

Sistema Nacional de Innovación y Complejidad: una evaluación crítica

René Caballero Hernández*

Introducción

El presente trabajo versa sobre el Sistema Nacional de Innovación (SNI). Una revisión de este concepto es significativa en sí misma dado su “éxito de taquilla”, es decir –haciendo una analogía con una película–, por su extendida exposición en múltiples salas del mundo. Efectivamente, desde su nacimiento (década de los ochenta) hasta hoy en día han pasado apenas cinco lustros, pero en ese corto tiempo casi no hay organismo internacional ni gobierno de país en el mundo que no haga referencia al SNI en sus planes de política sobre ciencia, tecnología e innovación. Si se teclea en el buscador de Google la versión moderna del *abracadabra*, es decir, *Nacional Systems of Innovation*, la nueva Lámpara de Aladino arroja una enorme cantidad de referencias al concepto que nos ocupa.¹

Sin embargo, hay otras razones –menos edificantes y más controvertidas– que justifican una revisión del concepto SNI, y éstas son en particular las que llevaron a quien escribe a elaborar este artículo. Siguiendo con la analogía del párrafo anterior, las películas tienen otra faceta más allá de su “éxito de taquilla”: la crítica a su manufactura. Los críticos de cine son unos aguafiestas, porque su trabajo es encontrarle los defectos (o virtudes) de diseño a una película, es decir, no se conforman con lo aparential ni con la moda, sino que se empeñan en profundizar en las actuaciones, la lógica del argumento, lo novedoso de la propuesta, etcétera. Con el SNI ocurrió lo mismo, luego de una etapa de asentamiento y de sus “15 minutos de fama” (Warhol *dixit*), por ahí de fines de los noventa la literatura especializada empezó a valorar las bondades teóricas del concepto SNI, hurgó en sus costuras, y encontró tremendos zurcidos, piezas que no embonaban, y piezas faltantes y, desde luego, puso el grito en el cielo.

Los creadores de la obra (el SNI), desde luego, no iban a dejar que deshicieran su película sin defenderse. Algunos (regularmente los que “retomaron” el concepto y, como es conocido, resultan ser “más papistas que el Papa”)

* El autor es Profesor-Investigador de la UNISTMO, campus Ixtotec, Oaxaca.

¹ La última búsqueda que hizo el autor en arrojó 346 millones de referencias en Google, 346 mil referencias totales en Google Scholar, y 15 600 referencias recientes en Google Scholar.

simplemente tacharon a la crítica de exagerada y propusieron no hacerle caso: total, mientras el concepto SNI siguiera siendo de consumo masivo, eso demostraba que la crítica estaba equivocada. Otros, más cautos, argumentaron que el concepto SNI tenía la bondad de que servía para organizar la investigación y que, desde luego, seguía estando de moda; por tanto, no podía desecharse así como así. Los más auto-críticos (regularmente quienes bordaron el concepto desde sus orígenes), aceptaron la crítica y propusieron que, sin desechar el concepto, se fortalecieran los puntos débiles profundizando teóricamente dentro de las tradiciones neo-schumpeteriana y de la economía evolutiva (de aquí en adelante TNSyEE).

Como sea, hoy en día el hecho es que existe un debate académico en torno a la fortaleza teórica del concepto SNI. Este debate, desde luego, no se relaciona con el éxito “de taquilla” del concepto, sino con su “ambigüedad conceptual” (Edquist *dixit*). Una vertiente de esta controversia gira en torno al origen del concepto y se extiende hacia la pregunta de ¿por qué el SNI resultó ser tan exitoso “en la taquilla” si era una película de dudosa calidad? Sharif (2006) respondió esta pregunta planteando la hipótesis de que parte de la explicación se encuentra en que los proponentes del concepto tenían, como Jekyll and Hyde, una doble faceta: eran a la vez académicos y funcionarios de organismos internacionales. Por tanto, en un evidente conflicto de intereses (impune, desde luego), impulsaron por el lado de la academia un defectuoso, o para no ser tan poco político, un “incompleto” concepto SNI; y, en su faceta de *policy makers*, retomaron, embellecieron y ofrecieron el concepto SNI como una herramienta para solucionar problemas urgentes.

Otra arista de la polémica son los esfuerzos dentro de las TNSyEE por fortalecer las partes más débiles del concepto SNI. Este esfuerzo comenzó con la valoración que hizo Edquist del “enfoque del sistema de innovación” a fines de los noventa (ver Edquist, 1997), y continuó con: *a*) la identificación y establecimiento de los “patrones funcionales que sostienen la dinámica del SNI” (ver Johnson y Jacobsson, 2003; Rickne 2000), *b*) La definición de las “actividades fundamentales de un SNI” (ver Liu y White, 2001 y Edquist, 2004), *c*) La configuración de las relaciones e interacciones fundamentales del SNI (para una discusión de las relaciones entre instituciones y organizaciones, ver Coriat y Weinstein, 2002), y *d*) La discusión acerca de la modalidad especial de los límites en un SNI (ver Zeleny, 1996; Edquist, 2004; Johnson y Lundvall, 2003; Johnson, Edquist y Lundvall, 2003; Cilliers, 2000; y Midgley, *et al.* 1998).

Una tercera faceta del debate, relativamente poco explorada –basada en la propuesta de progreso científico de Kitcher (1993: capítulo 4), la cual gira

en torno a las nociones de *progreso conceptual* y *progreso explicativo* que experimentan todos los campos de la ciencia-, sugiere que para fortalecer el concepto SNI es necesario confrontar la teoría elaborada dentro de las TNSYEE con otras teorías, para que de dicho *diálogo* surja una nueva y mejor explicación a partir de la eliminación de las nociones ya superadas, la incorporación de conceptos más pertinentes, y la derivación de explicaciones hoy en día inexistentes.

El presente artículo plantea cómo aparece la revaloración teórica del concepto SNI, pero se centra en los esfuerzos que las TNSYEE ha hecho para fortalecer teóricamente el concepto SNI. Al final se apunta que estos esfuerzos han sido poco fructíferos, y que es necesario retomar la propuesta de Kitcher, es decir, hacer dialogar teóricamente a los enfoques que lanzaron el concepto SNI (TNSYEE) con otras teorías para lograr un fortalecimiento teórico del concepto SNI, y se sugiere que un diálogo teórico prometedor podría darse con la teoría de los sistemas complejos adaptables de Holland, y se explica por qué.

Origen del concepto sistema nacional de innovación

Después de la Segunda Guerra Mundial las medidas de política acerca de la innovación se basaban en un enfoque lineal –cimentado en el “empuje de la tecnología” (generación de más conocimiento) o en el “arrastre de la demanda” (crecimiento de la demanda de innovaciones). Para los años sesenta, sin embargo, ese enfoque empezó a mostrar su inconsistencia al ser incapaz de explicar, por una parte, las brechas económicas y tecnológicas de los países desarrollados, y por otra, el exitoso *catching-up* (actualización) de Japón.

Por tanto, se puede establecer que una de las razones que explican la aparición, a fines de los ochenta, del concepto SNI es la insatisfacción dentro de la economía con los enfoques de innovación lineales. Esto no implica, sin embargo, que su aparición date de ese entonces. De hecho, en la literatura sobre el tema (ver Freeman, 1995; Edquist, 1997; y Dosi, 1999) parece haber un consenso acerca de que, tanto el primer intento sistemático, como las ideas básicas que sostienen al concepto SNI se remontan a Friedrich List, quien en su libro *The National System of Political Economy* (originalmente publicado en 1841, una traducción reciente fue editada en México por el FCE en 1997) presenta a su enfoque de “sistema nacional de producción” –al cual define como un amplio conjunto de instituciones, que van desde las que se ocupan de la educación y la capacitación hasta las que tienen que ver con la infraestructura: redes de transporte de personas y mercancías– como la base de la estra-

tegia de actualización (*catching up*) alemana, oponiéndolo al que se centraba en el intercambio y la asignación de recursos (Walras).² En cualquier caso, puede concluirse que la fuente, el antecedente remoto, del término SNI es el concepto “sistema nacional de producción” de List, y que su autoría intelectual moderna, tanto en su forma publicada como en su forma no publicada, debe atribuírsele a Freeman.

Difusión del concepto SNI y aparición del enfoque de los sistemas de innovación

Desde que Lundvall (1992) y Nelson (1993) retomaron el concepto propuesto por Freeman y lo aplicaron a casos específicos, éste rápidamente ha ido ganando espacios en todos los ámbitos, a tal grado que en la actualidad es prácticamente un lugar común citarlo o “retomar” en casi cualquier programa de ciencia y tecnología, sea a nivel local, nacional, regional o de los organismos internacionales. Esta difusión acelerada torna complicado su análisis, porque casi invariablemente las valoraciones tienden a mezclar su popularidad y aceptación a nivel pragmático con su eficacia como herramienta teórica. Para sortear esta confusión, aquí distinguiremos entre su trayectoria como “instrumento” de política económica y su evolución como teoría explicativa de la realidad.

Como instrumento de política económica el concepto SNI evidentemente ha sido exitoso y goza hoy en día de gran aceptación. La mayoría de los go-

² En donde no hay acuerdo, sino polémica, es en cuanto a la autoría intelectual contemporánea de este concepto. En Freeman (1995: 5), por ejemplo, se asegura que la primera persona que usó en un contexto moderno la expresión “Sistema Nacional de Innovación” fue Lundvall en un artículo titulado “Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to de nacional system of innovation”, incluido en el libro *Technical Change and Economic Theory* (Dosi *et al.*, 1988: 349-369). Ahí se apunta, además, que para dotar de significado al término SNI otros autores lo utilizaron en sus artículos y conformaron la parte V del libro. También hay quienes sostienen que el primer pensador contemporáneo que publicó tal expresión fue el propio Freeman, en su libro *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan* de 1987, al analizar los patrones de aprendizaje tecnológico japoneses mediante el estudio del desempeño de su política tecnológica y económica. Recientemente, Johnson y Lundvall (2003) dejan zanjada la discusión aportando un dato hasta ahora desconocido: Freeman utilizó el concepto SNI en 1982, en un artículo titulado “*Technological Infrastructure and Internacional Competitiveness*”, que escribió para la OECD y recientemente fue publicado en la revista *Industrial and Corporate Change* (ver Freeman, 2004).

biernos (si no es que todos) lo toman como punto de referencia para diseñar sus programas de ciencia y tecnología. Los organismos internacionales le han dedicado por años una atención especial en sus publicaciones. La OECD, por ejemplo, desde 1997 dedica cuando menos uno de sus informes anuales al SNI. Dentro de esas publicaciones pueden distinguirse incluso fases: en la primera fase (ver OECD 1997 y 1998) el esfuerzo se concentró, por un lado, en desarrollar indicadores cuantitativos y estudios de caso, y por el otro, en formar grupos de trabajo que abordaron temas tales como empresas innovadoras, redes de empresas innovadoras, *clusters*, movilidad de los recursos humanos y economías que llevan a cabo *catching-up*. En la segunda fase (ver OECD 1999b, 2001a, 2001b) se profundizó en el estudio de temas tales como *clusters* innovadores, cooperación en los SNI y movilidad de la mano de obra calificada dentro de los SNIS. Síntesis de esas fases fueron presentadas en OECD (1999a) y en OECD (2002), respectivamente. Incluso un país europeo cuenta con una agencia que se encarga específicamente de todo lo relacionado con los sistemas de innovación: *Swedish Agency for Innovation Systems* (VINNOVA).

Desde el punto de vista teórico, el concepto SNI también ha merecido gran atención desde que Freeman lo propuso como herramienta para explicar las brechas tecnológicas que existen entre los países. Además de los textos de Nelson y Lundvall (citados anteriormente), se deben mencionar cuando menos los trabajos de Dosi *et al.* (1988), donde se incluyen varios artículos sobre el tema a la luz del trabajo original de Freeman; de Amable *et al.* (2000), donde se revisa el SNI tomando como marco la globalización; de Muchie y Lundvall (2003) y de Cimoli (2000), donde se aplica el concepto SNI a países en vías de desarrollo; y sobre todo Edquist (1997, 2000), donde se realiza un gran esfuerzo por recopilar los principales trabajos sobre el SNI escritos en los 1990s y los artículos clásicos escritos sobre el tema (el trabajo original de List, etc.), así como por valorarlos y clasificarlos.

El trabajo de Edquist es importante además, porque contiene una de las primeras valoraciones críticas del concepto SNI. Su propuesta es, por un lado, que los trabajos compilados por los libros citados –y por artículos que quedaron fuera de esas compilaciones– conforman un “enfoque de los sistemas de innovación” y tienen características comunes; y por otro, que el enfoque de los sistemas de innovación también tiene varias debilidades (ver Edquist: 1997a).

Antes de pasar a revisar los rasgos y las debilidades del “enfoque de los sistemas de innovación”, es pertinente hacer algunas acotaciones: primero,

que el enfoque genérico “sistemas de innovación” asume cuando menos tres variantes: nacional, sectorial y regional; segundo, que la discusión que revisaremos se refiere a este enfoque “genérico”; y tercero, que lo que se afirmará es válido para el SNI ya que partimos de dos premisas: *a)* de que, antes que excluirse, las distintas variantes se complementan entre sí, y *b)* de que los sistemas sectoriales y regionales están en relación con, y frecuentemente son parte del, SNI. Ahora bien, los sistemas de innovación de todos los países se encuentran interconectados, toda vez que los límites de este tipo de sistemas no son físicos sino virtuales (más adelante abundamos en este aspecto). Por tanto, podemos decir que todos los SNI forman parte de un sistema de innovación que funciona globalmente. Sin embargo, en este artículo nuestro nivel de análisis se centra en los SNI.

Rasgos del enfoque del sistemas nacionales de innovación

Desde nuestro punto de vista, tres supuestos subyacen en todas las definiciones del SNI. Primero, hay una relación co-evolutiva “mutualista” entre lo que un país hace y lo que las empresas de ese país saben hacer bien, es decir, que ambas poblaciones se benefician mutuamente al actuar como lo hacen. Por consiguiente, tanto la estructura de la producción como la estructura de conocimiento cambian lentamente, y este cambio depende del aprendizaje y del cambio estructural. Segundo, la divergencia entre países se explica en cierta medida por el conocimiento tácito, es decir, por el conocimiento que no es fácil de mover del lugar en el que se encuentra: las mentes y las rutinas.³ Tercero, el dueto instituciones-interacción es el elemento clave del SNI⁴ Por ser un enfoque “interaccionista”, el SNI concibe a la innovación, antes que como un acto individual de personas, empresas o instituciones, como un proceso social basado en instituciones, que pueden desplegarse en relaciones (canales del conocimiento) e interacciones (procesos para producir y aprender nuevo conocimiento). De hecho, este énfasis en la interacción y la cooperación llevó a formular al SNI como un sistema.

En cuanto a las características propias del enfoque, compartidas por las distintas definiciones que existen de SNI, pueden aglutinarse de la siguiente manera.

³ Siguiendo a Dosi (1999) se definen “rutinas” como los procedimientos más o menos estandarizados que aplican los agentes económicos y las organizaciones cuando actúan individualmente o cuando interactúan entre ellos.

⁴ En la medida en que se define a las “instituciones” como las normas y reglas, formales e informales, que regulan la interacción de las personas.

1. Adopta una perspectiva “holística” en tres sentidos: *a)* intenta abarcar todos, o la mayoría, de los determinantes de la innovación, *b)* incluye factores económicos, organizacionales, sociales y políticos, y *c)* abarca todo tipo de innovaciones: de producto y proceso, radicales e incrementales, tecnológicas y organizacionales, institucionales y de servicios.
2. Acepta la interdisciplinariedad, en el sentido de que incorporan perspectivas tomadas de diferentes disciplinas de las ciencias sociales.
3. Emplea las visiones histórica y evolutiva. La primera, cuando sostiene que la innovación se desarrolla en el tiempo, se ve afectada por muchos factores y retroalimentaciones, y frecuentemente es sendero-dependiente. Esto lo lleva a proponer que el SNI puede ser explicado en términos de co-evolución dinámica entre conocimiento, innovaciones, organizaciones e instituciones. La segunda, cuando acepta que a pesar de que no puede especificarse un SNI “óptimo” (debido a que los procesos de aprendizaje evolutivo son de naturaleza abierta y sendero dependiente) sí pueden llevarse a cabo comparaciones entre distintos SNI.
4. Al aceptar el papel central de las instituciones, enfatiza la interdependencia y la no linealidad, es decir, las relaciones complejas entre agentes basadas en mecanismos de reciprocidad y retroalimentación en un contexto caracterizado por la existencia de leyes, reglas, regulaciones, normas y hábitos culturales.
5. Establece una relación positiva entre cambio tecnológico y crecimiento económico. Para establecer esta conexión causal, colocan a la innovación (entendida como resultado de la mezcla de varios tipos de conocimiento) y al aprendizaje (entendido como el proceso que da lugar a la obtención de conocimiento) en el centro del análisis.⁵

Alcances del enfoque de sistema nacional de innovación

A pesar de su extendida aceptación, no puede decirse que las distintas aportaciones al concepto SNI hayan constituido una teoría completamente coherente. De hecho este concepto también adolece de problemas y debilidades.

⁵ Recientemente Lundvall (2002) resumió este hecho en los siguientes términos: la competitividad internacional de los países se finca en la capacidad que tengan sus empresas para responder a la acelerada tasa de cambio tecnológico que caracteriza prácticamente a todas las industrias. Saviotti y Nooteboom (2000), por su parte, expresan esta situación de la siguiente manera: para ser competitivo internacionalmente, el activo más significativo con que se cuenta es el conocimiento, y el proceso más importante es el aprendizaje.

Edquist (1997a) y Miettinen (2002), por ejemplo, critican a este enfoque por su “ambigüedad conceptual”, debido a que cada autor otorga significados distintos a los mismos conceptos, a su escasa “falsación” (Popper *dixit*) en países en vías de desarrollo, a que adopta una definición restrictiva de innovación, y a que no define claramente los límites en los que actúa.

Ante esta situación, se considera conveniente revisar las críticas y evaluar qué tan bien parado queda el enfoque después de éstas. Empezamos enumerando las debilidades que, a nuestro juicio, tiene el enfoque de SNI (para ello retomamos las vertidas en el párrafo anterior y agregamos algunas otras):

1. El SNI no constituye una teoría (en el sentido de que no hace proposiciones acerca de relaciones estables entre variables cuantitativas bien definidas), sino un enfoque, un marco conceptual, “una red muy amplia” que intenta captar el proceso de innovación, sus determinantes y algunas de sus consecuencias en el crecimiento económico.
2. En el enfoque de SNI persiste cierta confusión en cuanto a los conceptos centrales.⁶
3. No existe un acuerdo entre los distintos autores en cuanto a lo que constituye un SNI (qué incluye y qué no incluye).
4. No se identifican claramente los niveles y jerarquía involucrados en el SNI.
5. No se identifican las funciones y actividades del SNI.
6. No se especifican los límites del SNI.
7. El SNI se ha utilizado principalmente como un concepto *ex-post*, y no como una herramienta teórica *ex-ante*, es decir, se ha tendido a explicar la disminución de la brecha tecnológica y económica entre países por la existencia o no de un SNI, pero no se ha revisado cómo llegó a configurarse el SNI ni se profundiza en los mecanismos que hicieron posible tal configuración o en aquellos que permitieron que el SNI se conectara positivamente con el desempeño económico.
8. El enfoque ha tendido a comparar principalmente SNIS relativamente fuertes y diversificados, con apoyo institucional e infraestructura bien desarrollada, pero no ha habido “falsación” de la teoría, en el sentido popperiano, en países en vías de desarrollo.⁷

⁶ Por ejemplo, el término “institución” algunas veces se define como un conjunto de normas sociales (confianza, etcétera), y otras, como un grupo de organizaciones (universidades, etcétera).

⁷ Cabe acotar, sin embargo, que recientemente se han llevado a cabo esfuerzos importantes por aplicar el enfoque del SNI a países en vías de desarrollo (ver, sobre todo, Cimoli, 2000 y Muchie y Lundvall, 2003).

9. Por enfatizar la co-evolución, la sendero-dependencia y la impredecibilidad, el enfoque del SNI no ha puesto suficiente énfasis en el importante papel que juega la política de innovación como complemento al desarrollo “espontáneo” de un SNI. Esto resulta sorprendente porque ha sido un aspecto remarcado desde la propuesta pionera de List.
10. Conectada con la novena debilidad, el enfoque del SNI, por centrarse en el aprendizaje interactivo –motor que hace que los agentes se comuniquen y cooperen para crear y utilizar conocimiento económicamente útil– ha puesto poco interés en los aspectos de poder involucrados en el proceso de desarrollo.⁸

Ante las críticas al enfoque de SNI, se han adoptado varias actitudes y estrategias. Una de ellas, la más radical, es desecharlo porque, como afirma Mjrset (2002), las ciencias sociales nunca llegarán a ser una “Teoría General formalizada”. Otra es considerar que esas desventajas pueden llegar a ser una fortaleza, en la medida de que, al ser un enfoque apreciativo tan flexible y amplio, el enfoque de SNI puede servir como un marco conceptual para organizar el conocimiento. Una tercera actitud es aceptar que el enfoque de SNI necesita precisar su terminología y definición, es decir, implica reconocer que se requiere de un mayor esfuerzo para hacerlo transitar de simple “enfoque” a verdadera “teoría” (teoría formal).

Lundvall ha propuesto una cuarta alternativa, que retoma las últimas dos estrategias:

El concepto [de SNI] es tan amplio que, aunque puede traducirse en manuales para realizar estudios concretos de SNIS, en su forma presente no es fácilmente integrable en un discurso teórico. El carácter flexible y pragmático del concepto [de SNI] puede ser visto como una gran ventaja, ya que lo convierte en una herramienta útil para propósitos prácticos. Al mismo tiempo... *deben llevarse a cabo esfuerzos por dotar al concepto [de SNI] de una fundamentación teórica más fuerte mediante trabajo adicional dentro de la tradición económica neo-schumpeteriana y evolutiva*, para darle al concepto de SNI un *status* de mejor herramienta para el análisis económico teórico” (Lundvall 2002a: 221). (Las cursivas indican un énfasis puesto por nosotros).

⁸ Si bien el aprendizaje y la innovación *potencialmente* son “juegos ganar-ganar” (de suma positiva), en un contexto global –donde el acceso al conocimiento técnico es cada vez más restrictivo, por la débil “capacidad de absorción” y por los regímenes de protección intelectual cada vez más estrictos– la posibilidad de que estos juegos se materialicen para los países menos desarrollados es cada vez más lejana, debido a razones políticas relacionadas con las relaciones de poder. (ver Amable *et al.*, 2000, y Cimoli y Correa, 2003).

Esfuerzos por fortalecer el enfoque de sni desde las perspectivas evolutiva y neo-schumpeteriana

Como se sugirió en la introducción, la propuesta de Lundvall ha encontrado eco dentro de las TNSyEE, dando lugar a una serie de trabajos que intentan superar algunas de las debilidades teóricas del concepto SNI. Una primera valoración de estos esfuerzos indica que ellos se pueden agrupar en los que tratan de identificar y establecer más claramente los “patrones funcionales que sostienen la dinámica del SNI”; los que buscan definir mejor las actividades fundamentales de un SNI; los que intentan configurar claramente las relaciones e interacciones fundamentales del SNI; y los que tratan el tema de la naturaleza de los límites del SNI. A continuación exponemos de manera resumida en qué consiste cada uno de estos intentos.

Las funciones y actividades del SNI

Una debilidad del concepto SNI es que carece de factores que expliquen al sistema en su conjunto. Para solucionar este problema, algunos autores han sugerido que se debe identificar el “patrón funcional” del SNI. Johnson y Jacobsson (2003: 2), por ejemplo, sostienen que la dinámica del SNI depende de la efectividad con que se realicen cinco funciones: crear conocimiento, guiar la dirección del proceso de búsqueda, proveer recursos, crear economías externas positivas, y facilitar la formación de mercados. En el mismo sentido, aunque enfocándose más en el nivel organizacional, Rickne (citado por Edquist, 2004: 9) enumera 11 funciones importantes para el buen funcionamiento del SNI: crear capital humano, crear y difundir oportunidades tecnológicas, crear y difundir productos, la incubación (apoyar en la administración y con equipo y materiales), facilitar la regulación para acceder al mercado y para incrementarlo, legitimar tecnología y empresas, crear mercados y difundir el conocimiento en el mercado, fortalecer los vínculos; dirigir la investigación de socios, mercado y tecnología; facilitar el financiamiento, y crear un mercado laboral útil para las empresas basadas en la tecnología.

También hay quien ha propuesto que debe ponerse un mayor énfasis en las “*actividades dirigidas a crear, difundir y explotar la innovación tecnológica dentro de un sistema*”. (Liu y White, 2001), por ejemplo, enumeran las “cinco actividades fundamentales” del SNI: I&D, implementación, uso final, educación, y vinculación.

Nuestra sugerencia es que una mejor manera de superar esta debilidad es identificando los “determinantes”, es decir, los factores que explican el

funcionamiento de las organizaciones y subsistemas que conforman el SNI. Esto se puede lograr definiendo las actividades que realiza cada componente y la función que desempeña cada actividad en lo que podría denominarse la “función general” del SNI.

El punto de partida ineludible para enfrentar este reto es definir la “función general” del SNI. Los principales exponentes del concepto SNI (Freeman, Lundvall y Edquist) parecen coincidir en que su “función general” (qué busca, qué pretende, a qué se dedica) es “desarrollar, difundir y utilizar innovaciones”.⁹ El siguiente paso es identificar claramente las actividades que realizan los componentes del SNI. Y por último, se debe definir (suponer) que dichas actividades son los “determinantes” del SNI, ya que ellas son las que le permiten al sistema en su conjunto cumplir con su “función general”.

Edquist (2004) ha propuesto una “lista hipotética de actividades” que realiza el SNI: 1) crear nuevo conocimiento a través de la I&D, 2) construir habilidades en la mano de obra que se empleará en actividades de I&D, 3) crear nuevos mercados de productos, 4) articular la calidad requerida de, con la ofrecida por, los nuevos productos; 5) crear o modificar organizaciones dedicadas a los nuevos campos de innovación mediante el fortalecimiento del espíritu empresarial que diversifique las empresas existentes y la creación de nuevas agencias políticas, organizaciones de investigación, etcétera; 6) fortalecer la formación de redes (esto implica integrar nuevos elementos de conocimiento desarrollados en distintas esferas dentro del SNI y elementos provenientes de afuera del sistema con elementos de conocimiento ya disponibles en las empresas innovadoras), 7) crear y modificar instituciones que influyan en las organizaciones innovadoras y en el proceso de innovación mediante el otorgamiento de incentivos o el levantamiento de obstáculos a la innovación, 8) actividades de incubación: protección y apoyo a “empresas innovadoras infantes”, 9) financiamiento del proceso de innovación y de actividades que faciliten la comercialización de conocimiento y su adopción, y 10) otorgamiento de servicios de consultoría relevantes para el proceso de innovación (transferencia de tecnología, información comercial, apoyo legal).

En suma, la literatura citada sugiere que para fortalecer el concepto SNI deberán identificarse y definirse claramente las funciones y actividades que se realizan en dicho sistema. Particularmente, se sugiere: 1) perfeccionar la lista de actividades propuesta por Edquist, cuidando que no quede excluida ninguna actividad fundamental del SNI, 2) cotejar esta lista con los compo-

⁹ Aquí es conveniente recordar que hemos asumido una definición “amplia de innovación”, que va más allá de las innovaciones radicales (algo nuevo a nivel universal) e incluye las innovaciones de producto y proceso, radicales e incrementales, tecnológicas y organizacionales, institucionales y de servicios.

nentes del SNI y determinar qué actividad o actividades realizan cada uno de ellos y a qué nivel, y 3) establecer la función de cada componente en la “función general” del sistema a partir de la actividad que realiza.

Las relaciones e interacciones dentro del SNI

Hasta aquí se ha planteado la necesidad de identificar y definir los componentes del SNI, así como las actividades y funciones que llevan a cabo. De realizarse con éxito estos objetivos, lo que se obtendría en el mejor de los casos sería una visión estática del SNI. Ahora bien, como los fenómenos sociales y económicos son dinámicos y complejos, la definición del SNI requiere tomar en cuenta también las relaciones¹⁰ e interacciones¹¹ que se establecen entre sus componentes y la forma en que se ven afectadas por el marco institucional. Dentro de las TNSyEE este problema se ha abordado de la siguiente manera.

Relaciones e interacciones entre componentes del SNI

Si se acepta que el SNI está formado de organizaciones o meta-agentes o agentes compuestos (constituidos a su vez por agentes individuales) y de meta-meta-agentes o subsistemas de innovación (conformados por múltiples organizaciones aglutinadas local, sectorial o regionalmente), parece pertinente, por una parte, separar las relaciones e interacciones de un SNI en tres tipos: 1) las que se realizan entre componentes al interior de las organizaciones, 2) las que se verifican entre meta-agentes, y 3) las que se llevan a cabo entre subsistemas.

Edquist (2004) apunta, por una parte, que cada componente (meta-agente o subsistema) del SNI puede desempeñar más de una función, es decir, llevar a cabo actividades de distinto tipo; y por otra, que una función puede ser desempeñada por más de una organización o subsistema. Simon (1962) y Hayek (1967), por su parte, dicen que las interacciones al interior de los organismos y subsistemas son más fuertes que las que se lleva a cabo entre ellos.¹²

La OECD (2002) establece que la interacción entre los componentes de un sistema puede asumir tres formas: 1) la forma competitiva, donde la interacción entre agentes puede incentivar o bloquear la innovación, 2) la transacción, o sea, una simple interacción de mercado donde se intercambia co-

¹⁰ Las relaciones que se desarrollan en el SNI asumen la forma de canales por donde pasa el conocimiento.

¹¹ Las interacciones, por su parte, son los procesos por medio de los cuales se produce, aprende y difunde nuevo conocimiento

¹² Esto nos indica que el SNI es, más que una jerarquía, un sistema complejo porque entre sus distintos niveles seguramente habrá interacciones que se dan de manera caótica y desordenada y, sin embargo, eso no impide que el SNI en su conjunto adquiera cierto “orden” gracias a un proceso de auto-organización.

nocimiento a cambio de un pago, y 3) la formación de redes (*networking*), donde la interacción involucra la transferencia de conocimiento mediante la colaboración, la cooperación y los arreglos de largo plazo.

El enfoque del SNI sugiere que la interacción entre sus componentes es básicamente de colaboración. De hecho, la noción de aprendizaje interactivo (en la que se basa el concepto de SNI de Lundvall) sugiere que las relaciones productor-usuario son cruciales para la innovación. Sin embargo, esta sugerencia teórica no se ha asentado del todo porque persisten las dudas acerca de cuáles son los componentes cruciales de un SNI. Los defensores de la visión estrecha de SNI afirman que el componente clave es el SNI y sugieren que las relaciones fundamentales son las que giran en torno a este componente. Los partidarios de una visión amplia del SNI, sugieren que hay que explorar las relaciones que se establecen entre un mayor número de componentes, pero no especifican cuáles.

En suma, aunque se identifica a las relaciones entre componentes como un elemento clave del SNI no se han logrado establecer los tipos de relaciones e interacciones que se llevan a cabo entre los componentes del SNI, ni su naturaleza.

Relaciones e interacciones entre componentes e instituciones del SNI

En este campo es donde las TNSYEE menos han avanzado, porque se han topado con una serie de problemas que les han impedido identificar el tipo de relaciones que se establecen entre los componentes e instituciones.¹³

Por tanto, la identificación y explicación de las relaciones que se establecen entre los componentes de un SNI y las instituciones es una tarea inconclusa que impide avanzar en el fortalecimiento del enfoque del SNI.

Recientemente, Coriat y Weinstein (2002) realizaron un primer intento para abordar ese problema. En ese trabajo ellos discuten distintos niveles de instituciones y plantean la hipótesis de que existe una jerarquía entre las propias reglas. Sería deseable que investigación futura estableciera las implicaciones que tiene esta hipótesis en la relación que se establece entre los componentes del SNI y las instituciones.

¹³ Edquist y Johnson (1997) y Edquist (2004) identifican las siguientes limitantes. Primero, el comportamiento de las organizaciones está influenciado y determinado por el marco institucional. Segundo, el marco institucional también depende del desarrollo de las organizaciones. Tercero, algunas organizaciones crean instituciones para influir en otras organizaciones. Cuarto, las instituciones pueden ser también la base para la creación de organizaciones. Y quinto, las relaciones entre diferentes instituciones también son importantes, ya que algunas veces se complementan y otras se contraponen.

Los límites del SNI y al interior del SNI

Para ser considerado como tal, todo sistema debe establecer límites, es decir, debe proclamar lo que incluye y lo que no.

El problema es que los sistemas complejos o abiertos¹⁴ (como el SNI) tienen dos características que hacen difícil establecer con claridad dónde se encuentra su límite: 1) en estos sistemas las relaciones e interacciones que se establecen entre sus componentes generalmente son más importantes que los propios componentes, y 2) estos sistemas establecen relaciones con el ambiente.

Para enfrentar los límites difusos o borrosos hay quienes proponen la noción de “cierre operacional”. Luhman (1989) y Zeleny (1996) –siguiendo la propuesta original de Maturana y Varela (1980, 1987)– sostienen que un sistema mantendrá su identidad si se “reproduce internamente”. Esto quiere decir que un sistema abierto derivado de una organización cerrada se “regenerará” a través de la interacción de sus propios componentes y, como resultado de este mismo proceso de regeneración, emergerá un límite.¹⁵

¹⁴ Algunos autores han establecido que la exposición de los sistemas al medio ambiente modifica radicalmente sus características (Nicolis y Prigogine, 1977 y 1989; Prigogine y Stengers, 1984; y von Bertalanffy, 1950). Con base en esto, a un sistema se le considera “cerrado” cuando no realiza ningún tipo de intercambio con su medio ambiente. A los sistemas cerrados los caracteriza el desorden, la aleatoriedad y la homogeneidad (sus componentes están fuertemente unidos y son muy similares). Estos rasgos y su condición de aislamiento permiten a este tipo de sistemas alcanzar un estado de equilibrio. Por tanto, los sistemas cerrados tendrán un equilibrio más estable conforme más aislados se encuentren. Un sistema cerrado muta, se convierte en un sistema “abierto”, cuando comienza a realizar intercambios de materia, energía, o conocimiento con el medio ambiente. Esto, como dijimos, modifica sus características. En un primer momento, la interacción con el medio ambiente destruye el equilibrio y provoca la aparición de inestabilidad (o turbulencia), pero si se suspende la interacción, el sistema puede llegar a adquirir uno o varios “estados estacionarios”. En un segundo momento, al aumentar su “tasa de intercambio” (sus interacciones con el medio ambiente) el sistema experimenta transiciones que modifican radical y cualitativamente su estructura, es decir, deja de ser homogéneo y se convierte en heterogéneo (llega a estar conformado por componentes separables y distinguibles).

Por último, si un sistema abierto sigue aumentando sus interacciones con el medio ambiente llegará a experimentar transiciones hacia estados totalmente nuevos y diferentes. En la proximidad de este tipo de transiciones, el sistema se vuelve altamente indeterminado. Esto significa que no será posible pronosticar cuales serán las características del sistema después de la transición; tampoco si este proceso desembocará en uno o varios resultados. De ahí que a este tipo de transiciones se les denomine “bifurcaciones”.

¹⁵ En biología a este mismo proceso se le denomina “autopiésis”.

Sin embargo, definidos de esta manera los límites son simultáneamente una actividad del propio sistema y un producto de la misma descripción involucrada. Por tanto, no estarán en función de nuestra descripción ni serán una cosa natural. En otras palabras, nunca se estará totalmente seguro de haber encontrado o definido claramente el límite porque el sistema puede jugar atenuadamente el papel del ambiente.

Una vía alternativa para avanzar en la definición de los límites (ver Cillers, 2001; y Midgley *et al.*, 1998) propone tomar en cuenta los siguientes aspectos. El primero tiene que ver con la “naturaleza” de los límites. Un error frecuente a la hora de estudiar los límites es verlos como algo que separa dos cosas. Una alternativa más fructífera para el estudio de sistemas sociales y económicos es concebirlos como una parte constituyente del sistema, como otro componente con características especiales. Esto permitirá ver al límite como algo que juega una función (que permite), y no como algo que separa o confina. En este sentido, un límite no separa, sino conecta sistemas compuestos y subsistemas con otros meta-agentes o subsistemas dentro de un sistema general, o al sistema en su conjunto con su ambiente. Por tanto, los límites no tienen que ser únicamente físicos o topográficos, también pueden ser funcionales, de comportamiento y de comunicación.

El reconocimiento de lo expresado en el párrafo anterior ha llevado a algunos autores a proponer tres formas para delimitar el SNI (ver Edquist, 2004; Jonhson y Lundvall, 2003; y Jonhson, Edquist y Lundvall, 2003):

1. Espacial/Geográfica, basada en criterios tales como las fronteras físicas y administrativas (a nivel nacional) y el grado de “coherencia” y de “orientación” interna (a nivel local o regional).
2. Sectorial, basada en construcciones teóricas como el “sistema sectorial de innovación” (ver Breschi y Malerba, 1997): grupo de empresas dedicadas a desarrollar y producir mercancías, y a generar y usar tecnologías, en un sector. Estos sistemas incluyen parcialmente sistemas regionales, nacionales e internacionales, definidos espacial/geográficamente.
3. En términos de actividades/determinantes/factores, basados en la identificación y definición de las funciones que desempeñan los componentes del SNI. Comparativamente, esta es la forma más complicada de establecer los límites del SNI, porque implica separar las actividades dedicadas a la innovación de las que buscan otro objetivo, y porque éstas se realizan a distintos niveles: nacional, regional y sectorial.

A pesar de constituir un buen intento, creemos que estas formas de delimitar el SNI tendrían que tomar en cuenta un segundo aspecto, que tiene que ver

con la ubicación del límite, con el *lugar* en el que se establece. La proliferación de ejemplos biológicos de sistemas complejos en las ciencias sociales y económicas ha llevado a que frecuentemente se cometa el error de concebir a los sistemas en forma *orgánica*. Esta propensión hacia las metáforas visuales también ha desembocado en que los límites comúnmente sean concebidos en términos espaciales. Si se medita un poco el asunto, se llega a la conclusión de que los sistemas sociales y económicos no están limitados de la misma manera que los sistemas biológicos. En otras palabras: las partes de un sistema social o económico no tienen por qué estar juntas, y bien pueden estar ubicadas en lugares espaciales totalmente distintos. Por consiguiente, las conexiones y los límites pueden ser definidos como *virtuales* y el mismo sistema en su conjunto puede estar ubicado en un *espacio virtual*.

Los aspectos mencionados tienen dos implicaciones. La primera (algo que ya sugeríamos anteriormente) es que en un sistema social y económico distintos subsistemas no contiguos pueden estar conectados entre sí, es decir, pueden compartir órganos y funciones. La segunda es que en un sistema social o económico todos los componentes (incluido el límite) siempre están interactuando o en interfase entre ellos o con el ambiente, y por tanto, siempre estamos al borde del límite: las nociones de “adentro” y “afuera” nunca son simples o definitivas. Esto impide hablar de límites en el sentido tradicional.

Lo dicho hasta aquí nos obliga a ser más críticos acerca de cómo usar la noción de límite. Por tanto, una tarea aún inconclusa de las TNSyEE es incorporar estos elementos a la hora de definir y establecer los límites del SNI.

Teoría de los sistemas complejos adaptables: una vía alternativa para fortalecer teóricamente el concepto de SNI

Se puede decir que, si el aporte fundamental de Freeman fue sugerir que el “ambiente” que rodea al meta-agente innovador (la empresa) también influye, condiciona y co-construye la innovación, el mayor esfuerzo del enfoque del SNI se ha centrado en encontrar una manera de perfilar, hacer corpóreo, dicho ambiente; primero, proponiendo que éste está formado por “instituciones”, y después, sugiriendo que el SNI también incluye “relaciones”. Como se estableció anteriormente, la revaloración del enfoque del SNI de fines de los noventa y principios del nuevo siglo reveló que una de sus principales debilidades era la “ambigüedad conceptual”.¹⁶

¹⁶ Por “ambigüedad conceptual” se entiende la incapacidad del enfoque del SNI para identificar y definir claramente sus componentes, relaciones y límites.

El apartado anterior recogió los intentos realizados dentro de las TNSyEE para superar la “ambigüedad conceptual” imperante en el enfoque del SNI y, por esta vía, fortalecerlo teóricamente. Como vimos, un problema común a dichos intentos es que se limitan a re-describir los componentes, y las relaciones que establecen entre ellos y con el ambiente, y a encontrar nuevas formas para representarlos.

Recientemente, Dosi y Grazzi (2006) han reconocido que este problema no se limita al enfoque del SNI, sino que afecta al conjunto de la teoría de la innovación. En efecto, según estos autores, aunque existen tres niveles epistémicos del estudio de la innovación (cognitivo, procesal e *input-output*), el abordaje teórico hasta nuestros días ha privilegiado el análisis *ex post* (nivel *input-output*), que resulta ser el menos significativo teóricamente, ya que trata al problema, de nuevo, como una caja negra. Becker (2004, 2005, 2006) reformula la propuesta de Dosi y Grazzi de la siguiente manera: según él, las “rutinas organizacionales” son la noción que explica el comportamiento de los agentes y la dinámica de las organizaciones. Así, la dinámica del SNI se despliega, según la sugerencia de este autor, en tres niveles: 1) el nivel “profundo”, el de las reglas/estructuras/mecanismos, 2) el nivel “perceptual”, el de los acontecimientos reales donde ocurre la acción, y 3) el nivel “empírico”, el de la representación de los acontecimientos.

Esta tendencia ha bloqueado el fortalecimiento teórico del enfoque del SNI, ya que ha impedido que se exploren los mecanismos que explican su “dinámica” (nivel procesal o “profundo”). Desde nuestro punto de vista, la escasez de análisis *ex ante* del SNI se deben a que la teoría evolutiva y neoschumpeteriana carecen de las herramientas indispensables para avanzar en esa dirección. Por tanto, para trasladar el análisis del SNI del nivel *input-output* a los niveles cognitivo y procesal, y de esta manera ayudar al progreso conceptual del enfoque del SNI, proponemos que se incorporen al estudio del SNI las nociones de la teoría de los sistemas complejos adaptables (SCA).

La teoría de los SCA es una “ciencia de la complejidad” porque se ocupa de estudiar fenómenos no lineales, y a nuestro juicio la versión más acabada es la de Holland, quien durante toda su vida como investigador ha estudiado la forma en que los organismos logran evolucionar a partir de la resolución de problemas (adaptación). Por tanto, Holland ha concentrado su esfuerzo en la formulación de una teoría que explique cómo ocurre esto, y en la búsqueda de herramientas que ayuden a aplicar esta teoría a un amplio abanico de fenómenos.

En *Hidden Order –How Adaptation Builds Complexity*, libro que Holland publicó en 1995, se condensa el fruto de todas las investigaciones anteriores de este autor sobre el tema (ver(ver Holland y Reitman, 1978; Holland *et al.*, 1986; y Holland, 1986). De ahí que este libro trate de un aspecto de la complejidad (la adaptación) que desde los noventa se conoce como Sistemas Complejos Adaptables (SCA).

Así, la disciplina de los SCA es de reciente aparición, pues antes de *Hidden Order* sólo se habían escrito directamente sobre el tema dos artículos de Gell-Mann (ver Gell-Mann, 1992 y 1994) y un par de capítulos que este mismo autor dedicó al tema en su best-seller *The Quark and the Jaguar*; así un artículo de principios de los 1990s del propio Holland, cuyo título es “Complex Adaptive Systems”, y que constituye el primer esbozo de lo que nuestro autor presentaría ya terminado en 1995 (ver Holland, 1992); e indirectamente, artículos dedicados a los Algoritmos Genéticos y a los Agentes Adaptativos Artificiales (ver Holland, 1991 y 1992 y De Jong, 2005).

La pretensión de *Hidden Order*, por tanto, no es revisar el trabajo que existe sobre los SCA (por lo demás casi inexistente), sino presentar –mediante una síntesis de ideas dispares– un panorama global ordenado sobre el tema.

Problemas de espacio impiden detallar la teoría de los SCA. Por tanto, nos limitamos a decir que esta teoría retoma principios de los *Sistemas de Producción*,¹⁷ pero tiene la particularidad de plantear que la dinámica de organismos tales como los SNI se basa en modelos mentales, es decir, en la aglomeración y jerarquización de reglas simples para hacer frente a los problemas que plantea el constante cambio del ambiente. La teoría de los SCA se basa en la inducción pragmática porque reconoce la importancia del ambiente, y porque sugiere que un organismo (empresa) adquiere su dinamismo gracias a que persigue una meta elaborando construcciones mentales que intentan dar cuenta de los rasgos del ambiente en el cual se desenvuelven.

Así, una sugerencia del presente artículo es que la incorporación de las nociones de la teoría de los SCA al estudio de los SNI puede fortalecer el enfoque de los SNI porque ayudaría a explicar su dinámica, toda vez que permitiría analizar este tipo de sistemas desde una perspectiva *ex ante* (nivel cognitivo o de las reglas), un nivel que las TNSyEE han descuidado y para cuyo análisis por el momento no cuenta con herramientas, tal como reconocen Dosi y Grazzi y Becker.

¹⁷ En la ciencia cognitiva, un *Sistema de Producción* se refiere a un sistema abierto que se enfrenta a los problemas, derivados de cambios en el ambiente, con base en reglas simples.

Conclusiones

El presente artículo comienza planteando la necesidad de distinguir entre difusión del concepto de SNI y su fortaleza teórica, porque el extraordinario “éxito de taquilla” de este concepto podría dar la impresión equivocada de que dicho éxito se debe a que la del SNI es una teoría bien establecida.

Luego de que se revisaron el origen del concepto de SNI, y de que se delinearón tanto su desarrollo como sus características, se encontró que desde fines del los noventa el enfoque del SNI ha sido objeto de una serie de señalamiento que cuestionan su fortaleza teórica. Esto ha llevado a los académicos que propusieron el concepto a aceptar que el enfoque del SNI requiere ser fortalecido, y a emprender su revaloración.

Un hallazgo es que las revaloraciones desde las TNSyEE (que es de donde surgió el concepto de SNI) han tenido problemas para fortalecer teóricamente el concepto de SNI porque se han mantenido en los niveles de análisis más superficiales, lo cual les ha impedido incluso superar la “ambigüedad conceptual” que ellas mismas reconocen que aqueja al enfoque del SNI.

Ante el escaso éxito obtenido por las TNSyEE en cuanto al fortalecimiento teórico del enfoque del SNI, se propuso aplicar la noción de progreso conceptual de Kitcher, según la cual para que se fortalezca un enfoque es necesario desechar nociones obsoletas, incorporar nociones de otras áreas del conocimiento, y derivar nuevas nociones de estos dos mecanismos.

En el caso particular que nos ocupa, se propuso que una forma de hacer que el enfoque del SNI experimente progreso conceptual es incorporando nociones de la teoría de los SCA de Holland, ya que dicha teoría permite elaborar una visión *ex ante* del SNI, es decir, una explicación de su dinámica, gracias a que está basada en modelos mentales constituidos por reglas simples que permiten explorar el nivel “profundo” del SNI, así como resolver problemas derivados del cambio en el ambiente. Así es como esta teoría podría explicar el comportamiento del agente innovador (la empresa) en un entorno de constante innovación, como el que caracteriza a los tiempos que corren. Todo esto mediado por un cúmulo de instituciones dedicadas a tejer interrelaciones para favorecer el proceso innovador de la empresa ■

Bibliografía

- Bruno Amable, R. Barré, R. Boyer, (2000), *Los Sistemas de Innovación en la Era de la Globalización*, Buenos Aires: PIETTE/Ediciones Universidad Nacional de Quilmas.
- Bertalanffi, Ludwig von. (1950), "The theory of open systems in physics and biology", *Science*, New Series, Vol. 111, núm. 2872, pp. 23-29.
- Breschi, Stefano y Franco Malerba. (1997), "Sectoral Innovation Systems: Technological Regimes, Schumpeterian Dynamics, and Spatial Boundaries", en: Edquist, Charles (Editor), *Systems of Innovations. Technologies, Institutions and Organizations*, London: Pinter, capítulo 6, pp. 130-156
- Cilliers, Paul. (2001), "Boundaries, Hierarchies and Networks in Complex Systems", *International Journal of Innovation Management*, Vol. 5, núm. 2, June, pp. 135-147.
- Cimoli, Mario. (2000), *Developing Innovation Systems: Mexico in a Global Context*, England: Continuum.
- Cimoli, Mario y Nelson Correa. (2003), "Nuevas tecnologías y viejos problemas. ¿Pueden las TICs reducir la brecha tecnológica y la heterogeneidad estructural?" en: Boscherini F., M. Novick y G. Yoguel (Eds). *Nuevas tecnologías de información y comunicación*, Miño y Dávila/ Univ. Nal. De General Sarmiento, B. Aires, pp. 55-72.
- Coriat, Benjamin and Weinstein, O. (2002), "Organizations, firms and institutions in the generation of innovation", *Research Policy*, Volume 31, Issue 2, February, pp. 273-290.
- de Jong, Kenneth. (2005), "Genetic Algorithms: a 30-Year Perspective", en: Booker, Lashon et al. (2005), *Perspectives on Adaptation in Natural and Artificial Systems (Proceedings Volume in the Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity)*, Oxford University Press, pp. 11-31.
- Dosi, Giovanni et al. (1988), *Technical Change and Economic Theory*, London: Pinter Publisher LTD.
- Dosi, Giovanni, (1999), "Some Notes in National Systems of Innovation and Production and their Implications for Economic Analysis", en: Archibugi, Daniele, Jeremy Howells and Jonathan Michie (Editors). *Innovation Policy in a Global Economy*, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 35-48.
- Dosi, Giovanni y Grazzi, Marco. (2006), "Technologies as problem-solving procedures and technologies as input-output relations: some perspectives on the theory of production", *Industrial and Corporate Change*, Vol. 15, núm. 1, pp. 173-202.
- Edquist, Charles. (editor). (1997), *Systems of Innovation - Technologies, Institutions and Organizations*, London: Pinter Publishers/Cassell Academic
- Edquist, Charles. (1997a), "Systems of Innovation Approaches - Their Emergen-

- ce and Characteristics", en Edquist, Charles. (editor) *Systems of Innovation - Technologies, Institutions and Organizations*, London: Pinter Publishers/Cassell Academic, pp. 3-37.
- Edquist, Charles. (editor). (2000), *Systems of Innovation - Growth, Competitiveness and employment*, Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- Edquist, Charles. (2004), "Systems of Innovation -Perspectives and Challenges", en: Fagerberg, Jan, David Mowery and Richard Nelson (editors). *The Oxford Handbook of Innovation*, Oxford: Oxford University Press, chapter 7.
- Edquist, Charles y Johnson, Björn. (1997), "Institutions and organisations in Systems of Innovation", en: Edquist, Charles. *Systems of Innovation - Technologies, Institutions and Organizations*, London: Pinter Publishers/Cassell Academic, pp. 41-63
- Freeman, Christopher (1987), *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*, London: Pinter Publisher LTD.
- Freeman, Christopher. (2004), "Technological infrastructure and international competitiveness", *Industrial and Corporate Change*, Vol. 13 (3), pp. 541-569.
- Freeman, Christopher. (1995), "The 'National System of Innovation' in Historical Perspective", *Cambridge Journal of Economics*, Vol. 19, No. 1, February, pp. 5-24.
- Gell-Mann, Murray. (1992), "Complexity and Complex Adaptive Systems", in J. A. Hawkins and Murray Gell-Mann (Editors), *The Evolution of Human Languages*, MA: Addison-Wesley, pp. 3-18.
- Gell-Mann, Murray. (1994), "Complex Adaptive Systems", in George Cowan, David Pines and David Meltzer (Editors), *Complexity: Metaphors, Models and Reality*, MA: Addison-Wesley, pp. 17-45.
- Gell-Mann, Murray. (1994a), *The Quark and the Jaguar. Advances in the Simple and the Complex*, New York: W. H. Freeman and Company.
- Hayek, Friedrich August von. (1967), "The theory of complex phenomena", en: Hayek, F. A. *Studies in philosophy, politics and economics*, Chicago: University of Chicago Press, pp. 22-42
- Holland, John y Reitman, Judith. (1978), "Cognitive Systems Based on Adaptive Algorithms", en: Waterman, D. y Hayes-Roth, Friederick. (Editors), *Pattern-Directed Inference Systems*, New York: Academic Press, pp. 313-329.
- John Holland, Keith Holyoak, Richard Nisbett, y Paul Thagard. (1986), *Induction. Processes of Inference, Learning and Discovery*, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Holland, John. (1986), "Escaping Brittleness: The possibilities of general purpose machine learning algorithms applied to parallel rule-base systems", en: Michalski, Ryszard. et al. (Editors), *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach*, Vol. 2, Los Altos, CA: Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 593-623.
- Holland, John. (1992), "Complex Adaptive Systems", *Daedalus*, Winter, Vol. 121, No. 1, pp. 17-30.

- Holland, John. (1995), *Hidden Order –How Adaptation Builds Complexity*, New York: Basic Books.
- Johnson, Anna and Jacobsson, Staffan (2003), “The Emergence of a Growth Industry: A Comparative Analysis of the German, Dutch and Swedish Wind Turbine Industries”, en: Metcalfe, Stan and Cantner, Uwe. (editors). *Transformation and Development: Schumpeterian Perspectives*. Heidelberg: Physica/Verlag, pp. 197-228
- Johnson, Björn and Bengt-Åke Lundvall (2003), “National Systems of Innovation and Economic Development”, en: Muchie, Gammeltoft and Bengt-Ake Lundvall. (editors), *Putting Africa First – The Making of African Innovation Systems*, Aalborg University Press, chapter 1.
- Johnson, Björn, Charles Edquist and Bengt-Åke Lundvall (2003), “Economic Development and National System of Innovation Approach”, First Globelics Conference, Rio de Janeiro, November 3–6, 2003
- Kitcher, Philip. (1993), *The Advancement of Science*, New York: Oxford University Press.
- List, Friedrich. (1997), *Sistema Nacional de Economía Política*, México, FCE.
- Liu, Xielin and White, S. (2001), “Comparing Innovation Systems: A Framework and Application to China’s Transitional Context”, *Research Policy*, Volume 30, pp. 1091-1114.
- Luhmann, Niklas. (1989), *Ecological Communication*, Chicago: University of Chicago Press.
- Lundvall, Bengt-Åke. (1992), *National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, NY: Pinter Publisher.
- Lundvall, Bengt-Åke. (2002), “The Learning Economy: Challenges to Economic Theory and Policy”, en: Hodgson, Geoffrey. *A Modern Reader in Institutional and Evolutionary Economics. Key Concepts*, Edward Elgar, 2002, pp. 26-47.
- Lundvall, Bengt-Åke. (2002a), *Innovation, growth and social cohesion: The Danish Model*, London: Edward Elgar Publishers.
- Maturana, H. R. and F. J. Varela. (1980), *Autopoesis and Cognition*, Reidel.
- Maturana, H. R. and F. J. Varela. (1987), *The Tree of Knowledge: The Biological Roots of Human Understanding*, Shambhala.
- Midgley, G. et al. (1998), “The Theory and Practice of Boundary Critique: Developing Housing Services for Older People”, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 49, núm. 5, pp. 238-257.
- Miettinen, R. (2002), *National innovation system – Scientific concept or political rhetoric*, Helsinki: Sitra Publications.

- Mjøset, L. (2002), *An Essay on the Foundations of Comparative Historical Social Science*, ARENA Working Paper, núm. 22, Oslo: ARENA.
- Muchie, Gammeltoft and Bengt-Ake Lundvall. (2003), *Putting Africa First – The Making of African Innovation Systems*, Aalborg University Press.
- Nelson, Richard and Nathan Rosenberg (Editors) (1993). *National Systems of Innovation. A Comparative Study*, Oxford: Oxford University Press.
- Nicolis, Gregoire e Ilya Prigogine. (1977), *Self-Organization in non-equilibrium systems*, New York: John Wiley & Sons.
- Nicolis, Grégorie and Ilya Prigogine. (1989), *Exploring Complexity: An Introduction*, New York: W. H. Freeman and Company.
- OECD (1997), *National Innovation Systems*, Paris: OECD.
- OECD. (1998), *Technology, Productivity and Job Creation: Best Policy Practices*, Paris: OECD.
- OECD. (1999a), *Managing National Innovation Systems*, Paris: OECD.
- OECD. (1999b), *Boosting Innovation: The Cluster Approach*, Paris: OECD.
- OECD. (2001a), *Innovative Clusters: Drivers of National Innovation Systems*, Paris: OECD.
- OECD. (2001b), *Innovative People: Mobility of Skilled Personnel in National Innovation Systems*, Paris: OECD.
- OECD, (2002), *Dynamising National Innovation Systems*, Paris: OECD.
- Prigogine, Ilya e Isabelle Stengers. (1984), *Order out of Chaos*, London: Fontana Papers.
- Rickne, Annika. 2000, *New Technology-Based Firms and Industrial Dynamics: Evidence from the Technological Systems of Biomaterials in Sweden, Ohio and Massachusetts*, Department of Industrial dynamics, Chalmers University of Technology.
- Simon, Herbert. (1962), "The Architecture of Complexity", *Proceedings of the American Philosophical Society*, Vol. 106, núm. 1, December, pp. 467-482.
- Sharif, Naubahar. (2006), "Emergence and development of Nacional Innovation Systems Concept", *Research Policy*, Vol. 35, núm. 5, pp. 745-766.
- Zeleny, Milan. (1996), "On the social nature of autopoietic systems", en Khalil, Elias and Boulding, Kenneth (Editors), *Evolution, Order and complexity*, London: Routledge, chapter 6, pp. 122-145.