

La economía de la innovación: del legado de los clásicos a la economía de la complejidad¹

Cristiano Antonelli

Departamento de Economía, Universidad de Torino

Resumen

Durante los últimos cuarenta años, la economía de la innovación ha surgido como un área separada de investigación en el punto donde se entrecruzan la economía del crecimiento, la organización industrial, la economía regional y la teoría de la firma, y se ha convertido en un área de competencia claramente identificable en la economía, especializada no solo en el análisis de los efectos de la introducción de nuevas tecnologías, sino también, y sobre todo, en el entendimiento del cambio tecnológico como un proceso endógeno. Como consecuencia de la interpretación, elaboración y evolución de diversos campos de análisis en la teoría económica, la innovación es vista como un proceso complejo y dependiente de la trayectoria, que se caracteriza por la interdependencia e interacción de una diversidad de agentes heterogéneos capaces de aprender y reaccionar de manera creativa con una racionalidad subjetiva y de procedimientos.

Palabras clave: conocimiento, innovación, cambio tecnológico, difusión, dependencia de la trayectoria, complejidad.

Códigos JEL: O31, O32 y O33.

Abstract

During the last forty years, economics of innovation has emerged as a distinct area of enquiry at the crossroads of the economics of growth, industrial organization, regional economics and the theory of the firm. It has become a

1. Versiones preliminares de este trabajo han sido presentadas en la IV Reunión del Brisbane Club, «Innovación y complejidad» en Pollenzo, junio del 2007, y en la Conferencia Europea sobre Sistemas Complejos, Dresde, octubre del 2007. El artículo parte del capítulo introductorio de Antonelli (2008a). Agradezco los comentarios de los asesores involucrados en distintas etapas de su elaboración y a muchos participantes y comentaristas, así como el apoyo financiero de las Becas de Investigación del Departamento de Economía Salvatore Cognetti de Martini de la Universidad de Torino en los años 2006 y 2007.

well identified area of competence in economics, specializing not only in the analysis of the effects of the introduction of new technologies, but also and mainly in understanding technological change as an endogenous process. As the result of the interpretation, elaboration and evolution of different fields of analysis in economic theory, innovation is viewed as a complex, path-dependent process characterized by the interdependence and interaction of a variety of heterogeneous agents, able to learn and react creatively with subjective and procedural rationality.

Keywords: knowledge, innovation, technological change, diffusion, path dependence, complexity.

JEL codes: O31, O32 and O33.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos cuarenta años, la economía de la innovación ha surgido como un área separada de investigación en el punto donde se entrecruzan la economía del crecimiento, la organización industrial, la economía regional y la teoría de la firma, y se ha convertido en un área de competencia claramente identificable en la economía, especializada no solo en el análisis de los efectos de la introducción de nuevas tecnologías, sino también, y sobre todo, en el entendimiento del cambio tecnológico como un proceso endógeno.

Como consecuencia de la interpretación, elaboración y evolución de diversos campos de análisis en la teoría económica, la innovación es vista como un proceso complejo y dependiente de la trayectoria, que se caracteriza por la interdependencia e interacción de una diversidad de agentes heterogéneos capaces de aprender y reaccionar de manera creativa con una racionalidad subjetiva y de procedimientos.

Luego del descubrimiento del residuo, los supuestos tradicionales sobre la exogeneidad del cambio tecnológico se convirtieron en motivo de vergüenza e impulsaron a la economía a proporcionar y desarrollar una explicación endógena, pues demasiado grande es la porción de crecimiento no explicado. La economía neoclásica creó un marco elaborado y sofisticado para comprender las condiciones de la eficiencia estática. En este contexto, el crecimiento y el desarrollo son consecuencias de cambios exógenos en la forma de las funciones de utilidad, en las características de la tecnología y en las condiciones demográficas, así como en la oferta de recursos naturales. Esta teoría no se ocupa de las causas reales de crecimiento y cambio. Se limita a hacer un análisis de las condiciones complementarias en términos de tasas de crecimiento en la oferta de trabajo y ahorros, que permiten aprovechar los efectos del «impulso tecnológico» que cae del cielo como maná, y que se dé el crecimiento exógeno.

El esfuerzo para ofrecer una explicación endógena al cambio se ha nutrido de las secuenciales, aunque superpuestas, articulaciones y reinterpretaciones de diversos enfoques que han sido desarrolladas progresivamente en un proceso de reconsideración y revaloración de los legados dinámicos que habían destacado el papel de la dinámica endógena, pero que habían sido dejados de lado por las corrientes teóricas dominantes.

Se puede identificar cuatro grandes marcos heurísticos: los legados clásicos de Adam Smith y Karl Marx, el legado schumpeteriano, el legado arroviano y las sugerencias biológicas estimuladas por el legado marshalliano y finalmente articuladas en los enfoques evolutivos que conducen a la complejidad.

Estos cuatro enfoques tienen un centro claro. Los legados clásicos han sido especialmente útiles para comprender la contribución de la innovación y el cambio tecnológico al crecimiento económico, sobre todo en el nivel agregado. La aproximación inductiva al cambio tecnológico y el papel del aprendizaje son las contribuciones básicas de esta línea de análisis. El legado schumpeteriano ha provisto las bases para la investigación de las relaciones entre innovación y competencia en el mercado, que tienen implicaciones importantes para la teoría de la firma y la teoría de los mercados. El enfoque schumpeteriano se ha centrado en el papel de la innovación como una herramienta competitiva, y en la empresa y el emprendimiento como los factores determinantes. El legado arroviano ha permitido explorar la economía del conocimiento con sus poderosas implicaciones para la teoría de la organización y la teoría de la economía regional. Por último, un aporte biológico basado en el legado marshalliano y los enfoques evolutivos, fortalecido en años recientes por el pensamiento complejo, ha allanado el camino para comprender las dinámicas dependientes de la trayectoria y las interdependencias sistémicas que caracterizan al cambio tecnológico y estructural.

Estos enfoques evolucionaron en paralelo durante la segunda mitad del siglo XX, acompañados por un proceso de especialización y consolidación de sus respectivas áreas de experiencia. Y sin embargo, se ha producido un número cada vez mayor de contribuciones laterales y horizontales, que han alimentado un proceso creciente de convergencia e integración. Como consecuencia de ello, se ha desarrollado gradualmente una nutrida red de estratificaciones superpuestas.

Con el propósito de destacar los orígenes y la evolución de la economía de la innovación, se puede desarrollar una matriz de herramientas analíticas. La línea básica de entendimiento se encuentra a lo largo de la diagonal, donde cada campo concuerda con su propio enfoque básico. Sin embargo, son muy interesantes las celdas que se ubican alrededor de la diagonal, donde se puede identificar un número creciente de contribuciones cruzadas. El resultado del proceso es una creciente complementariedad y compatibilidad entre los cuatro enfoques en un nuevo marco provisto por la economía de la complejidad. El cuadro 1 sintetiza la matriz de nociones y conceptos elaborados en la economía de la innovación. En él se muestra cómo los diversos aportes analíticos han contribuido a la evolución de este campo.

Los enfoques clásico, schumpeteriano, arroviano y marshalliano comparten una desviación básica respecto de la economía estándar: la atribución a los agentes económicos de la capacidad de cambiar sus funciones de producción y utilidad. También los unen algunos puntos en común. Primero, la noción básica del aprendizaje es finalmente articulada en términos de reacción creativa, y el contexto en el que se lleva a cabo el aprendizaje recibe creciente atención. La heterogeneidad de las condiciones de aprendizaje e interacción surge como un segun-

do punto en común. Se reconocen los efectos del tiempo histórico, tanto en el ámbito del sistema como en el ámbito del agente. La conducta de cada agente es moldeada por los efectos del pasado, y sin embargo se les reconoce la capacidad para alterar las trayectorias de sus actividades mediante la generación de nuevo conocimiento tecnológico y la introducción de innovaciones tecnológicas. La dinámica de la retroalimentación finalmente es apreciada en los diversos contextos: la introducción de innovaciones cambia la estructura del sistema y este a su vez afecta la conducta de los agentes, incluyendo la introducción de otras innovaciones.

Cuadro 1
La matriz de innovación

	Innovación y crecimiento	Innovación y competencia	Innovación y conocimiento	Innovación dentro de sistemas evolutivos
El legado clásico	<ul style="list-style-type: none"> - División del trabajo - Orientación a la demanda - Inducción 		<ul style="list-style-type: none"> - Aprendizaje - Conocimiento colectivo 	<ul style="list-style-type: none"> - Especialización industrial
El legado schumpeteriano	<ul style="list-style-type: none"> - Destrucción creativa 	<ul style="list-style-type: none"> - Reacción creativa - La hipótesis schumpeteriana - Emprendimiento - Competición monopolística - Estructura-conducta-resultados - Diseño dominante - Externalidades de la red 	<ul style="list-style-type: none"> - Vientos de innovación - I&D - Impulso tecnológico - Oportunidades tecnológicas 	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia dinámica - Patrones sectoriales - Regímenes tecnológicos - Adopción creativa
El legado arroviano	<ul style="list-style-type: none"> - Residuo - Aprender haciendo - Aprender usando - La nueva teoría del crecimiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Conocimiento como factor de producción - Casi-rentas del conocimiento - «Chorro» 	<ul style="list-style-type: none"> - El conocimiento como un bien económico - «Chorro de conocimiento» - Distritos industriales - Asimetrías del conocimiento - Gobierno del conocimiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnologías de uso general - Sistemas tecnológicos
El legado marshalliano: evolución y complejidad	<ul style="list-style-type: none"> - Trayectorias tecnológicas - Caminos tecnológicos 	<ul style="list-style-type: none"> - Ciclo de vida - Difusión epidémica - Dinámica de imitación 	<ul style="list-style-type: none"> - Conocimiento tecnológico localizado - Conocimiento distribuido - Redes de innovación - El conocimiento como insumo y como producto - Competencia 	<ul style="list-style-type: none"> - Cambio tecnológico localizado - Dependencia del pasado - Retroalimentación positiva - Dependencia del sendero - Relaciones generativas

El entendimiento compartido del funcionamiento del sistema económico como un proceso dinámico complejo se hace posible tan pronto como las propiedades sistémicas que caracterizan a la economía como una ciencia se extienden hasta incluir la posibilidad de que los agentes y sistemas generen internamente nuevo conocimiento tecnológico y, por consiguiente, nuevas tecnologías de producción y nuevas preferencias. Es más, no es difícil hacer esto, pues la mayoría de los estándares microeconómicos pueden ser mantenidos e implementados adecuadamente en el ámbito del agente: los agentes heterogéneos tratan de optimizar dentro de las fuertes limitaciones de sus condiciones subjetivas. El resultado agregado de su acción, sin embargo, está lejos de un estado estable de equilibrio general, y más bien se trata de un proceso de cambio continuo típico de dinámicas de sistemas complejos.

Esta perspectiva puede ser considerada como el resultado de la integración de los cuatro enfoques y de los cuatro campos de investigación en una plataforma analítica más amplia provista por la economía de la complejidad. Por lo que respecta al cuadro 1, se observa que, especialmente en la sección inferior derecha de la diagonal, los límites de las propias casillas se vuelven cada vez más indefinidos a medida que se produce la superposición sistemática de áreas de investigación y formas tradicionales de análisis. La economía de la innovación surge como un campo de investigación separado, con una amplia selección de conceptos complementarios articulados dentro de campos de especialización convergentes y coherentes.

El objetivo del presente documento es ofrecer un marco interpretativo capaz de identificar las principales contribuciones de la economía de la innovación como un camino hacia la emergente economía de la complejidad. Para hacer esto, intentaremos rastrear el surgimiento de la idea según la cual la innovación es un proceso colectivo dependiente de la trayectoria que ocurre en un contexto localizado si, cuando y donde, se produce una cantidad suficiente de reacciones creativas de una manera sistemática, complementaria y coherente. Como tal, la innovación es una de las propiedades emergentes clave de un sistema económico visto como un sistema complejo dinámico (Antonelli 2008b).

1. INNOVACIÓN Y CRECIMIENTO – LA REVALORACIÓN DEL LEGADO CLÁSICO

El descubrimiento del residuo

El descubrimiento del residuo coincide con el nacimiento de la economía de la innovación. En la economía neoclásica, el cambio tecnológico es exógeno. Ocasionalmente los *shocks* tecnológicos perturban las condiciones de equilibrio del sistema: no se supone que las empresas sean capaces de cambiar intencionalmente sus tecnologías. Los estudios empíri-

cos de Robert Solow (1957) y Moses Abramovitz (1956) muestran que más del 50% del crecimiento de bienes en la economía estadounidense entre finales del siglo XIX y la primera parte del siglo XX no puede ser explicado por el crecimiento de los insumos. Se debe reconocer el mérito del cambio tecnológico por su sorprendente contribución al crecimiento económico. La economía del equilibrio puede explicar solo una fracción del sistema económico. Es esta evidencia la que presenta un desafío.

Este rompecabezas básico sigue siendo el núcleo problemático de esta área de especialización. Las preguntas clave son: cómo las innovaciones llegan al mercado, cómo la novedad ocupa su lugar en nuestro entendimiento de la interacción económica y tecnológica, cómo y por qué crece la productividad de factor total, cómo las empresas y los agentes económicos en general producen y reaccionan ante la introducción de la novedad. El nacimiento de la economía de la innovación como un área específica de estudio e investigación en un contexto amplio de creciente especialización de la economía puede ser considerado como el resultado final del análisis de crecimiento de la productividad de bienes y del trabajo, *ceteris paribus* los niveles de insumos, cuando (y si no) se producen retornos crecientes a escala. Como se mostrará a continuación, fueron los textos de Adam Smith y Karl Marx los que proveyeron los puntos de partida fundamentales para la economía de la innovación y la economía de la complejidad.

Adam Smith y la hipótesis de la orientación a la demanda

En el intento por comprender los determinantes de los estadios iniciales de la primera revolución industrial, Adam Smith (1776 [1976]) aportó los elementos básicos del enfoque de orientación a la demanda. La división del trabajo está determinada por el tamaño del mercado. Todo incremento en el tamaño del mercado puede llevar a incrementos en la división del trabajo y, por lo tanto, a su especialización. La especialización, por su parte, es la base para el aprendizaje dedicado y para la posterior introducción de innovaciones. Las innovaciones incrementan la eficiencia del trabajo y, por lo tanto, el tamaño del mercado. Como señala Nathan Rosenberg (1965), Smith sentó las bases para el análisis del cambio tecnológico como un proceso endógeno y de realimentación. Allyn Young (1928) y Nicholas Kaldor (1972) desarrollaron más este enfoque y demostraron que la economía del equilibrio es irrelevante cuando se comprende la dinámica del cambio tecnológico.

Smith ofrece la explicación más clara y admirable sobre el papel fundamental del conocimiento tecnológico y el cambio tecnológico como factores endógenos que explican el carácter dinámico del proceso económico. Los primeros cuatro libros de *Una investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones*, piedra angular de la economía, están dedicados por completo a explorar el proceso económico y sus determinantes. Las

líneas con que se inicia *Una investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones* están dedicadas a la relación entre la productividad y la división del trabajo. De acuerdo con Smith, el crecimiento de la productividad es consecuencia de la división del trabajo: «La asombrosa mejora de los poderes productivos del trabajo, y de la mayor parte de las habilidades, las destrezas y los juicios con los que este es dirigido o aplicado, parece ser un efecto de la división del trabajo» (Smith 1776 [1976]: 13)

La división del trabajo tiene un claro papel causal en la visión de Smith sobre los orígenes de la acumulación de competencias y conocimiento. Específicamente, Smith creó una secuencia según la cual la división del trabajo es la causa de un incremento en la competencia. La generación de nuevo conocimiento lleva al incremento de la competencia, y las innovaciones tecnológicas son resultado de este proceso. Smith articuló completamente una teoría «de abajo hacia arriba» sobre el comportamiento tecnológico. «Aprender haciendo» y «aprender usando» dieron origen a invenciones que con el tiempo hicieron posible la introducción de maquinaria nueva y mejorada.

De acuerdo con Smith, la competencia profesional de los trabajadores es adquirida y puesta en práctica por medio de procesos de aprendizaje que, en última instancia, debido a la división del trabajo, son la causa de las habilidades de los trabajadores. Sin embargo, los procesos de aprender haciendo y aprender usando, propios de cada empresa, no son los únicos factores para la acumulación de nuevos conocimientos. Los productores de maquinaria y los científicos también cumplen un papel importante. La división del trabajo, en conclusión, se introduce al campo de la ciencia y se convierte en un poderoso factor para la organización y la eficiencia del progreso científico.

Una lectura de Smith confirma el papel clave de la economía del conocimiento para la comprensión del proceso económico determinado por el desarrollo continuo basado en la introducción de nuevas tecnologías. En efecto, uno encuentra en Smith las primeras bases del entendimiento económico de los mecanismos en juego para la generación de conocimiento tecnológico. De hecho, Smith ofrece un análisis completo en el que el conocimiento tecnológico es visto como el resultado final de al menos tres procesos: a) un proceso de abajo hacia arriba mediante el aprender haciendo y el aprender usando; b) la labor especializada de «filósofos» en un proceso de arriba hacia abajo; y c) las interacciones con proveedores de maquinaria e insumos intermedios.

Construido sobre estas bases, el motor dinámico de Adam Smith queda listo. La división del trabajo es la consecuencia del tamaño del mercado y es la causa del incremento del conocimiento tecnológico, y, por lo tanto, de invenciones e innovaciones tecnológicas

posteriores. Las innovaciones tecnológicas, por su parte, conducen a un incremento de la productividad. El incremento de la productividad conduce a un incremento de la demanda y, por lo tanto, del tamaño del mercado. De este modo, el análisis de Smith vuelve al punto de partida.

Alfred Marshall siguió la línea de investigación planteada por Smith y reconoció la relación dual existente entre la división del trabajo y la introducción de nuevas tecnologías. El cambio tecnológico y la especialización tecnológica son dos caras del mismo proceso. Allyn Young, siguiendo a Marshall, probablemente contribuyó a centrar la atención sobre el papel clave de la dinámica endógena en el trabajo de Smith. Según Young, la interacción entre cambio tecnológico y cambio estructural es alimentada por la dinámica de la división del trabajo. La especialización, la acumulación de competencias, la introducción de nuevas tecnologías y el incremento adicional del tamaño del mercado son las fases de un cambio progresivo y acumulativo. Con ello, Young capta el papel fundamental del cambio tecnológico, a la vez el producto y la causa de la creciente diferenciación y complementariedad funcional dentro del sistema económico, en el crecimiento económico. Él establece los primeros elementos de un enfoque de dinámica del sistema para entender el crecimiento económico. De hecho, los sistemas económicos son vistos como organizaciones adaptables complejas y dinámicas, compuestas por unidades autónomas y, sin embargo, interrelacionadas e interdependientes, que cambian con el tiempo.

Nicholas Kaldor va más allá y reconoce la contribución fundamental de Smith a la creación de una teoría dinámica del proceso económico, en la que el cambio tecnológico y el conocimiento tecnológico, impulsados por la interacción entre los efectos beneficiosos de la división del trabajo y el tamaño del mercado, ocupan un lugar central. El cambio tecnológico acumulativo ocurre, en condiciones de desequilibrio, en un sistema económico en el que las empresas son vistas no como usuarias pasivas de tecnologías ya existentes y capaces solo de seleccionar las técnicas más adecuadas para un determinado conjunto de precios relativos, sino como agentes capaces de cambiar y generar sus propias tecnologías.

Sobre la base de las ideas de Smith, Jacob Schmooker (1954) ofrece respaldo empírico a la hipótesis según la cual el crecimiento de la demanda impulsa el incremento del conocimiento tecnológico y, por lo tanto, de invenciones y posteriores innovaciones tecnológicas. Nathan Rosenberg y David Mowery (Mowery y Rosenberg 1979) tienen un trabajo extraordinario sobre el papel dominante de la hipótesis de la orientación a la demanda dentro del enfoque poskeynesiano.

Karl Marx y el cambio tecnológico inducido

A partir de un profundo conocimiento de los procesos históricos que caracterizaron a la primera revolución industrial, Marx aportó los primeros elementos de una teoría del cambio tecnológico endógeno como consecuencia del proceso intencional de aumento de la sustitución del trabajo. Los incrementos salariales inducen a los capitalistas a introducir nuevas tecnologías intensivas en capital que ayudan a reducir la presión de los sindicatos y a incrementar la eficiencia total del trabajo (Marx 1867 [1976]).

El análisis del cambio tecnológico juega un papel clave en las obras de Marx. El cambio tecnológico, de hecho, es la herramienta básica mediante la cual los capitalistas incrementan sus ganancias, junto con la obtención de una plusvalía del proceso de producción. Marx destacó el doble papel del cambio tecnológico. Por un lado, el cambio tecnológico permite reducir el precio de los bienes en el mercado. Por otro, permite incrementar la plusvalía (Rosenberg 1976). El proceso competitivo entre capitalistas alimenta al primer proceso. La explotación del trabajo por la clase capitalista es consecuencia del segundo.

Nathan Rosenberg (1976) proporciona una descripción admirable de la dinámica del proceso de innovación en el enfoque marxista. El intento de contrastar la disminución de la rentabilidad de cada empresa, debida al incremento de los salarios, es el incentivo directo para la acción innovadora de cada capitalista, que conduce a la generación e introducción de innovaciones tecnológicas encarnadas en nuevas máquinas. La presión competitiva entre los capitalistas por productos en los mercados, acelera la dinámica del proceso. Marx prestó mucha más atención a las innovaciones de proceso que a las innovaciones de producto: por lo tanto, en el ámbito del sistema el proceso innovador tiene el efecto agregado de sustituir capital por trabajo. La disminución del número de trabajadores es relativa, pero no absoluta. Luego de la absorción del desempleo temporal los salarios se incrementan, nuevamente, y por lo tanto los capitalistas se ven inducidos, nuevamente, a introducir nuevas tecnologías de proceso que reduzcan la intensidad del trabajo del proceso de producción. Como sostiene Nathan Rosenberg (1969), Marx presenta la hipótesis de la inducción que caracteriza a gran parte de la economía de la innovación.

Específicamente, se debe hacer una distinción entre modelos de cambio tecnológico inducido que se centran en los cambios en los precios de los factores, y modelos de cambio tecnológico inducido que destacan las condiciones estáticas de los mercados de factores. En el primer enfoque, siguiendo a John Hicks y Karl Marx, las empresas son inducidas a cambiar su tecnología cuando se incrementa el precio de un factor de producción (Hicks 1932). De acuerdo con Hicks, el cambio en los precios de los factores actúa como un poderoso mecanismo de inducción que explica tanto el ritmo como la

dirección de la introducción de nuevas tecnologías. De hecho, el cambio en los precios de los factores induce a las firmas a introducir nuevas tecnologías para reducir el costo del factor que se ha vuelto más costoso. La introducción de nuevas tecnologías complementa el proceso de sustitución estándar, esto es, el cambio técnico que representa la selección de nuevas técnicas, definidas en términos de intensidad de los factores sobre las isocuantas existentes. En este caso, como señala Fellner (1961), el cambio tecnológico es considerado una forma aumentada de sustitución: el cambio tecnológico complementa al cambio técnico.

Como muestra el debate resumido por Hans Binswanger y Vernon Ruttan (1978), esta aproximación al cambio tecnológico inducido difiere del enfoque estático de Kennedy, Von Weizsacker y Samuelson, según el cual las empresas introducen nuevas tecnologías para ahorrar en los factores de producción que son relativamente más costosos. En este caso importan los niveles de precio de los factores y no la velocidad del cambio. Este enfoque revela una importante limitación de los primeros. Un simple cálculo algebraico deja en claro que las empresas tienen un incentivo para introducir tecnologías intensivas en trabajo, en regiones y países con abundancia de trabajo y escasez de capital, incluso luego de un incremento de salarios. El enfoque de Kennedy, Von Weizsacker y Samuelson, sin embargo, tiene graves limitaciones desde el punto de vista dinámico. Ya no queda claro cuándo y por qué deberían las empresas innovar. En consecuencia, solo la dirección del cambio tecnológico puede ser inducida, mas no así la velocidad. Ambos enfoques, como es bien sabido, a menudo han sido criticados empleando el argumento de Salter, según el cual las empresas deberían estar igualmente ansiosas de introducir cualquier tipo de cambio tecnológico, ya sea intensivo en trabajo o en capital, siempre y cuando este permita reducir los costos de producción y aumentar la eficiencia.

Es interesante notar que el análisis del papel de los atributos de los factores relativos para explicar la dirección del cambio tecnológico ha sido recientemente revivido por Acemoglu (1998, 2002), para explicar la tendencia hacia nuevas tecnologías de información y comunicación en términos de intensidad de las habilidades.

El aprendizaje como motor del cambio

El primer intento por ocuparse del residuo en el marco neoclásico fue propuesto por Kenneth Arrow empleando la noción del aprendizaje. Arrow (1962a) sentó las bases para una teoría de crecimiento económico basada en procesos de aprendizaje que hacen posible la generación de nuevo conocimiento y, posteriormente, la introducción de nuevas tecnologías. A los agentes, así como a las empresas, se les atribuye ahora la capacidad de aprender. El aprendizaje es el producto de acciones repetidas a lo largo del tiempo y pensamiento

reflexivo. El aprendizaje tiene fuertes características acumulativas y como tal conduce a rendimientos crecientes dinámicos en los que el costo de reducción está asociado al tiempo antes que puramente al tamaño de la producción.

Esto es coherente con la ortodoxia solo mientras se aplique al agente representativo: el aprendizaje debería ser ubicuo y simétrico entre los agentes del sistema. La evidencia, sin embargo, muestra que la distribución del residuo es altamente desigual entre regiones, industrias, empresas y, especialmente, etapas históricas. No obstante, el redescubrimiento de la noción de aprendizaje originalmente introducida por Smith es especialmente fértil en varios sentidos. Atkinson y Stiglitz (1969) realizaron el análisis del aprendizaje y distinguen el papel de las limitaciones técnicas en la configuración del proceso: el aprendizaje solo es posible dentro del limitado espectro de técnicas en las que las empresas han estado practicando. Por lo tanto, el cambio tecnológico se encuentra localizado.

La nueva teoría del crecimiento

La teoría del aprendizaje proporciona las bases para esfuerzos importantes que buscan integrar el análisis del cambio tecnológico a un análisis en un contexto de equilibrio: la nueva teoría del crecimiento. La nueva teoría del crecimiento parte de tres préstamos de la economía del conocimiento: a) la distinción entre conocimiento tácito y conocimiento genérico, y la idea vinculada del conocimiento tecnológico como un bien cuasi-público debido a su cuasi-apropiabilidad; b) la comprensión de las externalidades tecnológicas y de la dinámica del «chorreo»; y c) la noción de competencia monopolística como consecuencia de la introducción de nuevos productos.

De acuerdo con el análisis de Paul Romer (1994), el crecimiento económico depende del acceso colectivo al conocimiento genérico, el cual está en todas partes. Romer distingue entre conocimiento tecnológico genérico, que guarda relación con una variedad de usos, y conocimiento tecnológico específico, que se encuentra materializado en productos y que, como tal, tiene fuertes características idiosincrásicas. Es posible apropiarse del conocimiento específico; el conocimiento genérico, en cambio, mantiene las características típicas del bien público arroviano. Los innovadores generan conocimiento genérico mientras se dedican a la introducción de nuevo conocimiento específico materializado en nuevos productos y nuevos procesos. La producción de conocimiento específico se aprovecha de la disponibilidad colectiva del conocimiento genérico. El «chorreo» de conocimiento genérico ayuda a la generación de nuevo conocimiento específico por parte de terceros y, sin embargo, no reduce los incentivos para la generación de nuevo conocimiento para la fuerte apropiabilidad de las aplicaciones específicas.

La nueva teoría del crecimiento ha sido enriquecida aun más con la noción schumpeteriana de destrucción creativa aplicada por Philippe Aghion y Peter Howitt (1992). La competencia monopolística caracteriza a los mercados para productos y proporciona un contexto coherente para la coexistencia de una reducida variedad de productos tomados de la misma fuente de conocimiento genérico.

Aunque la nueva teoría del crecimiento ha sido capaz de adoptar y adaptarse a gran parte del progreso presentado por los economistas de la innovación, le falta lo central del análisis. Los determinantes reales de la excluibilidad y apropiabilidad parciales del nuevo conocimiento y, más específicamente, el ratio del componente genérico del nuevo conocimiento con respecto al conocimiento idiosincrásico, no son investigados. Por lo tanto, la definición de los incentivos para la generación de nuevo conocimiento, por un lado, y la contribución real del «chorreo» de conocimiento genérico, por otro, no quedan claras. Además, el resultado evolutivo de la interacción entre la introducción de nuevas tecnologías y los cambios ocasionados en el sistema económico, no son tomados en cuenta. La innovación es solo una parte de un proceso más amplio de interacciones heterogéneas entre los efectos y los determinantes de los cambios tecnológicos y estructurales, que se dan en un contexto de desequilibrio (Day 1983).

Caminos tecnológicos y tecnologías de uso general

El análisis a largo plazo del crecimiento económico muestra la persistencia de la intensidad de los factores, que probablemente se explica por barreras elásticas basadas en irreversibilidades locales y costos cambiantes que impiden que las empresas se adapten a los niveles cambiantes de costos relativos de los insumos. Sin embargo, cuando se producen cambios significativos en los costos relativos de los factores de producción, las empresas reaccionan con la introducción de nuevas tecnologías. El análisis pionero de Paul David (1975) sienta las bases de gran parte de la economía contemporánea sobre el cambio tecnológico entrelazada con el análisis histórico del cambio estructural.

La idea schumpeteriana de innovación, vista como la herramienta competitiva básica proporcionada por Richard Nelson y Sid Winter (1975), permite imitar con técnicas de simulación el funcionamiento de un sistema en el que las empresas cortas de miras siguen rutinas innovadoras con el propósito de competir más allá de las reglas de maximización, siguiendo trayectorias tecnológicas, y al hacerlo generar crecimiento.

La noción de tecnología de uso general introducida por Tim Bresnahan y Manuel Trajtenberg (1995) y complementada por Richard Lipsey, Cliff Bekar y Kenneth Carlaw (1998), pone énfasis en el carácter sistémico del cambio tecnológico. Las nuevas tecno-

logías de uso general son el resultado de la complementariedad e interdependencia de varias innovaciones tecnológicas introducidas secuencialmente, y se caracterizan por elevados niveles de fungibilidad dado que pueden ser aplicadas a una gran variedad de procesos de producción.

El análisis del papel de las características estructurales de los sistemas económicos en general, y específicamente del papel de la estructura de precios relativos, determinada por la dotación de insumos básicos, y de la dinámica de industrias y sectores como factores que determinan la velocidad y dirección del cambio tecnológico, proporciona un contexto histórico en el que el análisis de la interacción entre el cambio tecnológico y el cambio estructural da un paso adelante. Al desarrollar el enfoque del cambio tecnológico localizado, Antonelli (2008b) sostiene que debido a que existen irreversibilidades, conocimiento limitado y aprendizaje local, la introducción de nuevas tecnologías es inducida por las condiciones de desequilibrio provocadas en cada sistema por todos los cambios en los precios relativos de los factores. La dirección del cambio tecnológico en términos de su sesgo específico y cómo es introducido y adoptado, sin embargo, refleja las condiciones de los mercados de factores locales. Caminos tecnológicos bien definidos y de largo plazo surgen en cada región y dependen del proceso de selección en mercados de productos. Mientras más rígidos e idiosincrásicos sean las dotaciones de factores de producción y el sistema de precios relativos, más específica será la trayectoria tecnológica de cada región.

El análisis de los efectos asimétricos de la introducción y difusión de nuevas tecnologías y de los determinantes estructurales de la velocidad y dirección del cambio tecnológico, le permitió a Paul David (1990) identificar la interacción dependiente de la trayectoria entre el cambio estructural y el cambio tecnológico. El cambio tecnológico es visto hoy como un proceso capaz de alterar las características del sistema y, sin embargo, también como el producto de las características del sistema en cualquier momento en el tiempo. La aplicación en los Estados Unidos de la nueva tecnología de uso general de la información y la comunicación, no se concreta en términos de productividad, y es más fácil entenderla en términos de transición del sistema.

2. INNOVACIÓN Y COMPETENCIA – EL LEGADO SCHUMPETERIANO

El legado de Joseph Schumpeter está compuesto por una amplia variedad de contribuciones que abarcan desde su primer libro, *The Theory of Economic Development* (1911 [a 1934]), hasta su artículo clave «The Instability of Capitalism», publicado en *The Economic Journal* (1928), y desde *Business Cycles* (1939) y *Capitalism, Socialism and Democracy*

(1942) hasta su contribución fundamental en el *Journal of Economic History* con el artículo «The Creative Response in Economic History» (1947).

La obra de Joseph Schumpeter constituye el núcleo de la economía de la innovación. Él ha proporcionado las herramientas básicas de la economía de la innovación con la definición de la idea de «innovación»; la distinción entre «invención», «innovación», «imitación» y «difusión»; la explicación de la concentración de la innovación en el tiempo y en el espacio mediante la noción de «ráfagas de innovación»; el análisis del papel clave de la empresa como la institución adecuada para alentar el ritmo de introducción de innovaciones; el entendimiento del papel decisivo del crédito para financiar tanto la generación como la introducción de nuevas tecnologías. Todo estudiante de economía de la innovación está consciente del aporte pionero de Schumpeter a la economía de la innovación y el cambio tecnológico, por lo que realizar aquí un análisis extenso y detallado de sus contribuciones a este enfoque correría el riesgo de ser repetitivo.

Schumpeter, sin embargo, no puede ser visto solamente como el padre fundador de la economía de la innovación, sino también, y principalmente, como uno de los colaboradores clave de la economía de la complejidad, en la que se reconoce a los agentes la competencia real para generar nuevo conocimiento y cambiar sus tecnologías. El cambio tecnológico y el cambio económico no pueden ser separados, son dos características inseparables del proceso de destrucción creativa que caracteriza a la economía del desarrollo. En Schumpeter, la innovación, como opuesta a la invención, es la característica distintiva del proceso competitivo. La competencia se da mediante la introducción, adopción y difusión de la innovación, antes que por medio de ajustes de cantidad y precio. Al mismo tiempo, la competencia entre empresas es el motor que lleva a las empresas a introducir innovaciones. Mediante la introducción de nuevos productos, nuevos procesos, nuevas organizaciones, nuevos insumos y la identificación de nuevos mercados, las empresas adquieren una ventaja competitiva pasajera que genera ganancias extra. Posteriormente, sus innovaciones serán imitadas y se volverá a una situación de competencia perfecta. Las empresas, sin embargo, pueden contrastar la disminución de la rentabilidad relacionada con la imitación de sus innovaciones y la subsecuente reducción del poder monopolístico, mediante la introducción de nuevas innovaciones. La destrucción creativa es un proceso infinito. En este sentido, Schumpeter trazó las directrices básicas para aventurarse en una economía en la que el cambio y la novedad son las características constantes y esenciales de un proceso endógeno (Rosenberg 1994: 9-23).

Se ha prestado mucha atención a la evolución del pensamiento de Schumpeter sobre los impulsores del cambio tecnológico en el desarrollo económico. Se ha identificado una separación entre el «primer» y el «segundo» Schumpeter. El primer Schumpeter, esto es, la

tradición basada en la *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*, publicada originalmente en Alemania en 1911, considera al emprendimiento como el mecanismo impulsor. Los emprendedores que crean nuevas empresas para ingresar al mercado son la fuente principal de innovaciones tecnológicas. La provisión de crédito por parte de banqueros con visión de futuro capaces de identificar nuevas formas de hacer negocios es la condición complementaria. La combinación de emprendedores y banqueros con visión de futuro es el punto de partida de la perpetua agitación de la economía. El papel clave atribuido al emprendimiento y su fuerte caracterización en términos antropológicos y sociológicos ha provocado algunos problemas en lo que respecta a la endogeneidad económica de la innovación. En el primer Schumpeter, los emprendedores son verdaderamente la esencia del desarrollo capitalista, pero su surgimiento es principalmente caracterizado como el resultado de la acción de fuerzas sociológicas. El segundo Schumpeter tiene como base su libro *Capitalism, Socialism and Democracy*, de 1942. Aquí se destaca el papel impulsor de las grandes corporaciones como motor para la introducción de innovaciones. La bien conocida hipótesis schumpeteriana se basa en este segundo libro: el poder monopolístico de las grandes corporaciones, producto de barreras de entrada existentes en mercados de productos, alimenta la acumulación de ganancias extra, por lo tanto incrementa los incentivos para financiar riesgosas actividades de investigación, y favorece el trabajo de mercados financieros internos en los que los recursos extraídos con las ganancias extra pueden adecuarse mejor a las competencias de gerentes calificados. La gran corporación aparece como el mecanismo institucional que permite combinar recursos, incentivos y competencia para generar nuevas tecnologías con el propósito de incrementar la eficiencia del proceso de innovación en el ámbito de la empresa. Surge una división entre eficiencia estática y eficiencia dinámica: la ineficiencia estática, producto del poder monopolístico, es compensada por la eficiencia dinámica, producto de una mayor velocidad en la introducción de nuevas tecnologías superiores. El segundo Schumpeter, sin embargo, también expresa cierta preocupación sobre la viabilidad de largo plazo de los mecanismos competitivos basados en innovaciones, debido a la creciente rutinización de actividades que conducen a la introducción de innovaciones dentro de la gran corporación. La innovación en este caso es completamente endógena, pero «rutinizada» dentro de procedimientos burocráticos. Una vasta literatura empírica ha probado ambas hipótesis y comprobado su coherencia, destacando la diferencia entre los papeles de las empresas grandes y pequeñas de acuerdo con diversos tipos de estructura industrial y de regímenes tecnológicos.

Aunque se ha debatido mucho sobre las principales diferencias en la evolución del pensamiento de Schumpeter desde el énfasis sobre el emprendimiento de su primer libro, *The Theory of Economic Development* (1911 [a 1934]) hasta la visión elaborada en *Capitalism, Socialism and Democracy* (1942), la coherencia de la teoría aplicada en dos ensayos clave,

«The Instability of Capitalism» de 1928 y «The Creative Response in Economic History» de 1947, merecen nueva atención y análisis.

En «The Instability of Capitalism», publicado en el *Economic Journal* en 1928, los «dos Schumpeter» se encuentran bien integrados y coexisten coherentemente. Así pues, parece adecuado prestar más atención a esta contribución. Aquí, de hecho, la distancia teórica entre el análisis dinámico del proceso económico, basado en la comprensión del papel central del cambio tecnológico en la competencia del mercado, y el análisis walrasiano del equilibrio general, se hace particularmente clara. La innovación, diferenciada de la invención, no es solo endógena sino el elemento intrínseco de la economía capitalista. La innovación no puede ser considerada como una economía externa porque esta es la característica distintiva del proceso competitivo.

En su análisis del papel de la reacción creativa en la historia económica, Schumpeter (1947) desarrolla plenamente la opinión de que las empresas y los agentes en general, frente a las condiciones cambiantes tanto de los mercados de productos como de los mercados de factores, son inducidos a reaccionar de una manera creativa mediante la introducción de innovaciones, tanto en tecnologías como en las organizaciones, y mediante cambios en sus productos y procesos.

Lo que aún no ha sido adecuadamente ponderado por los teóricos es la distinción entre diversos tipos de reacción a cambios en la «condición». Cuando una economía o un sector de la economía se adapta a un cambio en sus datos de la manera en que lo describe la teoría tradicional, esto es, cuando una economía reacciona frente a un incremento de la población simplemente incorporando los nuevos brazos y mentes a la fuerza de trabajo en el empleo ya existente, o reacciona frente a un deber de protección mediante la expansión dentro de su práctica ya existente, podemos hablar del desarrollo de una «respuesta adaptativa». Y cuando la economía, una industria, o algunas empresas en una industria, hacen algo diferente, algo que está fuera del rango de la práctica ya existente, podemos hablar de «respuesta creativa». La respuesta creativa tiene al menos tres características fundamentales. En primer lugar, desde el punto de vista del observador que está en control total de todos los datos relevantes, siempre puede ser comprendida *ex post*, pero prácticamente nunca puede ser comprendida *ex ante*; lo que quiere decir que no puede ser predicha mediante la aplicación de las reglas comunes y corrientes de inferencia a partir de los datos preexistentes. Es por ello que el «cómo» de lo que se ha dado en llamar «mecanismos» debe ser investigado en cada caso. En segundo lugar, las respuestas creativas determinan todo el curso posterior de los eventos y los resultados de largo plazo. No es cierto que ambos tipos de respuesta dominen solo lo que a los economistas les gusta llamar «transi-

ciones» y que el resultado final esté determinado por los datos iniciales. Las respuestas creativas cambian las situaciones sociales y económicas para mejor, o, para decirlo de otro modo, crean situaciones que no tienen ninguna relación con aquellas situaciones que podrían haber surgido en su ausencia. Por este motivo, las respuestas creativas son un elemento fundamental del proceso histórico; ningún credo determinista puede negar esto. En tercer lugar, las respuestas creativas –la frecuencia de su ocurrencia en un grupo, su intensidad y éxito o fracaso– están obviamente relacionadas, mucho o poco, con: (a) la calidad del personal disponible en una sociedad; (b) la calidad relativa del personal, esto es, con la calidad disponible en un campo particular comparada con la calidad disponible al mismo tiempo para otros campos; y (c) decisiones, acciones y patrones de comportamiento individuales (Schumpeter 1947: 149-50).

Por último, en el enfoque schumpeteriano las empresas hacen más que solo ajustar los precios a las cantidades y viceversa: las empresas innovan. Al mismo tiempo, la innovación ya no es vista como el resultado del ingenio solo de los emprendedores (forasteros que ingresan al mercado por medio de nuevos productos o procesos): los participantes actuales también innovan, y lo hacen con el propósito de hacer frente a cambios inesperados en el entorno económico. Con la noción de respuesta creativa, la innovación se vuelve completamente endógena al sistema económico. La eficiencia dinámica de un sistema, medida por su capacidad para incrementar su eficiencia total mediante la introducción de innovaciones tecnológicas y de organización, se convierte en el nuevo parámetro clave para calcular el bienestar real.

En este contexto, el análisis realizado en *Business Cycles* (1939), en el que el carácter colectivo del proceso de innovación, la interdependencia entre innovadores y la complementariedad de las nuevas tecnologías dentro las ráfagas de innovación son destacados, y la coevolución entrelazada de las instituciones económicas, las estructuras industriales, las arquitecturas económicas de interacciones e intercambios, y las preferencias del consumidor junto con el proceso innovador son corroboradas históricamente, allanan el camino para un mejor entendimiento del carácter sistémico e inherentemente complejo de la dinámica de la innovación.

Innovación y emprendimiento

Siguiendo al primer Schumpeter –la literatura inspirada por *The Theory of Economic Development*–, la oferta de emprendedores capaces de detectar nuevas oportunidades tecnológicas y de entender las posibles aplicaciones tecnológicas y económicas de nuevos descubrimientos científicos, es considerado un factor importante para comprender el ritmo de introducción de nuevas tecnologías y sus características económicas y tecnológicas

específicas. Este enfoque elogia el papel de las nuevas empresas como vectores de nuevas tecnologías y sugiere que solo elevados índices de creación de nuevas empresas pueden sostener el ritmo del cambio tecnológico. Zoltan Acs y David Audretsch (1988) han proporcionado abundante evidencia empírica que apoya esta hipótesis.

El análisis de las condiciones institucionales y económicas que favorecen el emprendimiento, y del ingreso de nuevas empresas innovadoras en el mercado, se ha convertido en un área importante de investigación. En este contexto, el emprendimiento ofrece evidencia del papel clave de los factores metaeconómicos en el cálculo de la velocidad y dirección del cambio tecnológico.

Al expandir esta línea de investigación, William Baumol (2004) ha destacado el papel de la organización social de mecanismos económicos, institucionales y sociales para la identificación y valoración de la oferta existente de talentos creativos distribuidos aleatoriamente en el sistema económico. A mayor número de talentos creativos que cada sistema pueda identificar y valorar, mayor será la dinámica de crecimiento en producción y eficiencia en el sistema económico. En este caso, los talentos creativos son una característica exógena distribuida de manera aleatoria, pero los mecanismos de filtrado creados dentro del sistema económico son endógenos.

La innovación y la empresa

La llamada «hipótesis schumpeteriana» que se esboza en *Capitalism, Socialism and Democracy* articula el enfoque según el cual se requiere de grandes empresas para que se dé un ritmo elevado de avance tecnológico. Las barreras de entrada y la competencia monopolística brindan a las empresas apropiabilidad *ex ante*, y reducen los riesgos de fugas de información e imitación. Por su parte, grandes márgenes de precio-costo y la competencia brindan a las empresas la oportunidad de adecuar los recursos financieros internos a la información dedicada y a la toma competente de decisiones con el propósito de financiar nuevas y prometedoras actividades de investigación. En este caso, las grandes empresas asumen un papel central y aparece el *locus* de acumulación de conocimiento técnico «pegajoso», y por lo tanto el progreso tecnológico. Como demuestra Richard Nelson (1959), el financiamiento y el ejercicio de actividades de investigación y desarrollo (I&D) se convierten en parte integral de la conducta de las grandes corporaciones.

En este contexto, Alfred Chandler (1977, 1990) sienta las bases de la teoría de la firma «basada en los recursos», destacando las características de la empresa como el *locus* institucional para promover procesos de aprendizaje, la acumulación de conocimiento tecnológico y la competencia económica. Edith Penrose (1959) destaca los esfuerzos es-

tratégicos de las empresas para explotar el conocimiento tecnológico generado por medio de procesos de aprendizaje sistemáticos junto con la identificación, creación y valorización de los factores de producción idiosincrásicos.

Una abundante literatura empírica investiga las relaciones entre las características de las empresas, su conducta, sus estrategias de innovación y su desempeño. John Cantwell y Brigitte Andersen (1996) ofrecen evidencia sobre la duración del liderazgo tecnológico. Shoko Haneda y Hiroyuki Odagiri (1998) confirman que los activos tecnológicos están positivamente relacionados con el ratio valor de mercado / valor en libros de las empresas (la llamada q de Tobin).

La innovación y la estructura del mercado

El enfoque schumpeteriano de la innovación como componente fundamental del proceso competitivo es coherente con la interpretación marshalliana del proceso competitivo. La variedad y la selección son elementos fundamentales de la idea marshalliana de competencia. Las empresas, diversas en términos de tamaño, ubicación y eficiencia, se enfrentan unas a otras en el mercado de productos y son clasificadas de acuerdo con el funcionamiento del proceso competitivo. El ingreso y la salida de empresas alimentan la dinámica del proceso. En este caso, cada empresa se enfrenta a una continua redefinición de su contexto relativo de mercado y debe enfrentar la amenaza competitiva provocada por empresas que son capaces de producir a menor costo, sea porque pueden acceder a factores de producción más baratos o a tecnologías de producción más eficaces. En la competencia marshalliana, la duración del proceso de ajuste a un posible equilibrio es infinito y las empresas experimentan prolongadas condiciones de desequilibrio en las que pueden obtener niveles de beneficios fugaces pero heterogéneos.

El legado schumpeteriano ha sido especialmente fértil en la articulación de la relación clave entre rivalidad e innovación intencional, y ha permitido la exploración de las relaciones causales entre barreras de entrada, niveles de ganancias, estructura de mercados e incentivos para la introducción de nuevas tecnologías según lo expresado por Mike Scherer (1967). Mike Scherer (1970) aplica el marco de estructura-conducta-desempeño, tomado de la organización industrial, a la idea de oportunidades tecnológicas –definidas como la oportunidad de introducir innovaciones tecnológicas que afectan los descubrimientos científicos exógenos– como un aspecto clave de la estructura industrial, y la innovación como una de las conductas principales de las empresas. El marco enriquecido de estructura-conducta-desempeño ha hecho posible reunir evidencia empírica que confirma que la distribución del tamaño de las empresas, los niveles de concentración y las formas de competencia entre las empresas realmente afectan la velocidad de introducción de inno-

vaciones y sus características. La completa encuesta realizada por Morton Kamien y Nancy Schwartz (1975) ofrece una revisión detallada de esta literatura.

Partha Dasgupta y Joseph Stiglitz (1980) proveen un marco teórico original para comprender cómo es posible que las herramientas de rivalidad oligopolística permitan identificar el monto de «equilibrio» de gastos en I&D dentro de una industria, pero fallen al captar los determinantes de la cantidad real de innovaciones que los gastos en investigación y desarrollo pueden producir. Esta línea de investigación no logra identificar los elementos clave de la dinámica agregada por medio de los cuales los esfuerzos individuales de investigación interactúan y posteriormente se traducen en innovaciones. Surge una brecha importante entre la comprensión de la cantidad de esfuerzos de investigación y la identificación de la cantidad real de innovaciones introducidas y puestas en práctica en el ámbito de la empresa y del sistema, respectivamente.

El estudio de los procesos de adopción tardía de innovaciones, esto es, de la difusión de las innovaciones, antes que de su introducción temprana, proporciona un contexto rico y fértil de aplicación empírica y teórica del marco teórico schumpeteriano. Los patrones temporales de entrada de las empresas y por lo tanto la evolución de la demografía, la concentración, la rentabilidad y las tasas de crecimiento industriales, tanto de las empresas como de las industrias, es analizada dentro de la secuencia schumpeteriana de poder monopolístico inicial, seguido por entrada por imitación y, por último, competencia. La difusión es importante tanto para el lado de la demanda como para el de la oferta. Como demuestran Paul Stoneman y Norman Ireland (1983), las nuevas tecnologías son adoptadas solo si se adecuan a condiciones específicas de productos y mercados de factores: hay agentes que nunca adoptarán una nueva tecnología y la identificación de los determinantes de esa no-adopción se vuelve relevante. Los adoptantes ya no son vistos como usuarios pasivos y reacios, sino más bien como ingeniosos revisores que calculan el alcance de complementariedad y acumulabilidad de cada nueva tecnología según sus propias necesidades y contextos de acción específicos. La rentabilidad de la adopción es el resultado de un proceso antes que un hecho confirmado. La tecnología se difunde cuando es aplicada a diversas condiciones de uso. La heterogeneidad intrínseca de los agentes, de hecho, se aplica no solo a su propia base tecnológica, sino también a los mercados de productos y de factores en los que operan.

La anticuada estructura de sus costos fijos y de su capital tangible e intangible es descrita por Antonelli (1993) como uno de los principales factores de diferenciación e identificación del contexto específico de acción, con respecto tanto al cambio tecnológico como a la estrategia de mercado. El flujo de inversiones es determinante para el cálculo de las tasas

de adopción: empresas y países con bajas tasas de inversión tienen menos oportunidades de adoptar nuevos bienes de capital. Bajos niveles de penetración de nuevos bienes de capital reducen la ventaja competitiva de las empresas y, por lo tanto, sus tasas de crecimiento y posteriormente sus tasas de inversión. En este caso se produce una realimentación positiva típica: una tasa acelerada de inversión favorece la difusión de innovaciones que impulsan tasas más aceleradas de crecimiento y, por lo tanto, tasas más elevadas de inversión. Entra a tallar la economía de la complejidad.

Michael Katz y Carl Shapiro (1986) destacan el papel que cumplen las cambiantes condiciones de uso en la difusión de las innovaciones. Por el lado de la demanda pueden ocurrir cambios importantes en la rentabilidad de la adopción debido al efecto de externalidades a la red, es decir que la preferencia de los consumidores por un nuevo bien está influenciada por el número de adoptantes.

Dentro del contexto de la economía del cambio tecnológico localizado, Antonelli (2006) desdibuja la distinción entre innovación y difusión: la adopción es vista como un componente complementario de un proceso más amplio de adecuación de la tecnología cuando sucesos inesperados en los mercados de productos y de factores impulsan a las empresas hacia una reacción creativa. Cuando las existencias de adopciones ejercen un apropiado efecto combinado sobre la rentabilidad bruta de la adopción y sobre los costos de la adopción, tal que la rentabilidad neta de la adopción y, por lo tanto, las tasas de la nueva adopción, siguen una trayectoria cuadrática, la dinámica de la adopción creativa puede engendrar un proceso de difusión en forma de «S».

Keith Pavitt (1984) adapta y operacionaliza la variedad de trayectorias de cambio tecnológico existentes a lo largo de diversos sectores y tecnologías. Con ello, aplica el enfoque neoschumpeteriano de estructura-conducta-desempeño creado por Scherer y allana el camino para la noción de «regímenes tecnológicos», aplicada por Franco Malerba y Luigo Orsenigo (1995), para extender más allá la noción de estructura industrial e incluir las características del conocimiento en términos de apropiabilidad y acumulabilidad. Steven Klepper realiza esfuerzos similares para actualizar la noción de ciclo de producto e incluir las tasas de entrada y salida y las etapas críticas de reorganización que siguen a la introducción de una innovación. Los innovadores en ejercicio pueden sacar ventaja de las innovaciones previas de muchas formas: la ventaja competitiva temprana hace posible financiar nuevas investigaciones; la competencia adquirida y el conocimiento tecnológico son insumos útiles para innovaciones adicionales; las barreras de entrada basadas en cuotas de mercado y tamaño retrasan la imitación; y el avance tecnológico alimenta la diversificación y la entrada en nuevas industrias (Klepper y Graddy 1990).

Un aporte importante es el de la noción de diseño dominante creada por William Abernathy y Kim Clark (1985). El diseño dominante es resultado de una nueva interpretación del proceso de innovación. Este ofrece un camino distinto a la secuencia tradicional del poder monopolístico pasajero producto de la introducción de una innovación, que posteriormente es seguido por algunos imitadores y que conduce a un oligopolio y una competencia monopolística. Luego de la introducción de una diversidad de tecnologías competidoras por varias compañías rivales, se da un proceso de selección y unas pocas empresas líderes, las que son capaces de crear un diseño dominante, emergen de dicha competencia con una ventaja competitiva coherente. Las rentas monopolísticas surgen al final del proceso de selección y podrían ser duraderas. La difusión de una nueva tecnología ya no es vista como el resultado de la adopción adaptativa de una nueva tecnología única, sino más bien como la elección de una nueva tecnología entre muchas. La difusión es el resultado de la selección de un diseño dominante de entre una variedad original de diversas opciones tecnológicas. Nuevas ideas pueden ser aplicadas y enriquecidas periódicamente, hasta finalmente convertirse en innovaciones rentables, solo cuando se forman coaliciones adecuadas de empresas heterogéneas tanto en el lado de la demanda como en el de la oferta.

Las opciones tecnológicas con respecto a la introducción de innovaciones en productos y procesos, la adopción de nuevas tecnologías proporcionadas por proveedores y la imitación de los competidores se mezclan con estrategias de mercado tales como la especialización, la tercerización, la diversificación, la entrada y salida, las fusiones y adquisiciones, y el crecimiento interno. En una prueba constante en el mercado, las empresas experimentan su mezcla cambiante de conducta tecnológica y de mercado. En el nivel agregado el resultado es la selección de mercado de nuevas y mejores tecnologías, a menudo caracterizadas por fuertes complementariedades sistémicas. Como sugieren Rebecca Henderson y Kim Clark (1990), la estructura de interacciones y las coaliciones cambiantes entre diversos grupos de jugadores en escenarios superpuestos, aunque específicos, determinan la velocidad y dirección del cambio tecnológico en general. En este contexto, la reorganización del sistema puede favorecer el surgimiento de nuevas arquitecturas industriales en las que las empresas y las tecnologías encuentren una nueva ubicación contextual.

3. INNOVACIÓN Y CONOCIMIENTO: EL LEGADO ARROVIANO

El legado arroviario explora las múltiples facetas del análisis económico del conocimiento como un bien económico: como insumo o factor de la producción y como producto de un proceso intencional de creación. La economía del conocimiento le debe mucho al legado clásico de Karl Marx (Rosenberg 1974). La aplicación sistemática del conocimiento científico al proceso de producción se convierte, en Marx, en el rasgo distintivo del capitalismo. Prime-

ro, el carácter colectivo del conocimiento tecnológico es comprendido a cabalidad. El conocimiento tecnológico consiste en un sistema complejo de máquinas, habilidades y trabajadores, todos caracterizados por elementos distintivos de complementariedad, interoperabilidad y necesaria compatibilidad. Segundo, el conocimiento tecnológico y el conocimiento científico están caracterizados por dos fuertes elementos: su carácter ilimitado y su limitada apropiabilidad. Su aplicación, sin embargo, requiere competencia dedicada y recursos que tienen un fuerte carácter idiosincrásico. Con el propósito de mantener el proceso en marcha, el conocimiento tecnológico es constantemente reproducido y expandido.

En *Grundrisse* (1857-1858), el análisis de Karl Marx sobre el papel central de la ciencia en el proceso capitalista revela extraordinarios niveles de lucidez y perspicacia. El cambio tecnológico es completamente endógeno al sistema económico. Más específicamente, Marx sostiene que los niveles de endogeneidad del cambio tecnológico son por sí mismos un indicador del avance de un sistema económico. La noción de conocimiento como una fuerza productiva endógena es claramente identificada por Marx. En realidad, los niveles de endogeneidad del conocimiento, como una fuerza económica distribuida compartida por miles de agentes, alimentada por la combinación de procesos de aprendizaje que conducen a la acumulación de competencias y conocimiento tácito con procesos científicos de deducción, y transformada en un medio de acumulación de capital impulsado por la maximización de las utilidades (el intelecto general), se convierte en una medida de avance del capitalismo como sistema social.

Alfred Marshall desarrolla aun más el enfoque dinámico siguiendo las líneas de análisis creadas por Marx y Smith, y hace explícito que el conocimiento es un componente clave del capital y un factor de producción en sí mismo. Marshall además identifica el carácter colectivo del conocimiento tecnológico como un proceso en el que una diversidad de agentes, co-localizados dentro de áreas industriales, aportan fragmentos complementarios de conocimiento. Las externalidades del conocimiento juegan un papel clave al proporcionar a las empresas de insumos esenciales para la generación de nuevo conocimiento.

Por último, Marshall incorpora dentro de los mercados competitivos la heterogeneidad de las empresas y la explica en términos de los diversos niveles de conocimiento y competencia que posee cada empresa. Las cuasi-rentas son la remuneración directa del *stock* de conocimientos y competencias que cada empresa ha sido capaz de acumular y valorizar.

El conocimiento como un bien económico

Sobre la base de lo anterior, Kenneth Arrow (1962b) da un importante paso adelante, centrándose en el análisis del conocimiento como un bien económico per se, ya no inserto

en productos de capital u organizaciones. Antes de esto, el conocimiento no era considerado como un elemento separado. El análisis del conocimiento como un bien económico permite comprender las causas del fracaso radical del mercado para desempeñar sus funciones tradicionales y los riesgos subsiguientes de subproducción de conocimiento en los sistemas de mercado.

Los resultados del nuevo enfoque son innovadores. El conocimiento es el insumo intermediario básico para el incremento de la eficiencia, y el incentivo en términos de la deseabilidad social para la producción de conocimiento es enorme, puesto que cualquier sistema económico dedicaría la mayor parte de sus recursos a la generación de nuevo conocimiento como una forma de incrementar la eficiencia en la producción de todos los demás bienes. Sin embargo, debido a las grandes limitaciones del conocimiento como un bien económico en términos de no-apropiabilidad, no-excluibilidad, no-rivalidad en su uso, no-limitabilidad y no-divisibilidad, la rentabilidad privada de actividades generadoras de conocimiento se encuentra muy por debajo de la deseabilidad social. Además, debido a los elevados niveles de incertidumbre tanto en la generación como en la apropiación, los sistemas económicos son incapaces de financiar la cantidad correcta de recursos para la generación de nuevo conocimiento y, por consiguiente, para incrementar la producción de bienes mediante el incremento de la eficiencia general del proceso de producción. Por consiguiente, la ineficiencia dinámica se suma a la eficiencia estática: los mercados para el conocimiento, como un bien independiente, son ineficientes y, por lo tanto, los niveles necesarios de división del trabajo y especialización no pueden ser alcanzados. Un fracaso radical del mercado es consecuencia directa de las características del conocimiento, como un bien económico, privado e independiente. El fracaso de los mercados para el conocimiento es doble: ocurre en los mercados para el conocimiento como un producto, y en los mercados para recursos financieros que son necesarios para encargarse de su generación.

Partha Dasgupta y Paul David (1994) ponen en práctica la atribución al conocimiento científico de las características de un bien público y legitiman una división del trabajo entre empresas y universidades. Las segundas son responsables de la producción y distribución de conocimiento científico como un bien público. El papel del Estado en esta situación era el de un intermediario indispensable que recaudaba los impuestos necesarios para financiar la investigación universitaria. Las invenciones científicas son fundamentalmente perfeccionadas y mejoradas en la institución académica. La universidad es una institución bien definida que ha surgido gracias a siglos de implementación. El conocimiento científico, por lo tanto, es el producto de un *ethos* altamente idiosincrásico y de incentivos dedicados en los que el comportamiento en busca de reputación sustituye a la maximización

de utilidades estándar. De hecho, se espera que las empresas sean capaces de captar e implementar el estímulo desencadenado por los nuevos descubrimientos científicos. Las empresas posteriormente sacarán ventaja del suministro de nuevos adelantos científicos y los usarán como base para la generación de innovaciones tecnológicas.

Ariel Pakes y Zvi Griliches (1980) confirman que, en el ámbito de la empresa, el conocimiento tecnológico, medido por estadísticas de patentes, puede ser considerado un producto en una función de conocimiento-producción en la que las actividades de I&D son los principales insumos. La evidencia empírica reunida y analizada por Pierre Mohnen, Jacques Mairesse y Marcel Dagenais (2006) confirma, sin embargo, que el contexto local de actividad influye fuertemente sobre los efectos de las actividades de I&D.

Adam Jaffe (1986), Maryann Feldman (1999) y Zvi Griliches (1992) exploran el papel clave de otros insumos, distintos de los gastos tradicionales de I&D y sin embargo relevantes en la función de producción-conocimiento. Estos autores identifican la contribución del conocimiento externo que «chorrea» de los esfuerzos de investigación de otras empresas y laboratorios de investigación pública, y que puede ser usado en la producción de nuevo conocimiento por otros grupos. El redescubrimiento de excedentes de conocimiento conduce al resurgimiento del análisis marshalliano de externalidades. La economía regional contribuye al análisis de excedentes con un conocimiento sustancial sobre el papel de la proximidad geográfica en favorecer el acceso al conocimiento externo con efectos positivos sobre la productividad de recursos invertidos internamente en gastos de I&D (Audretsch y Feldman 1996).

La visión arroviiana sobre el conocimiento como un bien cuasi-público es contrastada por un cambio radical de perspectiva que destaca el papel de «aprender haciendo» y «aprender usando» como el motor básico de acumulación de conocimiento. Nuevo conocimiento tecnológico proviene de tales procesos de aprendizaje y en especial de los esfuerzos por convertir el conocimiento tácito en nuevos procedimientos que pueden ser parcialmente compartidos y transferidos (Stiglitz 1987). La nueva comprensión «desde abajo hacia arriba» del proceso de descubrimiento contrasta el tradicional enfoque «desde arriba hacia abajo» acerca del origen de las innovaciones tecnológicas. El análisis de la acumulación de conocimiento tecnológico juega un papel clave en este contexto. Franco Malerba (1992) destaca la importancia del conocimiento tácito, inserto en la organización de innovadores y en especial en sus procedimientos de aprendizaje, para reducir el potencial de posibles imitadores para absorber el nuevo conocimiento y favorecer niveles más elevados de apropiabilidad.

Economía de la información para la economía del conocimiento

La distinción introducida por Kenneth Arrow (1969) entre economía de la información y economía del conocimiento brinda orientación básica para implementar la economía del conocimiento. Una selección de herramientas creadas por los economistas de la información –tales como la teoría de agencia, el análisis de costos de transacción, la teoría de los signos y la economía de los contratos– son aplicadas exitosamente para comprender la generación, la diseminación y el uso del conocimiento.

Los costos de imitación y absorción de conocimiento externo son identificados gradualmente. Edwin Mansfield, Mark Schwartz y Samuel Wagner (1981) exploran empíricamente la noción de apropiabilidad del conocimiento. Wesley Cohen y Daniel Levinthal (1990) crean la noción clave de costos de absorción y destacan que se requiere que los usuarios e imitadores tengan un papel activo para que realmente puedan sacar ventaja de los beneficios potenciales de los excedentes de conocimiento.

Richard Nelson (1982) demuestra que, además de la cantidad de recursos invertidos en la producción de conocimiento, la eficiencia de la producción interna de conocimiento es un asunto fundamental, y destaca el papel clave de los procesos de aprendizaje y, más importante aun, del conocimiento externo como fuente de insumos.

En esta segunda etapa el debate cambia de orientación hacia el asunto básico de la complementariedad e interdependencia intrínsecas, en los ámbitos tecnológico, industrial y regional, entre los agentes, en la acumulación de nuevo conocimiento tecnológico y nuevas competencias económicas, y posteriormente en la introducción y adopción de nuevas tecnologías. El conocimiento es visto ahora, al mismo tiempo, como el producto de una investigación y un proceso de aprendizaje específico, y como el insumo para otras actividades conducentes a la generación de nuevo conocimiento. Aquí nuevamente está en operación la dinámica de la realimentación positiva: el producto de una parte del sistema es el insumo para otra, y sin embargo tales interacciones están mediadas por el mecanismo de precios solo hasta un punto limitado –la economía de la complejidad se acerca nuevamente–.

El aporte de Hayek (1945) crea la noción de conocimiento distribuido, disperso y fragmentado en miles de agentes económicos, y sienta las bases para el nuevo entendimiento. Solo cuando un conjunto complementario de fragmentos de conocimiento es reunido dentro de un contexto de interacciones coherentes, pueden las innovaciones exitosas ser introducidas y adoptadas: el conocimiento tecnológico es el producto de una actividad colectiva. Eric von Hippel (1976, 1998) allana el camino para un despliegue de análisis empíricos

sobre el papel clave de las interacciones usuario-productores como motores básicos para la acumulación de nuevo conocimiento tecnológico y la posterior introducción de nuevas tecnologías, que son importantes en esta etapa. Al mismo tiempo, el reconocimiento del papel clave del aprendizaje interno conduce a descubrir cómo el conocimiento tecnológico está caracterizado por una considerable persistencia (Lundvall 1988).

David Teece (1986) muestra cómo el análisis de los costos de transacción, agencia y comunicación proporciona una orientación básica para crear un marco teórico integrado que permita entender el emparejamiento entre tipos de conocimiento y formas y mecanismos de gobierno del conocimiento. Con esto, David Teece proporciona nuevas bases para el análisis schumpeteriano de conocimiento incorporado y contrasta el análisis arroviano del conocimiento como un bien *per se*. Siguiendo estas líneas, March (1991) introduce la fecunda distinción entre generación del conocimiento y explotación del conocimiento.

Ashish Arora y Alfonso Gambardella (1994) proporcionan evidencia empírica sobre el despliegue de acuerdos institucionales que permiten las transacciones de conocimiento y llaman la atención sobre la imposición de contratos adecuados, intercambio de prisioneros dentro de clubes tecnológicos e interacciones repetidas de largo plazo. Pier Paolo Patrucco (2005) muestra que los costos de comunicación juegan un papel fundamental en la estimación de la capacidad real de las empresas para acceder a conocimiento externo relevante y contribuye al surgimiento de nuevos sistemas tecnológicos. La proximidad de las empresas a las universidades y a los centros de investigación públicos en general, se convierte en una fuente importante de acceso a conocimiento externo siempre y cuando se haga algún esfuerzo por absorber el conocimiento disponible en las áreas locales de conocimiento.

La generación e introducción de innovaciones tecnológicas es vista ahora como el resultado de alianzas y compromisos complejos entre grupos heterogéneos de agentes. Los agentes son diversos debido a la diversidad de competencias y clases localizadas de conocimiento que emplean. Las alianzas se basan en la valorización de indivisibilidades débiles de conocimiento y complementariedades locales entre diversos tipos de conocimiento tecnológico (Arora 1995; Link y Scott 2002). Manuel Trajtenberg, Rebecca Henderson y Adam Jaffe (1995) confirman que la convergencia de esfuerzos de una diversidad de innovadores, incluyendo a empresas y universidades, cada una de las cuales tiene una base tecnológica específica y sin embargo complementaria, puede conducir a la generación exitosa de una nueva tecnología. En este punto, la idea schumpeteriana de «ráfagas de innovación» que caracterizan a los ciclos de negocios resurge y revela su fortaleza heurística (Schumpeter 1939).

Una vez más, la dinámica de la realimentación positiva surge como el factor clave. En esta ocasión, sin embargo, es claro que la realimentación positiva puede darse solo cuando se ha formado una arquitectura adecuada de relaciones de red. James Adams (2006) destaca que el papel fundamental que ha tenido la arquitectura de las relaciones de red, en especial entre empresas y centros de investigación públicos, marca un importante paso hacia la incursión de la economía de la complejidad.

Los aportes de Chris Freeman (1991) y Pari Patel y Keith Pavitt (1994) destacan que las características sistémicas del proceso de generación y uso del conocimiento tecnológico muestran cómo la complementariedad del conocimiento, la débil divisibilidad del conocimiento y la interdependencia entre agentes, empresas y centros de investigación pública con respecto al conocimiento, son elementos centrales para comprender los atributos de sistemas nacionales de innovación específicos articulados en subsistemas regionales, industriales y tecnológicos caracterizados por las redes de interacción y comunicación en las cuales se dan la diseminación y el acceso al conocimiento tecnológico.

El nuevo entendimiento sobre la asimetría entre la deuda y el capital social en el suministro de fondos para actividades de investigación abre el camino a una revolución en los mercados financieros. El financiamiento de capital social tiene una ventaja importante sobre la deuda en el suministro de fondos para iniciativas innovadoras porque puede participar dentro de la cola inferior de la distribución altamente sesgada de rendimientos positivos producto de la generación de nuevo conocimiento y de la introducción de nuevas tecnologías. Esto tiene importantes consecuencias en términos de reducción tanto de los riesgos del racionamiento de crédito como de los costos de recursos financieros para actividades de investigación. Las entidades crediticias, de hecho, necesitan cobrar altas tasas de interés para compensar los riesgos de un fracaso y organizar una gran parte de las nuevas actividades de investigación para evitar tantos «limones» como sea posible. Los inversionistas de capital social, en cambio, buscan una tasa de retorno de equilibrio a niveles mucho más bajos porque pueden participar de las enormes utilidades de una pequeña fracción de las nuevas operaciones. Como señalan Paul Gompers y Josh Lerner (2001), la cantidad de «limones» que el capital social puede respaldar es mucho mayor que la de la deuda; como consecuencia de ello, la equidad financiera por medio del capital de riesgo puede proporcionar una cantidad mucho mayor de financiamiento para actividades de investigación.

La creación de plataformas tecnológicas centradas en nuevas tecnologías clave mediante la cooperación de innovadores rivales favorece corriente arriba la convergencia de tecnologías, e incrementa corriente abajo el alcance tanto de la difusión generalizada de aplicaciones como de la introducción de enriquecimientos crecientes. Este tipo de enfoque

sistémico a la innovación reevalúa la relación entre servicios y fabricación como actividades complementarias, y supera la idea anterior que parte de la división entre ambos.

Los análisis empíricos examinados por Cristiano Antonelli (2006b) dentro del marco de la economía de la información muestran que el conocimiento tecnológico es un proceso dinámico altamente heterogéneo caracterizado por niveles variables de apropiabilidad, de carácter tácito y de indivisibilidad, que se presentan en la forma de acumulabilidad, complejidad, fungibilidad y persistencia. La heterogeneidad del conocimiento conduce a diversos modos de gobierno del conocimiento, articulados en una diversidad de formas híbridas que abarcan desde transacciones coordinadas e interacciones estructuradas hasta cuasi-jerarquías, los cuales pueden encontrarse entre los dos extremos poco realistas de los mercados puros y las organizaciones puras.

4. EL LEGADO MARSHALLIANO

El legado marshalliano consiste en las diversas líneas analíticas que, apartándose de la noción del sistema económico como un organismo con fuertes similitudes con las entidades biológicas, se orientan hacia la noción de la innovación como una propiedad emergente de un sistema complejo en evolución. En este enfoque la innovación es el resultado de un proceso colectivo y dependiente de la trayectoria que ocurre en un contexto localizado siempre y cuando un número suficiente de reacciones creativas inducidas por el fracaso ocurran de una manera coherente, complementaria y congruente.

Este enfoque es el resultado de la integración dentro del nuevo paradigma emergente de complejidad de tres corrientes de análisis distintas: a) el préstamo biológico inicial; la nueva epistemología basada en nociones de conocimiento tácito y racionalidad limitada y de procedimiento; y c) enfoques evolutivos y la economía de la complejidad.

El préstamo biológico

Alfred Marshall fue el primero en observar que la biología es la Meca de la economía. En efecto, la biología proporcionó sugerencias y estímulos importantes a las etapas iniciales de la economía de la innovación.

En su obra *Principles of Economics*, Marshall (1890) combina el legado de Smith con el enfoque neoclásico y capta la complejidad dinámica del cambio estructural como fuera articulado en la interacción entre la especialización y el cambio tecnológico, conducente a una creciente heterogeneidad de empresas en un contexto caracterizado por la variedad y la complementariedad.

El desarrollo del organismo, sea este social o físico, implica una creciente subdivisión de funciones entre sus partes separadas, por un lado, y, por otro, una conexión más íntima entre ellas. Cada parte se va haciendo menos y menos autosuficiente, y va dependiendo cada vez más de otras partes para su bienestar, de manera que un desorden en cualquier parte de un organismo altamente desarrollado afectará también a las demás. Este aumento en la subdivisión de funciones, o «diferenciación», como se la llama, se hace patente en lo que respecta a la industria, en formas tales como la división del trabajo y el desarrollo de habilidades, conocimiento y maquinaria especializados: en tanto que la «integración», esto es, una creciente intimidad y firmeza de las conexiones entre las partes separadas del organismo industrial, se muestra en formas tales como el incremento en la seguridad del crédito comercial, y de los medios y hábitos de comunicación por mar y tierra, por tren y telégrafo, mediante el correo y la imprenta (Marshall 1890: libro VIII, I, § 3, 4).

Un primer grupo relevante de programas de investigación importantes favorecidos por el injerto biológico es el análisis de los retrasos en la adopción de las innovaciones tecnológicas existentes. La economía de la difusión de nuevas tecnologías es concebida como el estudio de los factores que explican la distribución a lo largo del tiempo de la adopción de innovaciones exitosas identificables. Una nueva tecnología es introducida luego de un adelanto científico, y, sin embargo, se requiere de tiempo para que todos los usuarios de la perspectiva la adopten. Es en este contexto que surge la exitosa aplicación de la metodología epidémica, aún en proceso de ampliación. La distribución del tiempo de las adopciones puede ser concebida como el resultado de la propagación de la información contagiosa sobre la rentabilidad de la nueva tecnología. La proximidad en los espacios geográficos, industriales y técnicos es importante en este caso, en tanto que proporciona a los adoptantes reacios, escépticos y opuestos al riesgo la oportunidad de calcular la rentabilidad real de la nueva tecnología y, por lo tanto, adoptarla. Griliches (1957) se hace un préstamo de la epidemiología para aplicarlo a la economía de la innovación y proporciona una nueva herramienta analítica y un contexto fecundo para el análisis empírico, en el cual el contagio es asimilado a la difusión asumiendo que los agentes son heterogéneos y el motor de la dinámica se basa en la propagación de la información.

Stan Metcalfe (1981) proporciona una mejora significativa a la difusión epidémica: junto con el contagio epidémico, por el lado de la demanda, los cambios en la oferta también explican la distribución de las adopciones a lo largo del tiempo. Con ello, Metcalfe reintroduce las leyes básicas de la economía estándar en el marco teórico epidémico y muestra la relevancia de su interacción dinámica. Una secuencia de trayectorias logísticas de difusión se da cuando cambios relevantes por el lado de la oferta afectan la propagación del contagio epidémico en nuevas categorías de adoptantes de la perspectiva.

El segundo préstamo biológico importante a la economía de la innovación es la metáfora del ciclo de vida. La metáfora del ciclo de vida ha formado parte de la teoría de la empresa desde los árboles del bosque de Marshall. Se produce un cambio cuando la secuencia de nacimiento, adolescencia, madurez y obsolescencia es aplicada para enmarcar las etapas de la vida de un nuevo producto en lugar de una nueva empresa. Luego de su introducción, la vida del nuevo producto se caracteriza por una serie de sucesos sistemáticos. Según el enfoque del ciclo de vida del producto, se puede identificar un patrón coherente en la tipología de la innovación que se está introduciendo, en la evolución de la demanda, en la dinámica industrial y en las características del crecimiento de la empresa.

James Utterback y William Abernathy (1975) aplican la metáfora del ciclo de vida a las innovaciones tecnológicas: a) la distinción entre innovaciones principales e innovaciones menores es articulada y se identifica una secuencia entre la introducción de una innovación principal y la posterior aglomeración de innovaciones menores y crecientes; b) se identifica una secuencia entre innovaciones de producto e innovaciones de proceso. Luego de la introducción de un nuevo producto, se produce una gran cantidad de investigación en un esfuerzo por mejorar el proceso de producción.

Luc Soete y Roy turner (1984) exploran los detalles del proceso de selección en biología y aplican la noción del duplicador para comprender las características secuenciales de la dinámica de la industria a lo largo de la trayectoria. Stan Metcalfe (1997) ha demostrado la utilidad del duplicador para comprender cómo los innovadores pueden obtener utilidades adicionales, financiar su crecimiento y adquirir mayores cuotas de mercado. El análisis de la difusión de la innovación está entrelazado con el estudio del mecanismo de selección en el mercado. Las empresas que han podido introducir nuevas tecnologías también pueden incrementar su crecimiento y sus cuotas de mercado.

Racionalidad y cambio

Dos importantes aportes tomados directamente de la filosofía de la ciencia y de la ciencia cognitiva temprana caracterizan el surgimiento de las trayectorias tecnológicas como la nueva metáfora heurística y como programa de investigación. Las distinciones introducidas entre conocimiento tácito y codificado y racionalidad limitada y procesal, en oposición a la racionalidad «olímpica», pueden ser consideradas bloques fundacionales.

De acuerdo con Michael Polanyi (1969: 132): «El conocimiento es una actividad que sería descrita mejor como un proceso del saber», en lugar de como un bien, y los agentes a menudo saben más de lo que son capaces de explicar de una manera codificada y explícita. El conocimiento tácito está inserto en los procedimientos idiosincrásicos y hábitos desa-

rollados por cada agente. Puede ser traducido a un conocimiento totalmente codificado solamente por medio de esfuerzos sistemáticos y explícitos. Una consecuencia importante de la distinción entre conocimiento tácito y codificado consiste, de hecho, en el incremento de la apropiabilidad «natural» del conocimiento tecnológico.

Herbert Simon (1979) hace aquí dos importantes contribuciones. Primero, presenta la noción de racionalidad limitada para destacar las limitaciones de las suposiciones tradicionales sobre la racionalidad olímpica del «*homo oeconomicus*». La racionalidad limitada rápidamente se convirtió en un bloque de construcción para la nueva y emergente economía de la información: la adquisición de información y la generación de señales son costosas y la economía necesita preocuparse por ellas.

Posteriormente, sin embargo, Simon creó la distinción entre racionalidad sustantiva y de procedimiento. La introducción de la noción de racionalidad de procedimiento tiene consecuencias trascendentales, puesto que introduce la noción de toma de decisiones secuencial. Los agentes no pueden llegar a una racionalidad sustantiva para la carga que representa la amplia variedad de actividades necesarias para recopilar y procesar toda la información relevante. Los agentes pueden desarrollar procedimientos para evaluar, en cada punto del tiempo y del espacio, los resultados posibles de su comportamiento, pero dentro de los límites de un conocimiento limitado y usando criterios satisfactorios en lugar de reglas de maximización.

La noción de racionalidad de procedimiento presentada por Simon representa una contribución muy importante a la economía de la innovación. La racionalidad olímpica se opone a un contexto caracterizado por la incertidumbre radical, en el que nadie sabe realmente cuál será el resultado de un proyecto de investigación ni menos aun la próxima dirección que tomará el cambio tecnológico que está siendo introducido. De hecho, las ideas mismas de precios futuros y mercados futuros ni siquiera pueden ser consideradas si se toma en cuenta el cambio tecnológico. En tal contexto, solo es posible la toma de decisiones secuencial sobre la base de información limitada y conocimiento limitado.

La aplicación de la noción de racionalidad de procedimiento a la economía de la innovación conduce a una nueva valoración del papel de la reacción creativa como el nuevo entendimiento del incentivo básico de la innovación. Antonelli (1989) implementa y desarrolla la noción schumpeteriana de reacción creativa como el aspecto calificador del comportamiento de agentes innovadores: los agentes innovan cuando sus expectativas son burladas y sus desempeños caen por debajo de los niveles subjetivos de las aspiraciones. La reacción creativa es una parte del comportamiento satisfactorio de

agentes económicos afectados por racionalidad limitada, pero capaces de confiar en su racionalidad de procedimiento y de aprender, y, por tanto, de generar nuevo conocimiento y de modificar sus condiciones

Enfoques evolutivos: rutinas y trayectorias

El verdadero problema que enfrenta la economía de la innovación es proporcionar un contexto económico en el cual comprender el comportamiento de agentes económicos que enfrentan una inseguridad radical y los múltiples resultados posibles de sus elecciones. Se necesita una noción más amplia de racionalidad, así como un entendimiento más articulado de la complejidad de interacciones sociales, más allá de los ajustes estándar de precio-cantidad seleccionados en un contexto de previsión perfecta. Richard Nelson y Sid Winter (1977) aplican fructíferamente las nociones de conocimiento tácito y codificado y las implicaciones de racionalidad acotada y limitada a la teoría de la firma con la noción de rutinas. Brian Loasby (1998) sostiene que las rutinas proveen una pista para entender el crecimiento como resultado del comportamiento innovador de agentes cortos de miras capaces de acumular conocimiento y convertirlo en competencia.

Giovanni Dosi (1982) implementa la noción de trayectorias y la aplica a la comprensión de la dinámica de la innovación tanto con respecto a la secuencia de tecnologías bien definidas como a la secuencia de innovaciones introducidas por empresas conocidas y, con el tiempo, sistemas económicos tales como regiones, industrias e incluso países. El análisis de trayectorias parece especialmente prometedor en el ámbito de las empresas y en el análisis del proceso competitivo. Los primeros competidores cosechan ventajas competitivas sustanciales y levantan barreras de entrada basadas en su conocimiento tecnológico. Las duraderas utilidades extra proveen recursos financieros para financiar la creciente implementación del «aprender haciendo» interno y la competencia acumulada.

La noción de trayectoria tecnológica se construye sobre los logros conseguidos en términos de ciclo de vida del producto y hace posible un auge de investigación acumulativa en la disciplina, incluyendo la noción de convergencia tecnológica introducida por Rosenberg (1963) para destacar la combinación dinámica de tecnologías y sus relaciones generativas.

La investigación empírica permite identificar una variedad de trayectorias. Cuando se identifica una variedad de trayectorias en una variedad de tecnologías y empresas, surgen varias preguntas básicas: por qué algunas trayectorias son más «empinadas» que otras; por qué algunas trayectorias «duran» más que otras; por qué algunas empresas fallan en innovar; y por qué algunas industrias son menos capaces que otras para crear sus propias trayectorias. Gerald Silverberg, Giovanni Dosi y Luigi Orsenigo (1988) desarrollan el análisis

sis del posible resultado producto de múltiples interacciones entre una variedad de trayectorias aplicadas tanto a empresas como a tecnologías.

El acuerdo sobre la metáfora de la trayectoria desaparece muy rápidamente cuando se revela por completo su fuerte inclinación determinista. Esta metáfora de trayectoria parece revivir la vieja tentación de emplear determinismo tecnológico ad hoc para explicar cambios sociales y económicos como un proceso de alineamiento secuencial establecido por la tecnología. Las crisis paradigmáticas surgen como factores de discontinuidad. Se generan nuevas trayectorias y las viejas entran en declive. El origen de tales cambios y la emergencia de nuevos paradigmas tecnológicos, sin embargo, siguen siendo poco claros excepto por la referencia implícita a la noción de oportunidades tecnológicas y su agotamiento final. El origen fundamental del cambio tecnológico sigue siendo exógeno y ahora se le añade un fuerte carácter determinista.

En este contexto, caracterizado por el declive del poder heurístico de la noción de trayectoria y marcos evolutivos, se presta cada vez más atención al papel del tiempo histórico. La evidencia, provista por historiadores de la economía e historiadores de la tecnología, deja en claro el papel clave de la acumulabilidad e irreversibilidad tecnológica, del conocimiento localizado y de las externalidades locales (Dosi 1988, Freeman 1994).

Más generalmente, resulta evidente que aunque el pensamiento evolutivo proporciona un enfoque confiable y fértil para explicar el proceso de selección, no es tan capaz de ofrecer una explicación a la emergencia de la novedad y la regeneración de la variación. El pensamiento evolutivo no siempre es capaz de separarse de un marco en el que las variaciones y las ocasionales mutaciones son fundamentalmente el producto ciego de procesos aleatorios determinados por recombinación y aglomeración genéticas, y por consiguiente parece necesaria una evaluación del papel de los componentes intencionales de la toma de decisiones, tanto en la generación de conocimiento tecnológico como en la introducción de innovaciones. El análisis del papel de las interacciones mutuas entre las reacciones creativas y orientadas hacia un fin de cada agente y las cambiantes condiciones del sistema, incluyendo las innovaciones que están siendo introducidas por otros agentes, surge como el enfoque por medio del cual el cambio tecnológico puede ser entendido como un proceso endógeno.

Hacia una economía de la complejidad

La complejidad está surgiendo como una nueva teoría unificadora para comprender el cambio y la transformación endógenos a través de una variedad de disciplinas, desde las matemáticas y la física hasta la biología. La complejidad favorece el enfoque sistémico en

el hecho de que el resultado del comportamiento de cada agente y del sistema en el que cada uno está inserto solamente puede entenderse como el resultado de la interacción entre microdinámica y macrodinámica. La complejidad se fundamenta en una serie de supuestos básicos:

- a) **Agentes heterogéneos.** Los agentes se caracterizan por características particulares y específicas, así como por ser intrínsecamente heterogéneos.
- b) **La ubicación sí importa.** La ubicación en un espacio multidimensional, en términos de distancia entre agentes y su densidad, importa e influye tanto sobre el comportamiento como sobre el desempeño.
- c) **Conocimiento local.** Cada agente tiene acceso solamente a información local y conocimiento local, esto es, ningún agente sabe lo que otro agente sabe.
- d) **Contexto local de interacción.** Los agentes están localizados dentro de redes de relaciones, incluyendo transacciones y realimentaciones, que son subconjuntos específicos del conjunto más amplio de interacciones que definen su comportamiento.
- e) **Creatividad.** Los agentes son creativos, esto es, pueden seguir ciertas reglas, pero también pueden cambiarlas. Hacen esto como una respuesta a realimentaciones recibidas, de acuerdo con sus propias características específicas y las características de atributos locales, incluyendo la red de transacciones e interacciones en la que están insertos.
- f) **Interdependencia sistémica.** El resultado del comportamiento de cada agente depende estrictamente de la red de interacciones que tienen lugar dentro del sistema. Por consiguiente, en cada momento del tiempo, la topología del sistema, esto es, cómo están distribuidas las características e interacciones estructurales de los agentes en sus espacios multidimensionales relevantes, tiene un papel clave.

Los sistemas complejos se caracterizan por su no-ergodicidad, transiciones de fase y propiedades emergentes. Cuando la no-ergodicidad genera un ligero impacto en un momento particular del tiempo, este afecta la dinámica de largo plazo de un sistema. Las transiciones de fase consisten en cambios cualitativos que pueden ser determinados por cambios menores en los parámetros del sistema. Las propiedades emergentes son propiedades de un sistema que se aplican en un nivel específico de agregación de un sistema.

Como muestran Barkley Rosser (1999) y John Foster (2005), la fusión de la teoría de la complejidad y la economía contribuye a la creación de una teoría económica de la complejidad basada en no-ergodicidad, transiciones de fase y propiedades emergentes. La integración de la rica y elaborada competencia de la economía al lidiar con análisis sistémicos, aunque ocurre en un contexto estático, puede hacer uso de la dinámica de sistemas complejos, en especial cuando se toma en cuenta el papel del tiempo histórico y el comporta-

miento intencional de «agentes en busca de rentas», y cuando se integra una comprensión de la economía de la innovación.

De acuerdo con el análisis de Steven Durlauf (2005), la noción de dependencia de la trayectoria es la forma específica de dinámicas complejas aplicadas a entender los sistemas económicos como sistemas en evolución que permiten integrar en un marco único y coherente una variedad de contribuciones relevantes y complementarias.

La dependencia de la trayectoria ofrece un marco analítico único y fecundo, capaz de explicar y evaluar los cambiantes resultados de la combinación de (e interacción entre) factores de continuidad y discontinuidad, crecimiento y desarrollo, histéresis y creatividad, rutinas y «libre voluntad», que caracterizan a la acción económica en una perspectiva dinámica que también es capaz de apreciar el papel del tiempo histórico.

De acuerdo con el análisis articulado por Paul David en una larga secuencia de aportes que se remontan a su libro de 1975, la dependencia de la trayectoria es un atributo de una clase especial de procesos dinámicos. Un proceso es dependiente de la trayectoria cuando es no-ergódico y sujeto de múltiples atractores: «Los sistemas que poseen esta propiedad no pueden librarse de los efectos de hechos pasados, y no tienen una distribución de probabilidad invariante y limitante que sea continua en todo el espacio del estado» (David 1992: 1; 1988, 1994, 2007).

En efecto, el análisis histórico y buena parte de la evidencia empírica sobre crecimiento económico y específicamente sobre la economía de la innovación y las nuevas tecnologías, confirman que estas características se aplican y son sumamente relevantes para entender las leyes del cambio y crecimiento de los sistemas complejos. La dependencia de la trayectoria es la forma específica de dinámica de sistemas complejos más apropiada para comprender el proceso y los resultados de las interacciones entre agentes cortos de miras insertos en sus propios contextos y constreñidos por sus decisiones pasadas, y sin embargo dotados de creatividad y capaces de generar nuevo conocimiento tanto mediante el aprendizaje y estrategias innovadoras intencionales, como por medio de cambios estructurales.

La noción de ergodicidad merece ser examinada en detalle. Cuando un proceso es no-ergódico, las condiciones iniciales (y los hechos que ocurren en las etapas iniciales del camino) por lo general tienen un gran efecto en su desarrollo y en el resultado final. La dependencia del pasado, o «historicidad», es una forma extrema de no-ergodicidad. El determinismo histórico, así como el social y el tecnológico, corresponden totalmente a la dependencia del pasado. Aquí, las características de los procesos que son analizados y sus

resultados son completamente determinados y contenidos en su condición inicial. En la economía de la innovación teórica, a menudo se ha asumido esta extrema (algunos dirían «degenerada») forma de dependencia de la trayectoria: los modelos epidémicos de la difusión de innovaciones y la noción de innovaciones «encerradas» en una trayectoria tecnológica son ejemplos típicos de la representación determinista de fenómenos tecnológicos y sociales esencialmente estocásticos. Como tales, estos modelos no-ergódicos son analíticamente informativos, pero empíricamente poco interesantes. El proceso ocurre dentro de un solo corredor, definido desde el inicio, y los atractores externos no pueden modificar su ruta, ni la dinámica del proceso puede ser alterada por alteraciones aleatorias pasajeras en sus operaciones internas.

La dependencia de la trayectoria se diferencia de la dependencia del pasado determinista en que la irreversibilidad proviene de acontecimientos que ocurren a lo largo del camino, y no son solo las condiciones iniciales las que juegan un papel al seleccionar de entre la multiplicidad de posibles resultados. El análisis de un sistema estocástico dependiente de la trayectoria se basa en los conceptos de irreversibilidades pasajeras o «permanentes a un nivel 'micro'», creatividad y realimentación positiva. Los últimos procesos de autoafirmación funcionan ambos por medio del sistema de precios y mediante externalidades no pecuniarías formadas por interacciones sociales no vinculadas al mercado. Se puede considerar que la conceptualización de la dependencia de la trayectoria estocástica ocupa la región fronteriza entre una visión del mundo en la que la historia es relevante solo para establecer las condiciones iniciales, pero no guarda relación con el desarrollo del proceso, y otra en la que las dinámicas se desarrollan de manera determinista.

La dependencia de la trayectoria es la conceptualización de la dinámica histórica en la que un «accidente» sigue a otro de manera implacable e impredecible, y, sin embargo, el pasado reduce el ámbito de posibles resultados, formando el corredor en el que ocurre la dinámica. La dependencia de la trayectoria da a los economistas la posibilidad de incluir fuerzas históricas sin sucumbir al determinismo histórico ingenuo. Al mismo tiempo, hace posible reducir el ámbito de espacios relevantes a los que el sistema se podría mover en cada momento del tiempo. La comprensión de las fuerzas históricas y de las dinámicas de los agentes individuales y el sistema agregado, provee una pista para predecir, con cierto grado de indeterminación, los desarrollos futuros de un proceso dinámico. Y al hacerlo, la dependencia de la trayectoria permite sustituir la falacia determinista de análisis de equilibrio general con el entendimiento estocástico de procesos dinámicos de largo plazo (Rosenberg 1994).

En este punto surge una distinción importante entre innovación dependiente de la trayectoria y difusión dependiente de la trayectoria. La primera ocurre cuando la trayectoria que sigue la empresa es determinada por la irreversibilidad de sus factores de producción y por la acumulación de competencia y conocimiento tácito basado en aprender haciendo y aprender usando. En este caso, los costos de intercambio que enfrentan las empresas influyen en la elección de la nueva tecnología cuando, debido a cambios en costos de factores relativos o en los niveles de resultados, estas intentan cambiar los niveles de sus insumos. Esto último se aplica a la elección de la nueva tecnología mientras esta es moldeada por las condiciones del mercado. La interdependencia entre usuarios conduce a retornos crecientes en adopción, de manera que las tecnologías que han sido adoptadas por una gran proporción de posibles usuarios tienen mayores oportunidades de ganar en el proceso de selección y extenderse por el resto del sistema. La noción de dependencia de la trayectoria elaborada por Paul David (1975, 1988, 1992) pertenece al primer caso: las empresas son inducidas a seguir una trayectoria de cambio tecnológico por sus características internas. La noción de adopción dependiente de la trayectoria, elaborada por Brian Arthur (1989) y Paul David (1985), se aplica a la elección de una nueva tecnología entre muchas otras posibles y claramente corresponde al segundo caso: nuevas tecnologías son clasificadas por retornos crecientes para su adopción en el ámbito del sistema. La distinción entre dependencia de la trayectoria interna y externa también es crucial. En el primer caso el énfasis está puesto sobre el papel de factores internos de cada empresa en la formación de su trayectoria de innovación y cambio. En el segundo, en cambio, se da mucha más atención al papel de los factores externos, incluyendo realimentaciones (Arthur 1999).

De acuerdo con Douglas North (1997), la introducción de la innovación ocurre como resultado de condiciones de desequilibrio del sistema y reproduce nuevas condiciones de desequilibrio. El cambio tecnológico es ahora el resultado endógeno de una condición de equilibrio que tiene pocas posibilidades de converger hacia un nuevo equilibrio. De hecho, el equilibrio y el cambio tecnológico emergen como extremos opuestos: el equilibrio es posible cuando no ocurre un cambio tecnológico, y viceversa.

Por consiguiente, Joel Mokyr (1990) puede articular la visión de que el cambio tecnológico es una forma de retornos crecientes sistémicos, dinámicos, estocásticos y finitos, que conducen a un crecimiento puntuado. El cambio tecnológico de hecho ocurre cuando se dan diversas condiciones altamente calificadas y necesarias. Como Stan Metcalfe, John Foster y Ronnie Ramlogan (2006) documentan empíricamente, la introducción exitosa del cambio tecnológico es el frágil resultado de un conjunto complejo de condiciones necesarias y complementarias en las que las empresas se adaptan continuamente a las cambiantes condiciones de su entorno.

Un fuerte hilo común vincula el análisis desarrollado con la noción de ciclo de vida y trayectoria tecnológica y la noción de dependencia de la trayectoria. Solo la segunda, sin embargo, proporciona una teoría para comprender por qué y cómo ocurre el cambio tecnológico secuencialmente a lo largo de ejes definidos en términos de complementariedad y acumulabilidad, tanto internas como externas a cada empresa. Desde este punto de vista, la trayectoria tecnológica representa un progreso significativo con respecto a tanto la trayectoria tecnológica como el ciclo de vida.

La dependencia de la trayectoria se aplica a cada agente y en el ámbito del sistema: por consiguiente es posible identificar y articular una dependencia de la trayectoria individual y una sistémica.

La dependencia de la trayectoria individual proporciona las herramientas para comprender la combinación de factores histeréticos y dependientes del pasado, tales como la cuasi-irreversibilidad de los factores de producción tangibles e intangibles, los *stocks* de conocimiento y competencia, y el aprendizaje localizado, con las relaciones generativas y reacciones creativas que permiten, en cada momento del tiempo, un cambio en la dirección de la acción de cada agente, incluyendo la introducción de innovaciones. En el nivel de la empresa, la generación de conocimiento comparte las características típicas de un proceso dependiente de la trayectoria en el que los efectos del pasado, en términos de acumulación de competencia, principalmente basada en procesos de aprendizaje en un contexto localizado y de interacción con una determinada estructura de agentes, ejercen una influencia y sin embargo están balanceados por la creatividad específica que es inducida por las condiciones cambiantes del sistema.

Antonelli (1997, 2007) proporciona un recuento sistemático de avances mucho más recientes en la economía de la innovación hacia la economía de la complejidad. Las empresas innovan cuando enfrentan cambios en el estado esperado del mundo, generados por cambios tanto en los mercados de productos como en los de factores. La innovación es inducida por la disparidad entre los acontecimientos inesperados que los agentes cortos de miras no pueden anticipar por completo y las decisiones irreversibles que es necesario tomar en cualquier momento. Las empresas inducidas a innovar por la irreversibilidad y el desequilibrio tanto en mercados de productos como en mercados de factores, buscan localmente nuevas tecnologías. La dirección del cambio tecnológico es influenciada por la búsqueda de nuevas tecnologías que son complementarias con las ya existentes. Esto resulta aun más verosímil cuando la introducción de cambios tecnológicos se hace posible debido a la acumulación de competencia y conocimiento localizado dentro de la empresa.

En este contexto, la introducción de innovaciones y nuevas tecnologías es el resultado de una búsqueda local, constreñida por las limitaciones de empresas a explorar una amplia gama de opciones tecnológicas. La racionalidad de procedimientos impulsa a las empresas a limitar la búsqueda de nuevas tecnologías a la proximidad de técnicas que ya están en uso, sobre las cuales aprender haciendo y aprender usando han incrementado el *stock* de competencia y conocimiento tácito. La velocidad del cambio tecnológico a su vez es influenciada por la eficiencia relativa de la búsqueda de nuevas tecnologías. Esta dinámica lleva a que las empresas se mantengan en una región de técnicas que estén próximas a la original y que continúen mejorando la tecnología en uso.

Las empresas son más capaces de cambiar sus tecnologías cuando, como resultado de sistemas de comunicación efectivos, las externalidades locales pueden convertirse en conocimiento colectivo; cuando elevados niveles de inversiones pueden ayudar a la introducción de nuevas tecnologías; cuando está en funcionamiento un adecuado sistema institucional de interacción entre la comunidad académica, los centros de investigación públicos y la comunidad de negocios; cuando la dinámica industrial en mercados de productos e insumos puede inducir cambios tecnológicos localizados que a su vez afectan las condiciones competitivas de las empresas; cuando los procesos estocásticos ayudan a la interacción creativa de nuevas formas localizadas y complementarias de conocimiento y nuevas tecnologías localizadas, para formar nuevos sistemas tecnológicos efectivos; cuando la dinámica de la realimentación positiva puede realmente implementar las secuencias del aprendizaje a lo largo de las trayectorias tecnológicas, así como las interacciones entre innovación y difusión. Tal conjunto de condiciones dinámicas y sistémicas tiene fuertes características estocásticas y está disponible en condiciones finitas: es improbable que el proceso continúe indefinidamente hasta que todas las combinaciones posibles se hayan agotado.

Las arquitecturas del sistema en el que están localizadas las empresas ejercen un papel clave en la formación de la dinámica tanto en el nivel agregado como en el individual. La estructura de interacciones, las redes de cooperación y comunicación, los flujos de externalidades tecnológicas, la estructura de los mercados para productos y procesos, y las formas de competencia que predominan en cada uno de ellos, la distribución geográfica de las empresas, su densidad en espacios regionales y tecnológicos, las formas de organización dentro de empresas y entre ellas, y el contexto institucional, son los portadores meso-económicos de la historia y, como tales, encarnan la memoria del sistema. Cambian con el tiempo, aunque a una velocidad lenta, como resultado de las dinámicas de los agentes y del agregado. Las características meso-económicas del sistema funcionan como un filtro entre las dinámicas en el nivel individual y las del nivel agregado (Dopfer 2005).

De acuerdo con Paul Krugman (1994), los paisajes accidentados en el espacio geográfico, tecnológico, de conocimiento, de mercado y de productos, son al mismo tiempo la consecuencia y los determinantes de la dinámica compleja. La complejidad dependiente de la trayectoria permite prestar atención a las características estructurales del sistema en términos de la distribución de agentes en las diversas dimensiones del espacio, y apreciar la arquitectura de las relaciones de comunicación, interacción y competencia que ocurren entre agentes al calcular la velocidad y dirección del cambio tecnológico.

Algunas arquitecturas son claramente más conductivas que otras. Las arquitecturas mismas son, sin embargo, los productos dependientes de la trayectoria de elecciones intencionales de ubicación y movilidad de agentes, conscientes de los efectos de su ubicación en tal espacio multidimensional sobre sus posibilidades de generar e introducir innovaciones tecnológicas oportunas, nuevas y adecuadas. La dependencia de la trayectoria sistémica explora la mezcla de elementos dependientes del pasado insertos en las características estructurales del sistema, tales como atributos, estructura industrial y económica, formas del mercado y organización de las redes de comunicación e interacción en funcionamiento, con cambios a la arquitectura de la estructura que la acción colectiva puede introducir en cualquier momento.

La evaluación e identificación de las condiciones estructurales que forman los sistemas económicos y son conductivas para la introducción y difusión de nuevas tecnologías, es uno de los resultados principales de esta línea de análisis. La estructura de interacciones sociales y fuera del mercado es endógena al sistema en sí: la arquitectura de redes de conocimiento está fuertemente influenciada por las estrategias de las empresas que buscan mejorar su ubicación dentro de sistemas de interacciones. La exploración de la formación endógena de coaliciones dentro de comunidades científicas proporciona información útil tanto para incrementar la eficiencia de las tareas científicas como para implementar herramientas dedicadas para la ciencia y las políticas de la innovación (David y Keely 2003, D'Ignazio y Giovannetti 2006).

En este contexto, es crucial la noción de relación generativa introducida por David Lane y Robert Maxfield (1997). Las relaciones generativas son:

Realimentaciones positivas constructivas que tienen un equivalente obvio: a medida que la estructura del espacio del agente/artefacto sufre una oleada de cambios, aparecen nuevos agentes y artefactos, y los antiguos adquieren nuevas funcionalidades; y por consiguiente, las viejas interpretaciones de identidad tienen una relación cada vez más tirante con las acciones observables, los hechos del mundo. Diferentes agentes responden de dife-

rentes maneras: algunos responden a la ambigüedad resultante generando nuevas atribuciones para entender la novedad experimentada, y así la heterogeneidad atribucional aumenta, aumentando más la posibilidad de que participantes de otras relaciones alcancen suficiente diversidad atribucional como para volverse realmente generativos (Lane y Maxfield 1997: 185).

Las relaciones generativas conducen a la introducción de innovaciones, y las innovaciones alimentan el cambio estructural en el espacio agente/artefacto. El proceso ocurre por medio de una dinámica «autosuficiente» en la que nuevas relaciones generativas inducen cambios atribucionales que conducen a acciones que a su vez generan posibilidades de nuevas relaciones generativas. Las características estructurales del sistema en términos de la distribución de agentes en espacios multidimensionales, de sus redes de comunicación, relación e interacciones calificadas por direccionalidad alineada, heterogeneidad, direccionalidad mutua, permisos y oportunidades de acción, son elementos clave para la sostenibilidad del proceso.

La acumulación exitosa de nuevo conocimiento tecnológico, la introducción eventual de nuevas y más productivas tecnologías y su rápida difusión tienen más probabilidades de ocurrencia en un proceso autopropulsado y de avance vertiginoso, y a una mayor velocidad dentro de sistemas económicos caracterizados por rápidas tasas de crecimiento en los que la interacción, las realimentaciones y la comunicación son más veloces. En tales circunstancias especiales, el sistema puede sufrir una transición de fase que conduzca a la introducción de un nuevo y radical sistema tecnológico.

La relación circular entre estructura e innovación, y la conducta y el desempeño de las empresas, son, en efecto, influenciadas por la estructura del sistema en el tiempo t , pero a su vez ejercen una fuerte influencia sobre las características de la estructura en el tiempo $t+1$, con la introducción de innovaciones. Se determina una nueva estructura, y para reajustarse a ella, las empresas crean nuevas estrategias que incluyen la introducción de innovaciones adicionales. La comprensión de esta relación recursiva allana el camino para entender los elementos básicos del sistema dinámico y continuo de realimentación entre la conducta y el desempeño de las empresas, la velocidad y dirección del cambio tecnológico y el cambio estructural con una creciente conciencia de sus características históricas y evolutivas.

Como sugiere Kenneth Arrow (2000), en estas circunstancias la generación de nuevo conocimiento tecnológico y la introducción de nuevas tecnologías pueden ser vistas como la causa y la consecuencia de crecimiento económico puntuado y retornos crecientes dinámicos.

La innovación es tanto el resultado como la causa de las condiciones de desequilibrio. Una clara continuidad, ya desde los injertos biológicos en la trayectoria y finalmente el enfoque de redes sistémico, confirma que la innovación solo puede ser entendida en un contexto analítico que acepta la integración del análisis de empresas y agentes que son continuamente alejados de potenciales condiciones de equilibrio e intenta reaccionar a las condiciones inesperadas tanto de los mercados de productos como de los de factores, por medio de la introducción de nuevos productos, nuevos procesos, nuevas formas de organización y nuevos mercados

5. CONCLUSIÓN

La economía de la innovación es un área particular de especialización dentro de la economía, con un conjunto bien definido de competencias sobre los orígenes, las causas, las características y las consecuencias de la introducción de cambios tecnológicos y organizacionales en el sistema económico. Al mismo tiempo, sin embargo, la economía de la innovación aparenta ser uno de los pilares principales de la emergente economía de la complejidad.

Es el resultado de un largo proceso. El punto de partida es, en efecto, el descubrimiento de la enorme porción de crecimiento económico inexplicado que solo puede ser atribuido al cambio tecnológico. El intento de proporcionar una explicación económica al cambio tecnológico, capaz de integrar el análisis de los efectos y las causas de la introducción de innovaciones, ha conducido al redescubrimiento de una variedad de trayectorias dinámicas olvidadas proporcionadas por la historia del pensamiento económico. Los cuatro amplios marcos heurísticos identificados son: los legados clásicos de Adam Smith y Karl Marx, el legado schumpeteriano, el legado arroviano y el legado marshalliano finalmente implementado por enfoques evolutivos conducentes a la complejidad.

Tan pronto como las suposiciones sobre la exogeneidad de las funciones de producción (y utilidad) se relajan y los agentes son considerados tanto inteligentes como dotados de una forma específica de creatividad que permite cambiar endógenamente las características básicas de las funciones de utilidad y producción y, por consiguiente, los gustos, preferencias, tecnologías y rutinas, la relevancia del análisis de equilibrio general disminuye. Es difícil concebir un sistema de precios futuros que sea capaz de tomar en cuenta la introducción de todas las posibles nuevas tecnologías en un horizonte temporal dado. De hecho, ya no hay un solo atractor, puesto que a las firmas ahora se les atribuye la capacidad de generar su propio conocimiento tecnológico y cambiar sus tecnologías, y no solo de variar ya sea la cantidad que producen o los precios que cobran.

La identificación de las cuatro líneas de investigación es el resultado del emparejamiento progresivo entre un legado específico de la historia del pensamiento económico y un área específica de investigación considerada en la historia del análisis económico. El legado clásico proporciona los insumos básicos para crear una teoría de crecimiento económico basada en la introducción intencional de innovaciones tecnológicas. El legado schumpeteriano resultó ser fecundo para analizar el papel de la innovación dentro de la rivalidad oligopólica y permitió apreciar el papel del emprendimiento como un motor básico para la introducción continua de nuevas tecnologías. El legado arroviano proporcionó los primeros elementos que con el tiempo fueron enriquecidos en un completo análisis de las características del conocimiento desde un punto de vista económico. Por último, el legado marshalliano ha llevado a la emergencia de un enfoque evolutivo, finalmente articulado en una nueva teoría de la complejidad, que permite comprender el proceso de especialización y cambio estructural, sobre la base de la interacción entre la heterogeneidad, la complementariedad y la competencia que caracterizan al proceso de innovación.

Cada una de las cuatro aproximaciones tiene un foco claro y un área de investigación particular. En la segunda mitad del siglo XX evolucionaron en simultáneo con un proceso de especialización y consolidación de sus respectivas áreas de experiencia. En un segundo momento, sin embargo, se han realizado un creciente número de contribuciones laterales y horizontales. Como consecuencia de ello, un cuerpo bastante consistente de conocimiento articulado en una cartera de herramientas analíticas ha surgido de la convergencia de los cuatro enfoques con la integración progresiva de los diversos campos de investigación.

Este parece ser el contexto en el que el análisis de las condiciones de eficiencia dinámica puede ser considerado para que pueda convertirse en uno de los objetivos y ámbitos clave del trabajo contemporáneo en teoría económica. La fusión de la teoría dinámica compleja con una teoría del agente basada en la optimización subjetiva implementada por la consideración necesaria por las opciones creativas en un contexto caracterizado por la heterogeneidad intrínseca de las empresas, puede ser productiva tanto para la economía como para construir una teoría más articulada de dinámica de sistemas complejos.

Los sistemas económicos son cada vez más como complejos mecanismos dinámicos capaces de crecer y de tener niveles diferenciados de eficiencia dinámica. Por su parte, tales niveles de eficiencia son el resultado del comportamiento de agentes heterogéneos y de la estructura de sus relaciones, en tanto que tienen una capacidad diferencial de cambiar las reglas y la red de interacciones. Por consiguiente, son capaces de generar nuevo conocimiento tecnológico y de introducir nuevas tecnologías.

La noción de dependencia de la trayectoria proporciona uno de los marcos más articulados y detallados desde los cuales avanzar hacia el análisis de las condiciones que permiten concebir el funcionamiento de un sistema económico en el que los agentes son capaces de generar nuevo conocimiento tecnológico, introducir nuevas innovaciones tecnológicas y aprovechar el crecimiento endógeno. La noción de dependencia de la trayectoria puede ser considerada la forma analítica de complejidad más apropiada para comprender la dinámica de los sistemas económicos en los que los agentes heterogéneos se caracterizan por cierto nivel de dependencia del pasado, así como por creatividad local, interdependencia y movilidad limitada en un espacio estructurado que afecta su comportamiento pero que no es el único determinante.

La dependencia de la trayectoria es un marco conceptual fundamental que va más allá del análisis de la eficiencia estática y entra al análisis de las condiciones de la eficiencia dinámica. Se aplica a cada agente, en términos de la cuasi-irreversibilidad de su propia dotación de bienes tangibles e intangibles, redes de relaciones tanto en los mercados de productos como en los de factores, reservas de conocimiento y competencia, y al ámbito del sistema en términos de dotaciones generales de factores de producción, estructura industrial y económica, y la arquitectura de las redes en funcionamiento.

La identificación y articulación de la dependencia de la trayectoria individual y sistémica permite comprender las leyes básicas de la interacción continua entre los efectos histeréticos de la dependencia del pasado, tanto en el ámbito del agente como en el del sistema, y la dinámica de realimentación que permite la conducta intencional del agente creativo para cambiar tanto el curso de sus acciones como las características del espacio estructurado. Y al hacerlo, la dependencia de la trayectoria retiene los aportes positivos de la metodología del sistema dinámico complejo, y al mismo tiempo tiene la capacidad de superar las limitaciones intrínsecas que provienen de sus orígenes construidos sobre la base de las ciencias naturales en las que la toma de decisiones humana no es tomada en cuenta. En efecto, la noción de dependencia de la trayectoria es una de las principales incursiones en el reto de aplicar la emergente teoría de la complejidad a la economía.

BIBLIOGRAFÍA

ABERNATHY, W. J. y K. B. Clark

1985 «Mapping the Winds of Creative Destruction». En: *Research Policy* 14, pp. 3-22.

ABRAMOVITZ, M.

1956 «Resources and Output Trends in the US Since 1870». En: *American Economic Review* 46, pp. 5-23.

ACEMOGLU, D.

2002 «Directed Technical Change». En: *Review of Economic Studies* 69, pp. 781-810.

1998 «Why Do New Technologies Complement Skills? Directed Technical Change and Wage Inequality». En: *Quarterly Journal of Economics* 113, pp. 1055-89.

ACS, Z. J. y D. B. AUDRETSCH

1988 «Innovation in Large and Small Firms: An Empirical Analysis». En: *American Economic Review* 78, pp. 678-90.

ADAMS, J. D.

2006 «Learning, Internal Research, and Spillovers». En: *Economics of Innovation and New Technology* 15, pp. 5-36.

AGHION, P. y P. HOWITT

1992 «A Model of Growth Through Creative Destruction». En: *Econometrica* 60, pp. 323-51.

ANTONELLI, C. (ed.)

2008a *The Economics of Innovation*. Londres: Routledge Major Works

2008b *Localized Technological Change: Towards the Economics of Complexity*. Londres: Routledge.

2007 «The System Dynamics of Collective Knowledge: From Gradualism and Saltationism to Punctuated Change». En: *Journal of Economic Behavior and Organization* 62, pp. 215-34.

2006a «Diffusion as a Process of Creative Adoption». En: *Journal of Technology Transfer* 31, pp. 211-26.

2006b «The Governance of Localized Knowledge. An Information Economics Approach to the Economics of Knowledge». En: *Industry and Innovation* 13, pp. 227-61.

1997 «The Economics of Path-Dependence in Industrial Organization». En: *International Journal of Industrial Organization* 15, pp. 643-75.

1993 «Investment and Adoption in Advanced Telecommunications». En: *Journal of Economic Behavior and Organization* 17, pp. 227-46.

1989 «A Failure Inducement Model of Research and Development Expenditure: Italian Evidence from the Early 1980's». En: *Journal of Economic Behavior and Organization* 12, pp. 159-80.

ARORA, A.

1995 «Licensing Tacit Knowledge: Intellectual Property Rights and the Market for Know-How». En: *Economics of Innovation and New Technology* 4, pp. 41-59.

ARORA, A. y A. GAMBARDELLA

- 1994 «The Changing Technology of Technical Change: General and Abstract Knowledge and the Division of Innovative Labor». En: *Research Policy* 23, pp. 523-32.

ARROW, K. J.

- 2000 «Increasing Returns: Historiographic Issues and Path Dependence». En: *European Journal of History of Economic Thought* 7, pp. 171-80.
- 1969 «Classificatory Notes on the Production and Transmission of Technical Knowledge». En: *American Economic Review* 59, pp. 29-35.
- 1962a «The Economic Implications of Learning by Doing». En: *Review of Economic Studies* 29, pp. 155-73.
- 1962b «Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention». En: NELSON, R. R. (ed.). *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*. Princeton: Princeton University Press for N.B.E.R.

ARTHUR, B.

- 1999 «Complexity and the Economy». En: *Science* 284, pp. 107-9.
- 1989 «Competing Technologies Increasing Returns and Lock-In by Small Historical Events». En: *Economic Journal* 99, pp. 116-31.

ATKINSON, A. B. y J. E. STIGLITZ

- 1969 «A New View of Technological Change». En: *Economic Journal* 79, pp. 573-8.

AUDRETSCH, D. B. y M. FELDMAN

- 1996 «Spillovers and the Geography of Innovation and Production». En: *American Economic Review* 86, pp. 630-40.

BAUMOL, W. J.

- 2004 «Entrepreneurial Enterprises, Large Established Firms and Other Components of the Free-Market Growth Machine». En: *Small Business Economics* 23, pp. 9-21.

BINSWANGER, H. P. y V. W. RUTTAN (eds.)

- 1978 *Induced Innovation: Technology Institutions and Development*. Baltimore: John Hopkins University Press. (pp. 13-43).

BRESNAHAN, T. F. y M. TRAJTENBERG

- 1995 «General Purpose Technologies: 'Engines of growth'?». En: *Journal of Econometrics* 65, pp. 83-108.

CANTWELL, J. y B. ANDERSEN

- 1996 «A Statistical Analysis of corporate technological leadership historically». En: *Economics of Innovation and New Technology* 4, pp. 211-34.

CHANDLER, A. D.

- 1990 *Scale and Scope: The Dynamics of Industrial Capitalism*. Cambridge, MA: The Belknap Press of Harvard University Press.
- 1977 *The Visible Hand: The Managerial Revolution in American Business*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

COHEN, W. M. y D. A. LEVINTHAL

- 1990 «Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation». En: *Administrative Science Quarterly* 35, pp. 128-52.

D'IGNAZIO, A. y E. GIOVANNETTI

- 2006 «From Exogenous to Endogenous Economic Networks: Internet Applications». En: *Journal of Economic Survey* 20, pp. 757-96.

DASGUPTA, P. y P. A. DAVID

- 1994 «Towards a New Economics of Science». En: *Research Policy* 23, pp. 487-521.

DASGUPTA, P. y J. E. STIGLITZ

- 1980 «Industrial Structure and the Nature of Innovative Activity». En: *Economic Journal* 90, pp. 266-93.

DAVID, P. A.

- 2007 «Path Dependence: A Foundational Concept for Historical Social Science». En: *Cliometrica: Journal of Historical Economics and Econometric History* 1, pp. 91-114.
- 1994 «Why are Institutions the 'Carriers of History'? Path Dependence and the Evolution of Conventions, Organizations and Institutions». En: *Structural Change and Economic Dynamics* 5, pp. 205-20.
- 1992 *Path-Dependence in Economic Processes: Implications for Policy Analysis in Dynamical System Contexts*. Turin: Fondazione Rosselli.
- 1990 «The Dynamo and the Computer: A Historical Perspective on the Modern Productivity Paradox». En: *American Economic Review* 80, pp. 355-61.
- 1988 *Path-Dependence: Putting the Past into the Future of Economics*. Documento inédito. Department of Economics, Stanford University.
- 1985 «Clio and the Economics of QWERTY». En: *American Economic Review* 75, pp. 332-7.
- 1975 *Technical Choice Innovation and Economic Growth*. Cambridge: Cambridge University Press.

DAVID, P. A. y L. KEELY

- 2003 The Endogenous Formation of Scientific Research Coalitions. En: *Economics of Innovation and New Technology* 12, 93-116.

DAY, R. H.

- 1983 «The Emergence of Chaos from Classical Economic Growth». En: *Quarterly Journal of Economics* 98, pp. 201-13.

DOPFER, K. (ed.)

2005 *The Evolutionary Foundations of Economics*. Cambridge: Cambridge University Press.

DOSI, G.

1988 «Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation». En: *Journal of Economic Literature* 26, pp. 1120-27.

1982 «Technological Paradigms and Technological Trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technological Change». En: *Research Policy* 11, pp. 147-62.

DURLAUF, S. N.

2005 «Complexity and Empirical Economics». En: *Economic Journal* 115, pp. 225-43.

FELDMAN, M.

1999 «The New Economics of Innovation Spillovers and Agglomeration: A Review of Empirical Studies». En: *Economics of Innovation and New Technology* 8, pp. 5-26.

FELLNER, W.

1961 «Two Propositions in the Theory of Induced Innovation». En: *Economic Journal* 71, pp. 305-8.

FOSTER, J.

2005 «From Simplistic to Complex Systems in Economics». En: *Cambridge Journal of Economics* 29, pp. 873-92.

FREEMAN, C.

1994 «The Economics of Technical Change». En: *Cambridge Journal of Economics* 18, pp. 463-514.

1991 «Networks of Innovators: A Synthesis of Research Issues». En: *Research Policy* 20, pp. 499-514.

GOMPERS, P. A. y J. LERNER

2001 «The Venture Capital Revolution». En: *Journal of Economic Perspectives* 15, pp. 145-68.

GRILICHES, Z.

1992 «The Search for R&D Spillovers». En: *Scandinavian Journal of Economics* 94, pp. 29-47.

1957 «Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change». En: *Econometrica* 25, pp. 501-22.

HAYEK, F. A.

1945 «The Use of Knowledge in Society». En: *American Economic Review* 35, pp. 519-30.

HANEDA, S. y H. ODAGIRI

1998 «Appropriation of Returns from Technological Assets and the Values of Patents and R&D in Japanese High-Tech Firms». En: *Economics of Innovation and New Technology* 7, pp. 303-22.

- HENDERSON, R. M. y K. B. CLARK
 1990 «Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms». En: *Administrative Science Quarterly* 35, pp. 9-30.
- HICKS, J. R.
 1932 *The Theory of Wages*. Londres: Macmillan.
- JAFFE, A. B.
 1986 «Technological Opportunity and Spillover of R&D: Evidence from Firms' Patents, Profits and Market Value». En: *American Economic Review* 79, pp. 985-1001.
- KALDOR, N.
 1972 «The Irrelevance of Equilibrium Economics». En: *Economic Journal* 82, pp. 1237-55.
- KAMIEN, M. I. y N. L. SCHWARTZ
 1975 «Market Structure and Innovation». En: *Journal of Economic Literature* 13, pp. 1-37.
- KATZ, M. L. y C. SHAPIRO
 1986 «Technology Adoption in the Presence of Network Externalities». En: *Journal of Political Economy* 94, pp. 822-41.
- KLEPPER, S. y E. GRADDY
 1990 «The Evolution of New Industries and the Determinants of Market Structure». En: *Rand Journal of Economics* 21, pp. 27-44.
- KRUGMAN, P.
 1994 «Complex Landscapes in Economic Geography. En: *American Economic Review* 84, pp. 412-7.
- LANE, D. A. y R. MAXFIELD
 1997 «Foresight Complexity and Strategy». En: ARTHUR, W. B.; S. N. DURLAUF y D. A. LANE (eds.). *The Economy as an Evolving Complex System II*. Santa Fe: Westview Press, pp. 169-98.
- LINK, A. N. y J. T. SCOTT
 2002 «Explaining Observed Licensing Agreements». En: *Economics of Innovation and New Technology* 11, pp. 211-31.
- LOASBY, B. J.
 1998 «The Organization of Capabilities». En: *Journal of Economic Behaviour and Organization* 35, pp. 139-60.
- LUNDVALL, B.
 1988 «Innovation as an Interactive Process: From User-Producer Interaction to the National System of Innovation». En: DOSI, G. et al. (eds.). *Technical Change and Economic Theory*. Londres: Frances Pinter, pp. 349-69.

LYPSEY, R.; C. BEKAR y K. CARLAW

1998 «General Purpose Technologies: What Requires Explanation». En: HELPMAN, E. (ed.). *General Purpose Technologies and Economic Growth*. Cambridge: The MIT Press, pp. 15-54.

MALERBA, F.

1992 «Learning by Firms and Incremental Technical Change». En: *Economic Journal* 102, pp. 845-59.

MALERBA, F. y L. ORSENIGO

1995 «Schumpeterian Patterns of Innovation». En: *Cambridge Journal of Economics* 19, pp. 47-65.

MANSFIELD, E.; M. SCHWARTZ y S. WAGNER

1981 «Imitation Costs and Patents: An Empirical Study». En: *Economic Journal* 91, pp. 907-18.

MARCH, J. C.

1991 «Exploration and Exploitation in Organizing Learning». En: *Organization Science* 2, pp. 71-87.

MARSHALL, A.

1890 (1920) *Principles of Economics*. 8ª ed. Londres: Macmillan.

MARX, K.

1867 (1976) *Capital: A Critique of Political Economy*. Harmondsworth: Penguin Books.

1857-1858 *Grundrisse: Foundations of the Critique of Political Economy*. Harmondsworth: Penguin Books.

METCALFE, J. S.

1997 *Evolutionary Economics and Creative Destruction*. Londres: Routledge.

1981 «Impulse and Diffusion in the Study of Technical Change». En: *Futures* 13, pp. 347-59.

METCALFE, J. S.; J. FOSTER y R. RAMLOGAN

2006 «Adaptive Economic Growth». En: *Cambridge Journal of Economics* 30, pp. 7-32.

MOKYR, J.

1990 «Punctuated Equilibria and Technological Progress». En: *American Economic Review* P&P 80, 350-354.

MOHNEN, P.; J. MAIRESSE y M. DAGENAIS

2006 «Innovativity: A Comparison Across Seven European Countries». En: *Economics of Innovation and New Technology* 15, pp. 391-413.

MOWERY, D. y N. ROSENBERG

1979 «The Influence of Market Demand Upon Innovation: A Critical Review of some Recent Empirical Studies». En: *Research Policy* 8, pp. 102-50.

NELSON, R. R.

1982 «The Role of Knowledge in R&D Efficiency». En: *Quarterly Journal of Economics* 97, pp. 453-70.

1959 «The Simple Economics of Basic Scientific Research». En: *Journal of Political Economy* 67, pp. 297-306.

NELSON, R. R. y S. G. WINTER

1977 «In Search of a Useful Theory of Innovation». En: *Research Policy* 6, pp. 36-76

1975 «Growth Theory from an Evolutionary Perspective. The Differential Productivity Puzzle». En: *American Economic Review* 65, pp. 338-44.

NORTH, D. C.

1997 «Some Fundamental Puzzles in Economic History». En: ARTHUR, W. B.; S. N. DURLAUF y D. LANE (eds.). *The Economy as an Evolving Complex System II*. Santa Fe: Westview Press, pp. 223-38.

PAKES, A. y Z. GRILICHES

1980 «Patents and R&D at the Firm Level». En: *Economic Letters* 5, pp. 377-81.

PATEL, P. y K. PAVITT, K.

1994 «National Innovation Systems: Why They are Important and How They Might Be Measured and Compared». En: *Economics of Innovation and New Technology* 3, pp. 77-95.

PATRUCCO, P. P.

2005 «The Emergence of Technology Systems: Knowledge Production and Distribution in the Case of the Emilian Plastics District». En: *Cambridge Journal of Economics* 29, pp. 37-56.

PAVITT, K.

1984 «Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory». En: *Research Policy* 13, pp. 343-73.

PENROSE, E.

1959 *The Theory of the Growth of the Firm*. Oxford: Oxford University Press.

POLANYI, M.

1969 «Knowing and Being». En: GREENE, M. (ed.). *Knowing and Being: Essays*. Londres: Routledge and Kegan Paul, pp. 123-207.

ROMER, P. M.

1994 «The Origins of Endogenous Growth». En: *Journal of Economic Perspectives* 8, pp. 3-22.

ROSENBERG, N.

1994 *Exploring the Black Box*. Cambridge: Cambridge University Press: Cambridge, pp. 47-61.

1976 «Marx as a Student of Technology». En: *Monthly Review* 28, pp. 56-77.

1974 «Karl Marx and the Economic Role of Science». En: *Journal of Political Economy* 82, pp. 713-28.

1969 «The Direction of Technological Change: Inducement Mechanisms and Focusing Devices». En: *Economic Development and Cultural Change* 18, pp. 1-24.

1965 «Adam Smith on the Division of Labour: Two Views or One». En: *Economica* 34, pp. 127-39.

1963 «Technological Change in the Machine Tool Industry, 1840-1910». En: *Journal of Economic History* 23, pp. 414-43.

ROSSER, J. B.

1999 «On the Complexities of Complex Economic Dynamics». En: *Journal of Economic Perspectives* 13, pp. 169-92.

SCHERER, F. M.

1970 *Industrial Market Structure and Economic Performance*. Chicago: Rand McNally & Co.

1967 «Research and Development Resource Allocation under Rivalry». En: *Quarterly Journal of Economics* 81, pp. 385-9.

SCHMOOKLER, J.

1954 «The Level of Inventive Activity». En: *Review of Economics and Statistics* 36, pp. 183-90.

SCHUMPETER, J. A.

1947 «The Creative Response in Economic History». En: *Journal of Economic History* 7, pp. 149-59.

1942 *Capitalism, Socialism and Democracy*. Nueva York: Harper and Brothers.

1939 *Business Cycles*. Nueva York: McGraw-Hill.

1928 «The Instability of Capitalism». En: *Economic Journal* 38, pp. 361-86.

1911 *The Theory of Economic Development*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

SILVERBERG, G.; G. DOSI y L. ORSENIGO

1988 «Innovation Diversity and Diffusion: A Self Organizing Model». En: *Economic Journal* 98, pp. 1032-54.

SIMON, H. A.

1979 «Rational Decision Making in Business Organizations». En: *American Economic Review* 69, pp. 493-512.

SMITH, A.

1776 (1976) *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. Londres.

SOETE, L. L. y R. TURNER

1984 «Technology Diffusion and the Rate of Technical Change». En: *Economic Journal* 94, pp. 612-23.

SOLOW, R. M.

1957 «Technical Change and the Aggregate Production Function». En: *Review of Economics and Statistics* 39, pp. 312-20.

STIGLITZ, J. E.

- 1987 «Learning to Learn Localized Learning and Technological Progress». En: DASGUPTA, P. *et al.* (eds). *Economic Policy and Technological Performance*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 125-44.

STONEMAN, P. y N. IRELAND

- 1983 «The Role of Supply Factors in the Diffusion of New Process Technology». En: *Economic Journal* 93, pp. 65-77.

TEECE, D. J.

- 1986 «Profiting from Technological Innovation: Implications for Integration Collaboration Licensing and Public Policy». En: *Research Policy* 15, pp. 285-305.

TRAJTENBERG, M.; R. HENDERSON y A. JAFFE

- 1995 «University versus Corporate Patents: A Window on the Basicness of Invention». En: *Economics of Innovation and New Technology* 5, pp. 19-50.

UTTERBACK, W. J. y J. M. ABERNATHY

- 1975 «A Dynamic Model of Product and Process Innovation». En: *Omega* 3, pp. 639-56.

VON HIPPEL, E.

- 1998 «Economies of Product Development by Users: The Impact of 'Sticky' Local Information». En: *Management Science* 44, pp. 629-44.
- 1976 «The Dominant Role of Users in the Scientific Instrument Innovation Process». En: *Research Policy* 5, pp. 212-39.

YOUNG, A. A.

- 1928 «Increasing Returns and Economic Progress». En: *Economic Journal* 38, pp. 527-42.