las nuevas distribuciones (*lay-out*) de las fábricas basadas en el uso de la energía eléctrica y en nuevos sistemas de mantenimiento y calificaciones profesionales.

Para los materiales sintéticos, la historia fue similar, incluso para las fibras y cauchos artificiales. La mayoría de estos materiales sufrió la primera innovación en la industria química alemana de las décadas del 20 y 30, y compartían una base científica común con la química macromolecular. En los primeros tiempos, raramente podían competir con los materiales naturales, como el caucho, la lana, el cuero y los metales. La motivación que los impulsaba era a menudo autárquica - superar la dependencia de la industria germana respecto de los materiales importados. A medida que progresaba el conocimiento, sin embargo, se hicieron muchas innovaciones, relacionadas o inducidas, en materia de máquinas de extrusión, máquinas de moldeado por inyección y nuevas aplicaciones. Durante la guerra, y también después de ella, el logro de una escala de producción adecuada y las numerosas innovaciones de proceso hicieron a los nuevos materiales cada vez más competitivos, y en las décadas del 50 y 60, resultaron el sector de más rápido crecimiento de la industria química mundial, que lograra altos incrementos anuales de productividad tanto del trabajo como del capital. La disponibilidad universal y el costo en disminución de los elementos químicos, derivados del petróleo, que constituían el núcleo principal, también facilitaron mucho el crecimiento de la productividad mientras que la industria pasaba a la tecnología de la petroquímica. Así, una vez más, podemos ver que los incrementos de productividad en esta industria estaban verdaderamente asociados con un grupo de innova-

ciones radicales, pero éstas recién dieron todo su fruto cuando se estableció un nuevo sistema tecnológico luego de un complejo proceso de aprendizaje social que demoró varias décadas (Freeman, Clark y Soete, 1982).

Entre otros economistas que han desarrollado ideas similares sobre las innovaciones interrelacionadas, en materia de 'sistemas', 'trayectorias' y 'paradigmas' (Dosi, 1982), las ideas de Sahal (1985) y de Pérez (1983, 1985, 1987) son de particular interés en relación con los cambios de larga duración en la productividad.

En la misma línea de argumentación que se anticipara hasta ahora en este artículo, Sahal rechaza tanto las teorías que postulan exclusivamente a la demanda 'que tira' (demand pull), como las que sostienen que la tecnología es la 'que empuja' (technology push), y aduce que 'la tecnología da forma a su entorno socioeconómico y, a su vez, es formada por éste. Ninguno de ellos es el único determinante del otro, los dos se codeterminan'. Este autor destaca particularmente la influencia de la escala y el tamaño en la evolución de la tecnología: por último, argumenta, el proceso de llegar a la escala adecuada (o de miniaturización) alcanza sus límites y es en ese momento cuando se necesitan innovaciones radicales para abrir amplias 'avenidas de innovación', que den nuevas oportunidades a muchos sectores.

C. Pérez destaca en forma similar la interacción entre el cambio institucional y el cambio tecnológico, desarrollando su concepto de 'paradigmas técnico-económicos'. El ámbito de lo técnicamente factible es mucho más amplio que el de lo económicamente rentable. Los mecanismos selectivos de la economía y el entorno natural y social circundante interactúan con las nuevas trayectorias tecnológicas para conformar 'paradigmas técnico-económicos' sucesivos. La teoría de esta autora tiene varios importantes rasgos distintivos que resultan particularmente útiles para la consideración de las tendencias de la productividad a largo plazo.

En primer lugar, su concepto de cambio en el paradigma técnico-económico está referido a un cambio en el enfoque básico de los diseñadores, ingenieros y gerentes, que resulta tan penetrante como para afectar casi todas las industrias y sectores de la economía. Es una teoría de 'metaparadigmas'. En segundo lugar, la autora argumenta que la motivación económica para tal cambio de paradigma no estriba sólo en la disponibilidad de un grupo de innovaciones radicales que incluyen innovaciones organizacionales con numerosas aplicaciones potenciales, sino en la disponibilidad *universal* y *a bajo costo* de un insumo clave o de una combinación de insumos que resulte determinante. Sugiere que este factor clave barato era el *acero* entre 1880 y 1930, el *petróleo* entre 1930 y 1980 y los elementos de microelectrónica (*chips*) en la actualidad. Por último, argumenta que antes de que un nuevo paradigma técnico-económico pueda generar una nueva ola de expansión, hay una crisis de 'ajuste estructural' que corresponde a las fases de re-

cesión y depresión de los 'ciclos largos' del desarrollo económico de Schumpeter. Las viejas instituciones estaban adaptadas a un estilo tecnológico que ahora se vuelve rápidamente obsoleto. Tienden, entonces, a 'cerrarse' a los sistemas alternativos. Por consiguiente, hay un período de desajuste entre la nueva tecnología y el marco de las antiguas instituciones. La necesidad más obvia de nuevas instituciones es tal vez en materia de educación y capacitación, aunque afecta a casi todas las instituciones, incluyendo el mercado de capitales, los estándares, los derechos de propiedad de la tecnología, las reglamentaciones gubernamentales en varios sectores de la economía, las relaciones laborales, las estructuras sindicales y muchas otras.

C. Pérez, de este modo, ofrece un vínculo entre las teorías cíclicas de la evolución tecnológica anticipadas por Abernathy y Utterback (1975), Sahal (1985) y otros, y las teorías de la dependencia de un sendero, del cambio estructural y del 'cierre' a las alternativas, postuladas por Arthur (1988), Davis (1989) y Dosi y Orsenigo (1988).

Los vínculos con las tendencias de productividad en el largo plazo son evidentes. El potencial de productividad de un nuevo paradigma técnico-económico al principio sólo es comprendido por uno o pocos sectores de punta. Hasta que sus efectos no hayan quedado claramente demostrados, la difusión no comienza a afectar a la economía en su conjunto. Sin embargo, como lo que se necesita ahora es una nueva infraestructura, muchos cambios institucionales y organizacionales, disponibilidad universal de nuevas calificaciones así como nuevos tipos de equipamiento y materiales, hay inevitablemente un período prolongado de adaptación estructural.

Hasta esta altura del capítulo, hemos extraído la evidencia de estudios empíricos e históricos de la innovación, para desarrollar una taxonomía de las innovaciones y relacionar las características de sus diversos tipos con sus efectos en materia de productividad. Esta exposición intenta explicar algunas de las paradojas que existen en el presente debate sobre las tendencias a largo plazo de la productividad. En la sección final consideraremos el uso específico de la tecnología de la información y de la comunicación, y adelantaremos la hipótesis de que la paradójica desaceleración de la productividad ocurrida durante las décadas de 1970 y 1980 puede ser explicada en parte por el cambio de paradigma técnico-económico. La sección final está basada en un análisis originalmente postulado en un artículo para el Simposio del 25º Aniversario de la OCDE (Freeman, 1986).

V. Los efectos de las innovaciones en la tecnología de la información y de la comunicación sobre la productividad

El nuevo paradigma de la 'tecnología de la información' (TI), basado en una constelación de industrias que están entre las de más rápido crecimiento en todos

los países industriales de avanzada, tales como las computadoras, los componentes electrónicos y las telecomunicaciones, ha ocasionado una drástica caída en los costos y una tendencia antiinflacionaria en los precios en esos sectores, así como una amplia mejora en la performance técnica. Esta revolución tecnológica está ahora afectando, aunque de manera desigual, a todos los otros sectores (Freeman y Soete, 1987), por sus actuales o potenciales ventajas económicas. Al considerar esta revolución tecnológica, no sólo debemos tener en cuenta los productos, procesos y servicios en particular, sino también los cambios en la organización y la estructura tanto de las formas como de las industrias que acompañaron la introducción de la TI.

Además de los cambios fundamentales en la estructura gerencial de las grandes firmas, en sus procedimientos y actitudes, hay otros muchos efectos paralelos causados por la difusión de la TI a lo largo y ancho de la economía: la capacidad que otorga para la realización de rápidos cambios en el diseño de productos y procesos, la integración mucho más estrecha de las funciones de diseño, producción y aprovisionamiento dentro de la empresa, la reducción de la importancia de las economías de escala basadas en las técnicas de producción masivas con una concentración de capital usado intensivamente, la reducción en el número y la importancia de los componentes mecánicos en muchos productos, la integración mucho mayor de las redes de proveedores de componentes y armadores de productos finales y el concomitante potencial de ahorro de capital, el crecimiento de nuevos 'servicios a los productos' para proveer a las firmas manufactureras del nuevo *software*, diseño, información técnica y asesoramiento que parecen requerir cada vez más, y el crecimiento extremadamente rápido de muchas empresas nuevas, pequeñas e innovadoras, que proveen de estos servicios y de nuevos tipos de *hardware* y componentes. De acuerdo con algunas estimaciones, si junto con los gastos en I y D de electrónica y telecomunicaciones se incluye al *software*, el total representa entre un cuarto y la mitad de toda la actividad de I y D contemporánea.

El perfil de calificaciones asociado con el nuevo paradigma técnico-económico parece haberse desplazado, pasando desde una concentración en los rangos medios, con aptitudes manuales y de supervisión, hacia calificaciones cada vez más altas y más bajas, y desde una especialización estrecha a calificaciones básicas más amplias y polivalentes para el manejo de la información. La diversidad y la flexibilidad a todo nivel sustituyen a la homogeneidad y a los sistemas concentrados. El diseño y el mantenimiento del *software* se han convertido en aptitudes clave en todas partes.

La transformación del perfil del equipamiento en bienes de capital no es menos radical. Las computadoras se asocian cada vez más con todo tipo de equipo productivo, como en las máquinas-herramienta de control numérico (MHCN), la robótica y los instrumentos de control de proceso, así como con el diseño asisti-

do por computadora (CAD), y con las funciones administrativas por medio de sistemas de procesamiento de datos, todos ellos vinculados por equipos de transmisión de información. De acuerdo con algunas estimaciones, el equipamiento en bienes de capital basados en la informática ya representa entre un cuarto y la mitad de todas las inversiones fijas en infraestructura y equipamiento tanto en los Estados Unidos como en otros países industriales de avanzada.

Los profundos problemas estructurales generados por este cambio de paradigma son ahora evidentes en todas partes del mundo. Entre sus manifestaciones se encuentran la aguda y persistente escasez de calificaciones de alto nivel asociadas al nuevo paradigma, aun en países con alto nivel de desempleo general. A comienzos de la década de 1980, algunos estudios realizados en diferentes países miembros de la OCDE unánimemente informaban de persistentes carencias de calificaciones para el diseño y desarrollo de *software*, análisis de sistemas e ingeniería en computación. Si algo pasó, fue que estos problemas se agudizaron, y que las firmas manufactureras tanto del Japón como de la Gran Bretaña se quejan de que las industrias de servicios hacen 'caza ilegal'.

Como resultado, hay una creciente búsqueda de nuevas soluciones tanto políticas como sociales en áreas tales como jornada laboral flexible, sistemas de reconversión educativa y recalificación, políticas regionales basadas en la creación de condiciones apropiadas para la tecnología de la información (antes que el otorgamiento de incentivos fiscales para las industrias de producción de masa con uso intensivo de capital), nuevos sistemas de financiamiento, posible descentralización de la administración y el gobierno y acceso a los bancos de datos a todo nivel. Hasta ahora, sin embargo, los cambios todavía parecen ser parciales y relativamente menores. Si para desatar la ola de crecimiento que se operó en la posguerra se necesitaron la revolución keynesiana y las profundas transformaciones de las instituciones sociales durante la Segunda Guerra Mundial y el periodo inmediatamente posterior, en la actualidad probablemente se requieran innovaciones sociales en una escala mucho más significativa. Esto se aplica especialmente a la dimensión internacional del desarrollo económico del mundo y las redes de telecomunicaciones.

Al describir las ventajas del nuevo paradigma técnico-económico, hemos enfatizado sobre su habilidad de producir un 'salto cuantitativo' en la productividad. Sin embargo, las tasas reales de incremento de la productividad han declinado desde la década de 1960 en la mayoría de los países industriales. ¿Cómo se explica esta aparente paradoja? Hay, por supuesto, muchos factores para tomar en cuenta, como las políticas macroeconómicas, el fin de los 'aumentos por estar al día' que se operaban en las décadas de 1960 y 1970, los cambios demográficos, etc. Las variaciones en los niveles de utilización de la capacidad instalada son particularmente relevantes para los cambios de corto y mediano plazo, aunque para las tendencias de largo plazo en toda la economía mundial, el cambio técni-

co es claramente un factor de la mayor importancia. ¿Por qué entonces la *desaceleración* que se produjo en las décadas de 1970 y de 1980?

En primer lugar, es esencial tener presente que el nuevo paradigma se ha venido difundiendo en un mundo que todavía está dominado por otros paradigmas más antiguos, de producción de masa con uso intensivo de la energía. Los síntomas de que iban en disminución los retornos producidos por las inversiones masivas, quedaron evidenciados por la declinación de la productividad del capital en la mayoría de los sectores industriales de casi todos los países de la OCDE desde fines de la década de 1980. Sin embargo también se hicieron visibles por la baja de la tasa de incremento de la productividad del trabajo.

En segundo término, al evaluar el creciente impacto del nuevo paradigma técnico-económico, es necesario tomar en consideración todo lo que se ha dicho más arriba acerca de los problemas del ajuste estructural, hasta que se logre una buena correspondencia entre el nuevo paradigma y el marco institucional. Este proceso es muy desigual en diferentes países y distintos sectores industriales. Por consiguiente, al examinar estos fenómenos es esencial pasar a un nivel de análisis desagregado, porque lo que estamos discutiendo es la difusión extremadamente despareja de un nuevo paradigma técnico-económico que, de unos pocos sectores de punta, se transfiere a la economía en su conjunto.

El proyecto TEMPO del SPRU trató de estudiar, en el largo plazo, los cambios en la productividad del capital y del trabajo en los principales sectores de la economía británica (las cuarenta industrias distinguidas en el modelo de crecimiento de Cambridge), abarcando el período que va desde 1948 hasta 1984. El resumen que sigue está basado en los cinco volúmenes de dicho análisis y el resumen completo (Freeman y Soete, 1987). Desde nuestro punto de vista, aunque hay importantes variaciones nacionales, el amplio panorama que se describe a continuación es característico de todas las economías industriales más importantes de la OCDE.

Cuando analizamos los cambios en la productividad del trabajo y del capital a lo largo de los últimos veinte años a un nivel suficientemente desagregado, encontramos el siguiente escenario:

1. Los sectores con las más altas tasas de crecimiento en la productividad del trabajo son las industrias electrónicas y, especialmente, la industria de las computadoras y la de los componentes electrónicos. Esas son las industrias que utilizan en mayor medida su propia tecnología para el diseño, la producción, el control de stock, la comercialización y el gerenciamiento. También son los únicos sectores industriales que muestran un sustancial crecimiento de la productividad del *capital*. Son los sectores que demostraron las ventajas de las nuevas tecnologías a todos los demás, y pueden ser descriptos como las ramas 'motrices' y 'motivadoras' del nuevo paradigma. Bailly y Chakrabarty (1988) han estimado que no menos de la mitad del crecimiento total de la productivi-

dad manufacturera en los Estados Unidos desde la década de 1980 se debe solamente a la industria de las computadoras.

2. En aquellos sectores en los que la microelectrónica ha penetrado profundamente, tanto en su tecnología de proceso como en la de producto, también hay evidencias de un considerable aumento en la productividad del trabajo en el período más reciente. Esto se aplica, por ejemplo, a los instrumentos científicos, las telecomunicaciones y la industria de los relojes. Estos sectores actualmente se han vuelto virtualmente parte de la industria electrónica.
3. En los sectores en los que la microelectrónica ha sido utilizada en escala creciente durante los últimos diez años, aunque las tecnologías más antiguas todavía predominen en la tecnología del proceso y del producto, hay un panorama extremadamente desigual. Algunas empresas han logrado muy elevados incrementos en la productividad, algunas se han estancado y otras muestran en la actualidad una declinación en la productividad. Este es el caso, por ejemplo, de las industrias de impresión, construcción de maquinaria y vestido. Este panorama desparejo es completamente coherente con la visión de Salter (1960) de la difusión de nuevas tecnologías en las industrias establecidas mediante nuevas inversiones de capital. En muchos casos, la tecnología de la información se introduce en forma fragmentada en un departamento o para una actividad, y no como parte de un sistema integrado. Por ejemplo, se implantan sólo unas pocas máquinas herramientas de CNC, o unos pocos robots o procesadores de texto. Estas son pequeñas 'islas' de automatización. No son todavía sistemas administrativos o de fabricación que integren la computación y aún no han logrado nada que se aproxime a su *potencial* aumento de productividad, que es importante. Inclusive, puede existir una caída temporaria en la productividad, causada generalmente por la falta de las calificaciones necesarias para el diseño, uso del *software*, ingeniería de la producción, mantenimiento y gerenciamiento. Los problemas de adaptación institucional y social son extremadamente importantes, y la flexibilidad con que encaran esta respuesta social tiene variaciones muy grandes tanto entre los diferentes países como entre las distintas empresas.
4. Los sectores que producen *commodities* estandarizadas y homogéneas, con una producción de flujo localizada en grandes plantas, han hecho un considerable uso de la tecnología de la información en sus sistemas de control de procesos y en diversas aplicaciones administrativas. Se encuentran, ciertamente, entre los más tempranos usuarios de las computadoras para dichos propósitos. Esto ocurre, por ejemplo, en la industria petroquímica y en las del petróleo, acero y cemento, y los ha ayudado a lograr considerables mejoras en el uso de la energía y los materiales, aunque los incrementos en la productividad del trabajo hayan sido a menudo menores que los observados en las décadas de 1950 y 1960, y la productividad del capital muestre, en general, una marcada decli-

nación. Para comprender este fenómeno, es esencial reconocer que estas industrias se encuentran entre las que han sido más afectadas por el pasaje operado, desde un paradigma tecnológico de producción masiva con uso intensivo de la energía y los materiales, a un paradigma que utiliza intensivamente la información. En la cresta de la ola de consumo de bienes durables y vehículos que tuvo lugar durante las décadas de 1950 y 1960, estas industrias estaban alcanzando fuertes aumentos en la productividad en base a la utilización de grandes plantas y a economías de escala. No obstante, con el cambio de paradigma tecnológico, la desaceleración de la economía mundial y el aumento de los precios de la energía ocurridos en la década de 1970, con frecuencia se han debido enfrentar con problemas de capacidad excedente y altos costos por unidad causados por niveles de producción que estaban por debajo de la capacidad instalada. Sin embargo, en el punto 8 *infra* comentamos lo ocurrido en los casos en los que la capacidad excedente fue eliminada.

5. Los sectores de servicios que están completamente basados en la tecnología de la información -los servicios de *software*, los bancos de datos, los servicios de información computarizada y los de diseño, entre otros-, están entre los de más rápido crecimiento y (para las empresas individuales) son las actividades más rentables en los países industriales de avanzada. Sin embargo, aunque su potencial de crecimiento es enorme, hasta ahora sólo representan una pequeña proporción de los servicios brindados y del empleo y sufren de una aguda escasez de personal calificado.
6. Algunos otros sectores de servicios se han visto considerablemente afectados por la tecnología de la información, tales como los bancos, las compañías de seguros y las de distribución. En estos sectores, aunque la difusión de la nueva tecnología sea extremadamente desigual, tanto por empresa como por país, hay evidencias de un significativo incremento en la productividad del trabajo a pesar de que los problemas de medición son importantes. Este fenómeno es bastante importante porque hasta ahora se ha observado con frecuencia que el sector económico de servicios no era capaz de alcanzar la clase de aumento de la productividad del trabajo que se lograba en las industrias manufactureras. La tecnología de la información ahora ofrece el potencial (y, en algunos casos, la realidad) de lograr tales aumentos fuera de la manufactura. Sin embargo, el progreso de la tecnología depende mucho de los cambios organizacionales, institucionales y estructurales. Los factores institucionales, por ejemplo, son notablemente importantes para explicar la velocidad extremadamente baja con que se opera el cambio en las distribuidoras minoristas japonesas.
7. En la mayoría de las actividades de servicio, la tecnología de la información se ha difundido sólo en pequeña medida, y estos sectores todavía se caracterizan por obtener muy bajos incrementos en la productividad del trabajo, si es que los logran. Las calificaciones para diseñar, usar y dar mantenimiento a los sistemas de *software* todavía son escasas, en general, y aunque el estancamien-

to de la productividad del trabajo en estos sectores podría ser atribuida a la *falta* de tecnología de la información, ciertamente no puede ser adjudicada al impacto de la tecnología de la información. Esto se verifica claramente para la mayor parte del sector terciario.

8. Por último, en muchas economías industrializadas hay sectores en los que se han observado incrementos en la productividad del trabajo durante los últimos diez años, que se deben mucho más a la racionalización estructural que a un impacto directo de la nueva tecnología. Se encuentran ejemplos en las industrias textiles y también en algunos de los sectores presentados en el punto 4 *supra*, en los que los cierres de plantas y la racionalización han sido implementados, como fueron los casos de la industria del acero en los Estados Unidos y en las petroquímicas europeas. Como en cualquier industria siempre hay una 'cola' de plantas de baja productividad, un significativo aumento de la productividad del trabajo *promedio* puede lograrse por el simple expediente de "barrer" con las plantas de vieja generación, aunque no se realice ninguna mejora técnica en las plantas más recientes donde se puede, de allí en adelante, trabajar a un nivel más cercado al de plena ocupación de la capacidad. Esto puede ser describirse como 'efecto *Verdun*', en contraposición al 'efecto *Verdoorn*' del periodo de alto crecimiento.

Resumiendo esta discusión, no es difícil ver que la desaceleración de los aumentos en la productividad *promedio* del trabajo ocurridos durante las décadas del 1970 y 1980, que fue un fenómeno mundial en comparación con las décadas de 1950 y '60, es precisamente el producto agregado de una crisis estructural de adaptación o cambio de paradigma técnico-económico, que han acentuado la disparidad del desarrollo de los diferentes sectores de la economía.

Por una parte, el paradigma dominante, de producción de masa con uso intensivo de la energía o 'régimen técnico' estaba llegando a su límite en materia de incrementos de productividad y de rentabilidad, debido a una combinación de agotamiento de las economías de escala, erosión de los márgenes de beneficios por el 'enjambramiento', saturación del mercado en algunos sectores, disminución de retornos a las actividades técnicas (Ley de Wolf) y presiones de costos sobre los precios de los insumos. Por otra, el nuevo paradigma, que ofrece la *posibilidad* de una renovación de los incrementos de productividad y un aumento de la rentabilidad, hasta ahora ha afectado profundamente sólo a unos pocos servicios e industrias de punta.

El logro completo de los incrementos de productividad que pueden obtenerse como resultado de la tecnología de la información, dependen de la difusión del nuevo paradigma a toda la economía. Esto, a su vez, sólo será posible como resultado de muchos cambios institucionales y sociales, que abarcarán innovaciones organizacionales y técnicas concomitantes, así como un gran aumento de nuevas calificaciones y una transformación del stock de capital existente. El recién-

te libro de la Comisión de Productividad Industrial del MIT (Dertouzos, Lester Solow, 1989) provee elementos fuertes de confirmación de este punto de vista relación con la economía de los Estados Unidos durante la década de 1980.

Conclusiones

La hipótesis que hemos adelantado en este trabajo para explicar parte de las paradojas de la productividad en las décadas de 1970 y de 1980, requeriría una gran cantidad de análisis estadísticos de largo plazo de muchos países para poder ser completamente verificada. Sin embargo, el trabajo de los historiadores así como el análisis de las tendencias contemporáneas le brindan cierta plausibilidad. Por ejemplo, Landes (1970), comentando la desaceleración de la productividad británica entre 1870 y 1880, dice:

Podemos notar simplemente que los cálculos de los que disponemos de sus tasas de crecimiento industrial y de incremento de la productividad -y que están confirmados por las más importantes series de estadísticas industriales- muestran una clara caída después de las décadas de alta prosperidad de mediados del siglo. No vuelven a subir hasta después de 1900. Desde 1870 en adelante, con la excepción de una rama como la del acero, que fuera transformada por una serie de avances fundamentales en la técnica, la industria británica había agotado los incrementos implícitos en el grupo original de innovaciones que constituyera la Revolución Industrial. Más precisamente, terminaron las grandes ganancias. Las industrias establecidas no se quedaron quietas. El cambio fue incorporado al sistema y la innovación fue más frecuente que nunca. Sin embargo, el producto marginal de las mejoras disminuyó a medida que el costo del equipamiento se fue elevando, y las ventajas físicas sobre las técnicas existentes disminuyeron (p. 235).

El reconocimiento de una baja en los retornos de los antiguos sistemas fabriles movidos a vapor fue también evidente en los debates que existían alrededor del año 1880 sobre los acuerdos de subcontratación, característicos tanto de la industria británica como de la de los Estados Unidos. Se estaba desarrollando una búsqueda de innovaciones gerenciales y organizacionales, simultánea con los esfuerzos para mejorar la tecnología mediante la introducción de innovaciones de proceso y del uso de la electricidad. Sin embargo, al igual que en la década de 1970, la realización de los incrementos potenciales dependía de un cambio de paradigma con una nueva infraestructura. Abramowicz (1986) ha apuntado en la misma dirección en su análisis del 'ponerse a la par'. El liderazgo tecnológico, e incluso el ponerse a la par, dependen de ser capaces de moverse en nuevas direcciones (Pérez y Soete, 1988).

Bibliografía

- Abernathy, W. J., Utterback, J. M., 1975. 'A dynamic model of process and product innovation' *Omega*, Vol. 3, N° 6.
- Abramowitz, M., 1986. 'Catching up, forging ahead and falling behind'. *Journal of Economic History*, Vol. 46, N° 2, pp. 385 - 406.
- Arrow, K., 1962. 'The economic implications of learning by doing', *Review of Economic Studies*, Vol. 29, N°80 (junio), pp. 155 - 173.
- Arthur, B., 1988. 'Competing technologies: an overview' in G. Dosi et al., (eds.), *Technical Change and Economic Theory*, capítulo 26. Pinter Publishers, Londres.
- Ayres, R., 1988. 'Technological transformations and long waves' *IISA*, Laxenburg.
- Baily, M., Chakrabarty, A. K., 1988. 'Innovations and the productivity crisis'. Brookings Institution, Washington.
- Clark, N., Juma, C., 1988. 'Evolutionary theories in "economic thought"', in G. Dosi et al., (eds.), *Technical Change and Economic Theory*, capítulo 9. Pinter Publishers, Londres.
- David, P. A., 1985. 'Clio and the economics of QWERTY'. *American Economic Review*, Vol. 75, N° 2, pp. 332 - 337.
- Dertouzos, M. L., Lester, R. K., Solow, R. M. (1989), *Made in America: Regaining the Productive Edge*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts. (Informe de la Comisión del MIT sobre Productividad Industrial).
- Devine, W., 1983. 'From shafts of wires: historical perspectives on electrification', *Journal of Economic History*, Vol. 43, N° 2, pp. 347 - 372.
- Dosi, G., 1982. 'Technological paradigms and technological trajectories' *Research Policy*, Vol. 11, N° 3 (junio), pp. 147 - 162.
- Dosi, G., Orsenigo, L., 1988. 'Coordination and transformation' in G. Dosi et al., (eds.) *Technical Change and Economic Theory*, capítulo 2. Pinter Publishers, Londres.
- Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G., Soete, L. (eds.), 1988. *Technical Change and Economic Theory*. Pinter Publishers, Londres.
- Enos, J., 1962. *Petroleum Progress and Profits: A History of Process Innovation*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Fels, R., (ed.) 1964, edición abreviada de la obra de J. Schumpeter (1939) *Business Cycles*. McGraw - Hill, Nueva York.
- Freeman, C., 1986. 'The challenge of new technologies'. Simposio del 25° Aniversario de la OCDE, OCDE, Paris.
- Freeman, C., Clark, J., Soete, L., 1982. *Unemployment and Technical Innovation: A Study of Long Waves in Economic Development*. Pinter Publishers, Londres.
- Freeman, C., Soete, L., (eds.) 1987. *Technical Change and Full Employment*. Blackwell, Oxford.
- Gilfilan, S., 1934. *The Sociology of Invention*. Chicago.

te libro de la Comisión de Productividad Industrial del MIT (Dertouzos, Lester Solow, 1989) provee elementos fuertes de confirmación de este punto de vista relación con la economía de los Estados Unidos durante la década de 1980.

Conclusiones

La hipótesis que hemos adelantado en este trabajo para explicar parte de las paradojas de la productividad en las décadas de 1970 y de 1980, requeriría una gran cantidad de análisis estadísticos de largo plazo de muchos países para poder ser completamente verificada. Sin embargo, el trabajo de los historiadores así como el análisis de las tendencias contemporáneas le brindan cierta plausibilidad. Por ejemplo, Landes (1970), comentando la desaceleración de la productividad británica entre 1870 y 1880, dice:

Podemos notar simplemente que los cálculos de los que disponemos de sus tasas de crecimiento industrial y de incremento de la productividad -y que están confirmados por las más importantes series de estadísticas industriales- muestran una clara caída después de las décadas de alta prosperidad de mediados del siglo. No vuelven a subir hasta después de 1900. Desde 1870 en adelante, con la excepción de una rama como la del acero, que fuera transformada por una serie de avances fundamentales en la técnica, la industria británica había agotado los incrementos implícitos en el grupo original de innovaciones que constituyera la Revolución Industrial. Más precisamente, terminaron las grandes ganancias. Las industrias establecidas no se quedaron quietas. El cambio fue incorporado al sistema y la innovación fue más frecuente que nunca. Sin embargo, el producto marginal de las mejoras disminuyó a medida que el costo del equipamiento se fue elevando, y las ventajas físicas sobre las técnicas existentes disminuyeron (p. 235).

El reconocimiento de una baja en los retornos de los antiguos sistemas fabriles movidos a vapor fue también evidente en los debates que existían alrededor del año 1880 sobre los acuerdos de subcontratación, característicos tanto de la industria británica como de la de los Estados Unidos. Se estaba desarrollando una búsqueda de innovaciones gerenciales y organizacionales, simultánea con los esfuerzos para mejorar la tecnología mediante la introducción de innovaciones de proceso y del uso de la electricidad. Sin embargo, al igual que en la década de 1970, la realización de los incrementos potenciales dependía de un cambio de paradigma con una nueva infraestructura. Abramowicz (1986) ha apuntado en la misma dirección en su análisis del 'ponerse a la par'. El liderazgo tecnológico, e incluso el ponerse a la par, dependen de ser capaces de moverse en nuevas direcciones (Pérez y Soete, 1988).

Bibliografía

- Abernathy, W. J., Utterback, J. M., 1975. 'A dynamic model of process and product innovation' *Omega*, Vol. 3, N° 6.
- Abramowitz, M., 1986. 'Catching up, forging ahead and falling behind', *Journal of Economic History*, Vol. 46, N° 2, pp. 385 - 406.
- Arrow, K., 1962. 'The economic implications of learning by doing', *Review of Economic Studies*, Vol. 29, N°80 (junio), pp. 155 - 173.
- Arthur, B., 1988. 'Competing technologies: an overview' in G. Dosi *et al.*, (eds.), *Technical Change and Economic Theory*, capítulo 26. Pinter Publishers, Londres.
- Ayres, R., 1988. 'Technological transformations and long waves' *IISA*, Laxenburg.
- Baily, M., Chakrabarty, A. K., 1988. 'Innovations and the productivity crisis', Brookings Institution, Washington.
- Clark, N., Juma, C., 1988. 'Evolutionary theories in "economic thought"', in G. Dosi *et al.*, (eds.), *Technical Change and Economic Theory*, capítulo 9. Pinter Publishers, Londres.
- David, P. A., 1985. 'Clio and the economics of QWERTY', *American Economic Review*, Vol. 75, N° 2, pp. 332 - 337.
- Dertouzos, M. L., Lester, R. K., Solow, R. M. (1989). *Made in America: Regaining the Productive Edge*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts. (Informe de la Comisión del MIT sobre Productividad Industrial).
- Devine, W., 1983. 'From shafts of wires: historical perspectives on electrification', *Journal of Economic History*, Vol. 43, N° 2, pp. 347 - 372.
- Dosi, G., 1982. 'Technological paradigms and technological trajectories' *Research Policy*, Vol. 11, N° 3 (junio), pp. 147 - 162.
- Dosi, G., Orsenigo, L., 1988. 'Coordination and transformation' in G. Dosi *et al.*, (eds.) *Technical Change and Economic Theory*, capítulo 2. Pinter Publishers, Londres.
- Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G., Soete, L. (eds.), 1988. *Technical Change and Economic Theory*. Pinter Publishers, Londres.
- Enos, J., 1962. *Petroleum Progress and Profits: A History of Process Innovation*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Fels, R., (ed.) 1964. edición abreviada de la obra de J. Schumpeter (1939) *Business Cycles*. McGraw - Hill, Nueva York.
- Freeman, C., 1986. 'The challenge of new technologies'. Simposio del 25° Aniversario de la OCDE. OCDE, Paris.
- Freeman, C., Clark, J., Soete, L., 1982. *Unemployment and Technical Innovation: A Study of Long Waves in Economic Development*. Pinter Publishers, Londres.
- Freeman, C., Soete, L., (eds.) 1987. *Technical Change and Full Employment*. Blackwell, Oxford.
- Gilfilan, S., 1934. *The Sociology of Invention*. Chicago.

- Gille, B., 1978. *Histoire des Techniques*. Encyclopédie de la Pléiade, Tours.
- Gold, B., 1981. 'Technological diffusion in industry: research needs and shortcomings'. *Journal of Industrial Economics*, marzo, pp. 247 - 269.
- Hollander, S., 1965. *The Sources of Increased Efficiency: A Study of Du Pont Rayon Plants*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Hughes, T. F., 1982. *Networks of Power 1880 - 1930*. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Jewkes, J., Sawers, D., Stillerman, J., 1958. *The Sources of Invention*. Macmillan, Londres.
- Keirstead, B., 1948. *The Theory of Economic Change*. Macmillan, Toronto.
- Kuhn, T., 1961. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago University Press, Chicago.
- Landes, D. S., 1970. *The Unbound Prometheus*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Lundvall, B.-Å., 1988. 'Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation'. in G. Dosi et al. (eds.) *Technical Change and Economic Theory*, capítulo 17. Pinter Publishers, Londres.
- Mensch, G., 1975. *Das Technologische Patt: Innovationen Überwinden die Depression Umschau*. Frankfurt, edición en inglés (1979). *Stalemate in Technology*. Ballinger, Nueva York.
- Nelson, R., Winter, S., 1977. 'In search of a useful theory of innovation'. *Research Policy*, Vol. 6, Nº 1, pp. 36 - 75.
- Nelson, R., Winter, S., 1982. *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Harvard University Press.
- Pavitt, K., 1984. 'Sectoral patterns of technical change: toward a taxonomy and a theory'. *Research Policy*, Vol. 13, Nº 6, pp. 343 - 373. Versión en castellano en Chesnais F., Neffa J.C. (comp.), 1999. *Sistemas de innovación y política tecnológica*, cap. 2.
- Pavitt, K., 1986. 'Technology, innovation and strategic management' in J. McGee y H. Thomas (eds.) *Strategic Management Research*, capítulo 26. John Wiley, Chichester.
- Pérez, C., 1983. 'Structural change and the assimilation of new technologies in the economic and social system'. *Futures*, Vol. 15, Nº 4, pp. 357 - 375.
- Pérez, C., 1985. 'Micro-electronics, long waves and world structural change'. *World Development*, Vol. 13, Nº 3, pp. 441 - 463.
- Pérez, C., 1987. 'Las nuevas tecnologías: una visión de conjunto' in C. Ominami (ed.), *La Tercera Revolución Industrial*. RIAL, Grupo Editor Latinoamericano, Buenos Aires.
- Pérez, C. y Soete, L., 1988. 'Catching up in technology: entry barriers and windows' in G. Dosi et al. (eds.) *Technical Change and Economic Theory*, Capítulo 21. Pinter Publishers, Londres.
- Phillips, A., 1971. *Technology and Market Structure*. Lexington Books, Lexington.
- Rogers, E., 1962. *Diffusion of Innovations*. Free Press, Nueva York.

- Rolt, L. T. C., 1970. *Victorian Engineering*. Penguin, Harmondsworth.
- Rosenberg, N., 1976. *Perspectives in Technology*. Cambridge University Press, Cambridge. Versión en castellano de los capítulos 8 y 15 en el presente libro.
- Rosenberg, N., 1982. *Inside the Black Box*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ruttan, V., 1959. 'Usher and Schumpeter on invention, innovation and technological change'. *Quarterly Journal of Economics* (noviembre), pp. 596 - 606.
- Sahal, D., 1985. 'Technological guideposts and innovation avenues'. *Research Policy*, Vol. 14, Nº 2, pp. 61 - 82.
- Schumpeter, J. A., 1912. *The theory of Economic Development*. Duncker & Humbold, Leipzig. Traducción al inglés, Harrard, 1934.
- Schumpeter, J. A., 1928. 'The instability of capitalism'. *Economic Journal*, pp. 361 - 186.
- Schumpeter, J. A., 1939. *Business Cycles: a Theoretical, Historical and Statistical Analysis*, 2 tomos. McGraw - Hill, Nueva York.
- Schumpeter, J. A., 1943. *Capitalism, Socialism and Democracy*. Allen & Unwin, Londres.
- Shionoya, Y., 1986. 'The science and ideology in Schumpeter'. *Revista Internazionale di Scienze Economiche e Comericiale*, Vol. 33, Nº 8, pp. 729 - 762.
- Townsend, J., 1976. *Innovation in Coal - Mining Machinery: The Anderton Shearer - Loader*. *SPRU Occasional Paper* Nº 3, Universidad de Sussex.
- Von Hippel, E., 1976. 'The dominant role of users in the scientific instrument innovation process'. *Research Policy*, vol. 5, 212 - 239.