

EL ENFOQUE DE SISTEMAS Y SU APLICACIÓN EN LOS ESTUDIOS ECONÓMICOS SOBRE LA INNOVACIÓN

Roberto E. López–Martínez
Instituto de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México

RESUMEN

El presente trabajo proporciona una breve revisión de algunos aspectos del movimiento de sistemas así como de la literatura de sistemas de innovación y analiza los problemas teóricos relacionados con las dificultades de aplicación de esta última noción. Se sugiere en consecuencia, revisar el uso del enfoque de sistemas para la representación de fenómenos económicos asociados con la innovación así como de las políticas dirigidas a su transformación. Partiendo de ésta se desarrolla un modelo de sistema sustentable, que incluye la función de innovación pero no le otorga preeminencia sobre otras funciones necesarias para la viabilidad del sistema de producción. Se argumenta que un modelo de este tipo, dado su carácter sistémico, es de aplicabilidad general en cualquier entorno nacional.

INTRODUCCIÓN

En años recientes, los desarrollos teóricos y los estudios prácticos asociados al cambio tecnológico y a las políticas de ciencia, tecnología e innovación han estado estrechamente vinculados al estudio de los sistemas de innovación, área que al menos discursivamente a mostrado tener gran influencia en diversos países, en las esferas de análisis así como entre los tomadores de decisión relacionados con las políticas nacionales en áreas educativas, industriales y de innovación en general. Este trabajo se orienta entonces a esta área de estudio, en la que la aplicación del conocimiento desde una perspectiva económica, así como las políticas públicas pertinentes para incentivar este fenómeno, son relevantes.

El concepto de *sistema* ha sido ampliamente usado en el campo de estudios de innovación, particularmente a partir de la publicación de

tres trabajos seminales que emplearon la noción de sistema nacional de innovación.¹ Éstos enfatizaron la necesidad de emplear un enfoque holístico para abordar el estudio de la producción y difusión de conocimiento económicamente útil y sugirieron un marco de referencia general consistente en la descomposición del sistema económico en los elementos e interacciones alrededor de los procesos innovadores. A pesar de presentar algunos problemas tales como una relativa ambigüedad teórica,² este marco general ha tenido una sorprendente difusión y varios de sus aspectos han sido adoptados por innumerables estudiosos, analistas de políticas y organizaciones internacionales, o adaptados como punto de partida para enfoques similares tales como los sistemas sectoriales y regionales de innovación y los sistemas tecnológicos.³ Sin embargo, debido a la referida ambigüedad, esta difusión de la noción de sistemas de innovación ha implicado muy variadas interpretaciones. Adicionalmente, dentro de la literatura general sobre sistemas de innovación, se ha planteado la duda respecto de la aplicabilidad de sus nociones, particularmente en el caso de países en desarrollo.

Trataremos de explicar en este trabajo, primeramente, que estos cuestionamientos, tiene su origen en la desvinculación que existe entre las nociones de sistemas de innovación y la teoría de sistemas. Para ello revisaremos por un lado algunos aspectos básicos del pensamiento de sistemas, y por el otro, el origen, y desarrollo de la noción de Sistemas Nacionales de Innovación (SNI), así como de sus principales problemáticas de carácter teórico. Posteriormente, haremos una propuesta para desarrollar un enfoque sistémico para abordar la generación de conocimiento e innovación, de aplicación general en países de diferente grado de desarrollo.

BREVE INTRODUCCIÓN AL PENSAMIENTO DE SISTEMAS

El pensamiento de sistemas es un enfoque unificador desarrollado alrededor de la mitad del siglo XX, a partir de la idea de que es posible identificar conceptos fundamentales comunes que son recurrentes en diversas áreas de las esferas natural y social, permitiendo un mejor entendimiento, descripción y transformación de la complejidad

organizada. Esta visión nació de la interacción de varias disciplinas —biología, teoría matemática de la información, cibernética y teoría de sistemas entre otras; y su originalidad se deriva no tanto de los conceptos básicos que emplea, sino más bien de la integración de disciplinas a su alrededor.

Este enfoque no debe ser considerado como una teoría o una disciplina, sino como una manera de pensar acerca de los problemas complejos, basada en el enfoque integral de éstos como entidades completas y no en sus partes vistas separadamente. Esto hace posible la recolección y organización del conocimiento con la finalidad de incrementar la eficacia de nuestras acciones.¹ Sin embargo, para evitar caer en una definición más bien determinista del enfoque de sistemas, es conveniente recordar la opinión de C.W. Churchman respecto a que “el significado en última instancia del enfoque de sistemas [...] descansa en la creación de una teoría de la decepción y en una mayor comprensión sobre las maneras en que el ser humano puede engañarse respecto a su percepción de la realidad, así como sobre las interacciones entre estos diferentes puntos de vista”.² Entonces, a pesar del potencial del enfoque de sistemas como un medio para mejorar nuestras posibilidades de comprensión o de solución de problemas complejos, debemos ser conscientes de que no existen puntos de vista únicos ni soluciones óptimas. De aquí que lo más que podemos esperar de su aplicación es una perspectiva más amplia para la solución de un problema y una revisión crítica de las diferentes formas de comprenderlo y abordarlo.

El enfoque descansa en la concepción de sistema como un conjunto de elementos que a través de sus interrelaciones constituyen un todo o unidad que es más que la suma de sus partes.³ Por lo tanto, una célula, un grupo social y un organismo vivo constituyen sistemas; de la misma manera que una organización productiva o una computadora personal. Si bien la definición parece ser vaga y ambigua, es sin embargo empleada por un creciente número de disciplinas debido a su habilidad para integrar y unificar. Sin embargo, ninguna definición del término puede ser enteramente satisfactoria; es el propio concepto de sistema el que es fértil cuando su extensión y limitaciones son tomadas

¹ Freeman, 1987; Lundvall, 1992b; Nelson, 1993.

² Edquist, 2005.

³ Carlsson, 1994; Breschi & Malerba, 1997; Cooke, Gomez Uranga et al, 1997.

¹ Cf. Ackoff, 1971; de Rosnay, 1979; Olsson & Sjöstedt, 2004.

² Churchman, 1968 pp 229–30.

³ von Bertalanffy, 1968.

CUADRO 1. ORÍGENES Y DESARROLLO DEL PENSAMIENTO DE SISTEMAS

Probablemente el primer caso de pensamiento sistémico en la cultura occidental se encuentra en la *República* de Platón, en la cual éste concibe una ciudad-estado como un todo con un propósito específico: la justicia. Platón también percibe claramente la cuestión de la emergencia del sistema, indicando que los diversos componentes de la ciudad-estado no deben ser considerados por separado así como que la correcta organización de éstos producirá mayor valor que la suma de sus valores individuales. Posteriormente, Aristóteles al referirse a las organizaciones sociales argumentó que para poder conceptualizarlas era necesario hacerlo en forma general, afectando por tanto, la forma en que pensamos acerca de las esferas naturales, psicológicas y sociales. Aristóteles intentó también desarrollar conceptualizaciones de manera teleológica, es decir, integrando los dominios físico, social y psicológico en la búsqueda de propósitos particulares.

El concepto de sistemas resurgió durante el siglo XVII, con el significado de una colección de conceptos organizados, fundamentalmente en sentido filosófico. *El Discurso del Método* de Descartes, introdujo un conjunto coordinado de reglas a ser empleadas para alcanzar una certidumbre coherente, esto es, una metodología epistémica de carácter sistemático. Siguiendo a Descartes, prácticamente todos los filósofos construyeron sus sistemas filosóficos a partir de una serie de postulados básicos interrelacionados. Leibnitz por ejemplo, propuso el principio de armonía preestablecida entre las sustancias, de acuerdo con el cual cualquier cambio en una sustancia se encuentra necesariamente correlacionado con los de las demás. Más aún, estas correlaciones pueden ser eventualmente formuladas mediante leyes científicas. Por tanto, las teorías científicas fueron consideradas sistemas conceptuales.

Finalmente, Kant fue el gran sintetizador, quien en su *Crítica de la Razón Pura* provee una completa definición de sistema, sentando las bases para la metodología que es usada actualmente en el pensamiento de sistemas:

“Por sistema entiendo la unidad de varias cogniciones bajo una idea. Esta idea es la concepción —dictada por la razón— de la forma como un todo, de manera que

en consideración. Aplicado a la ligera o superficialmente, el concepto se emplea con frecuencia en las más diversas áreas desde la educación y el procesamiento de datos, hasta la política, con el riesgo de transformarlo en una noción vacía, intentando decirlo todo para finalmente remitir nada.

No obstante, el alcance del enfoque de sistemas no puede subordinarse a la precisión de las definiciones. Avanzando más allá de las simples analogías, el cruce de disciplinas hace posible el descubrimiento de

mientras la concepción determina a priori los límites de su contenido, establece también el lugar que deben ocupar cada una de sus partes. La idea científica contiene, por tanto, el fin, y la forma del todo conforme a ese fin. La unidad del fin, con el cual todas las partes del sistema se relacionan, y a través del cual todas tienen una relación con las demás, proporciona unidad a la totalidad del sistema, de manera que la ausencia de cualquier parte puede ser inmediatamente detectada a partir de nuestro conocimiento del resto, y éste determina a priori los límites del sistema, excluyendo por tanto todas las adiciones contingentes o arbitrarias.”¹

Su método no se funda ni en la observación o el razonamiento aislados, sino en un complejo tipo de indagación construido a partir de la conexión entre estas dos fuentes. Kant afirma que la impresión que obtenemos tras la observación de la realidad, depende en gran medida de nuestra teoría básica sobre la estructura de ésta. Ello implica que para poder aproximarnos al mundo real de una manera sistémica, primero debemos construir una teoría de la realidad que guíe nuestras observaciones, mismas que subsecuentemente nos guiarán en la revisión de nuestra teoría de la realidad. De esta manera, Kant asigna al sistema el estatus ontológico de sistema de principios [sistémicos] para el diseño teórico de modelos científicos, y sólo a través de estos, los principios sistémicos son aplicables a los objetos sensibles.

De lo anterior deriva un aspecto de gran importancia para la discusión del pensamiento de sistemas en la ciencia: la cuestión de si el objeto de estudio constituye efectivamente un sistema o una jerarquía de sistemas interrelacionados en el mundo real. No obstante, esta cuestión no puede ser resuelta ya que el mundo real bien puede constituir un sistema de sistemas, pero no existen medios científicos para identificarlo y demostrarlo con certeza. Si aseveramos que los sistemas existen en la realidad, no estamos haciendo otra cosa que una suposición sobre la existencia y las cualidades de la realidad. Entonces, siguiendo las enseñanzas de Kant respecto a que los sistemas son concebidos por la razón, no podemos atribuirle propiedades sistémicas a la realidad, sólo nuestros métodos para tratar a los objetos reales y sus representaciones correspondientes pueden ser sistémicos.

¹ Kant, I. 1781/1943 *Critique of Pure Reason*, Wiley, New York, pp. 466–467, citado por Dubrovsky, 2004.

aquello que es común entre los más variados sistemas; no se trata de subsumir un sistema a otro mejor comprendido, por ejemplo la economía a la biología, ni tampoco significa trasladar conocimiento de un nivel de complejidad a otro. El enfoque consiste más precisamente en la identificación de invariantes —esto es, principios estructurales y funcionales, y tener la capacidad de aplicarlos tanto en un sistema como en otro. Gracias a este principio, es posible organizar el conocimiento en modelos que pueden ser subsecuentemente aplicados al pensamiento o a la acción.

En cuanto al origen disciplinario específico del movimiento de sistemas, diversos autores trabajando desde diferentes enfoques coinciden en que éste es el resultado de desarrollos paralelos en diversas disciplinas que emergieron alrededor de la mitad del siglo XX y que entre los más importantes incluyen a los siguientes:

- La filosofía biológica de Ludwig von Bertalanffy, quien influenciado por los debates y desarrollos dentro de su esfera científica generalizó el pensamiento biológico organicista a la reflexión sobre los sistemas en general dando origen a la Teoría General de Sistemas.¹
- El desarrollo de la cibernética por Norbert Wiener² en la cual conceptos como realimentación y automatización tuvieron su origen.
- La teoría de la información y de la comunicación, basada en el trabajo de Claude Shannon y Warren Weaver, sobre los problemas teóricos, matemáticos y lingüísticos involucrados en la transmisión de mensajes a través de circuitos portadores de información.³
- La investigación de operaciones, que emergió inicialmente —bajo la dirección de E. C. Williams, como un enfoque científico para responder a las demandas de logística y gestión de recursos del ejército británico durante la Segunda Guerra Mundial.⁴
- La teoría de juegos de John von Neumann y Oskar Morgenstern, un sistema matemático formal para el análisis de conflictos y competencia; igualmente influyente fue la teoría de los autómatas de von Neumann, quien entre sus trabajos incluyó conceptos sobre la automatización auto-reproducible y podría considerarse entre los precursores de la autopoiesis.⁵

Estos desarrollos, vinculados todos ellos al estudio de la complejidad organizada, se encuentran también relacionados con un par de ideas que se encuentran entre los bloques fundacionales del pensamiento de sistemas: emergencia y jerarquía, y comunicación y control. Por un lado, el modelo general de complejidad organizada implica la

existencia de una jerarquía de niveles de organización, cada uno de ellos más complejo que su precedente y caracterizado por propiedades emergentes que no existen ni tienen significado en los niveles inferiores de descripción. Esto significa que los procesos que tienen lugar en ellos indican la existencia de un nuevo y estable nivel de complejidad con nuevas características. Por el otro lado, al tratar a los organismos vivos así como a los sistemas jerárquicos desarrollados por los humanos como unidades interactuando con su entorno, más que como conjuntos de componentes e interrelaciones, surge un aspecto muy importante: para que un sistema abierto sea capaz de mantener su estructura jerárquica, es necesaria la existencia de una serie de procesos de comunicación con el propósito de permitir la regulación y el control del sistema.

Diversos planteamientos y combinaciones de las disciplinas mencionadas anteriormente, dieron origen a otras corrientes del pensamiento de sistemas entre las que se pueden mencionar la ingeniería de sistemas, el análisis de sistemas —en algunas ocasiones también llamado análisis de políticas (policy analysis),¹ la dinámica de sistemas,² el modelo de sistemas viables,³ la metodología de sistemas suaves⁴ y el pensamiento crítico de sistemas.⁵ Estas escuelas muestran diversos grados de aproximación y mixturas entre los extremos mecanicistas e ingenieriles (duros) como el de la cibernética y los humanistas (suaves) que conciernen a las aplicaciones en el entorno social. Adicionalmente, en el campo específico de las ciencias sociales, debe otorgársele un lugar especial a los trabajos de Niklas Luhmann, particularmente *Social Systems*,⁶ en el cual desarrolla el concepto de los sistemas auto-referenciales. Luhmann no presenta un análisis sociológico de la sociedad moderna ni una teoría de la sociedad desde el punto de vista sistémico, sino que elabora el marco conceptual general para elaborar dicha teoría, con base en una adecuada síntesis de la obra de von Bertalanffy, trabajos de neurofisiología como los de Maturana y Varela en relación a la autopoiesis,⁷ así como aspectos de la cibernética.

¹ von Bertalanffy, 1968.

² En colaboración con el neurofisiólogo y cardiólogo mexicano Arturo Rosenblueth y Julian Bigelow Rosenblueth, Wiener et al, 1943; Rosenblueth & Wiener, 1950.

³ Shannon, 1948.

⁴ Véase: Churchman, 1971, 1979.

⁵ Véase: Shannon, 1958.

¹ Churchman, 1968, 1971, 1979. Véase también Britton & McCallion, 1994.

² Forrester, 1976.

³ Beer, 1972.

⁴ Checkland, 1981, 2000.

⁵ Ulrich, 1983.

⁶ Luhmann, 1995.

⁷ Varela, Maturana et al, 1974; Maturana & Varela, 1980.

CUADRO 2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS

Las diversas corrientes que han integrado el movimiento de sistemas, han formulado durante décadas y coinciden casi totalmente en las propiedades que en conjunto comprenden una teoría general de los sistemas abiertos. La siguiente lista resume estos rasgos principales:

- Interrelación e interdependencia de los objetos y sus atributos: elementos no relacionados e independientes no constituyen un sistema.
- Visión teleológica: la interacción sistémica debe tender a alcanzar una meta o estado final o bien a la aproximación a un punto de equilibrio.
- Existencia de insumos (inputs) y resultados (outputs): en un sistema cerrado, los insumos o entradas se encuentran determinados inicialmente y así permanecen; los sistemas abiertos admiten insumos adicionales provenientes del entorno.¹
- Procesos de transformación: dado que todos los sistemas buscan alcanzar un propósito, deben transformar los insumos (inputs) en resultados (outputs); en el caso de los organismos vivos, esta transformación es principalmente de una naturaleza cíclica.
- Entropía (monto del desorden o aleatoriedad presente en los sistemas): los sistemas no vivos tienden al desorden y dejados bajo la dirección de esta tendencia perderían movimiento y acabarían degenerando en una masa inerte; cuando este estado permanente acontece y se suspende la ocurrencia de eventos, se alcanza la máxima entropía. Los sistemas vivos, al contrario, pueden durante periodos finitos, evadir este proceso irremediable mediante la importación de energía de su entorno. Se dice entonces que crean entropía negativa (negentropía), fenómeno característico de todos los tipos de vida.
- Regulación: los elementos interrelacionados que constituyen el sistema deben ser regulados de alguna manera para que sus metas puedan ser alcanzadas. La regulación implica que las desviaciones naturales respecto al objetivo deben ser detectadas y corregidas. Este rasgo típico de los sistemas abiertos implica un permanente estado de equilibrio dinámico.
- Jerarquía: los sistemas son generalmente unidades complejas compuestas por el anidamiento de subsistemas de menor dimensión y alcance.
- Diferenciación: en los sistemas complejos existen unidades que desempeñan funciones especializadas; esta forma de 'división del trabajo' implica también que cada unidad se diferencia de su entorno — constituido por los sistemas en niveles inferiores y superiores de jerarquía.
- Convergencia y divergencia: los sistemas abiertos tienen ante sí, alternativas igualmente válidas o apropiadas para alcanzar un objetivo partiendo de condiciones iniciales distintas o bien, a partir de estados iniciales dados lograr objetivos diferentes y mutuamente exclusivos.

¹ Los sistemas cerrados son de carácter teórico; en el mundo real, todos los sistemas son abiertos.

LA NOCIÓN DE SISTEMAS EN LA LITERATURA DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

El origen del uso de la noción de sistemas asociado con los estudios de innovación se puede encontrar en la evolución del propio concepto de innovación. Particularmente cuando fueron desarrollados los modelos interactivos de este proceso,¹ en oposición a la visión lineal dominante, incorporando la participación de un amplio número de agentes en el proceso de innovación. Se ha sugerido que esta asociación comenzó durante la década de los 70's en los trabajos de varios académicos alrededor de Christopher Freeman y la *Science Policy Research Unit* (SPRU).² Estas asociaciones tempranas entre nociones cercanas a la de sistemas y la innovación, implicaban la conceptualización de este fenómeno como un proceso no lineal que involucra la participación coordinada de un amplio rango de actores.

El subsiguiente uso del concepto de sistemas de innovación hacia fines de los ochenta y principio de los noventa, implicó una extensión de esa conceptualización de redes de agentes en el proceso de innovación para incluir el papel desempeñado por las instituciones³, y en cierto grado algunos aspectos de la corriente de economía evolucionista. Se ha discutido de manera extensa, que estas nuevas interpretaciones no condujeron a una noción unificada de sistema de innovación⁴, probablemente porque los proponentes principales corresponden a diferentes tradiciones de investigación, en las que tal vez el común denominador ha sido la afinidad con las ideas de Schumpeter. Sin embargo, aparte de las similitudes entre enfoques que han sido sugeridas por Edquist,⁵ podemos añadir que la principal interpretación original de sistemas de innovación estaba dirigida a explicar los patrones nacionales de crecimiento y desarrollo económico a través

¹ De entre los cuales uno de los más influyentes ha sido el de Kline & Rosenberg, 1986.

² Andersen, 1994.

³ Es importante enfatizar que el concepto de instituciones se refiere a "reglas del juego" en el contexto de las naciones, tales como legislación, reglamentos, usos y costumbres, etcétera, y no debe confundirse con organizaciones.

⁴ La referencia clásica en este sentido es Edquist 1997b; véase también McKelvey 1991. Adicionalmente, los trabajos recientes de los proponentes originales del concepto, usualmente hacen referencia a las diferencias entre los distintos enfoques Freeman, 1995, 2002; Lundvall, Johnson et al, 2002; Nelson & Nelson, 2002.

⁵ Edquist, 2005.

del análisis de las interacciones entre los actores y las instituciones participantes en redes de innovación.

Vinculada a este objetivo primario, había también una implícita y en ocasiones explícita orientación hacia las políticas de innovación, que es más claramente planteada en la versión de Lundvall et al, en términos de aprendizaje institucional.¹ Podría decirse entonces que esta *interpretación original* consistía en un marco apreciativo evolucionista para explicar el desempeño innovador en contextos nacionales. Como su estructura básica consistía en agentes, instituciones e interacciones, de aquí derivó probablemente la asociación relativa a que era posible referirse específicamente a sistemas nacionales de innovación, esto es, a elementos e interacciones constituyendo sistemas en el entorno nacional.

A pesar de su orientación hacia las políticas, ninguno de las interpretaciones originales incluyó una versión operativa del enfoque de sistemas de innovación. Ésta ha sido desarrollada fundamentalmente por la OCDE, que adoptó la noción desde finales de los ochenta.² De aquí siguió lo que podemos llamar la *interpretación generalizada* del enfoque de sistemas de innovación, que implica que sistemas nacionales específicos pueden ser suficientemente descritos mediante la enumeración de los componentes principales (agentes e instituciones) que participan en procesos de innovación y el estudio de sus interacciones más relevantes. A partir del análisis de cómo estas interacciones dan forma a sistemas de innovación exitosos, se desprende la identificación de “mejores prácticas” y componentes fundamentales que sirven entonces como guía para el aprendizaje institucional y organizacional en el entorno internacional. Esta interpretación generalizada ha sido refinada en diversos reportes de la OCDE³ así como en estudios llevados a cabo bajo el auspicio de organizaciones internacionales como la Unión Europea,⁴ y es usualmente la que se emplea en la plétora de estudios publicados en la literatura referida a sistemas de innovación.

Aunque las interpretaciones original y generalizada parecen ser muy similares, existen sutiles diferencias teóricas entre ellas, que desde el punto de vista de algunos de los proponentes originales, son de considerable importancia. Éstas se refieren: primero, a los límites del aprendizaje institucional a nivel internacional respecto a la dependencia a trayectorias de desarrollo históricamente determinadas;¹ y, en segundo lugar, desde la óptica de las políticas de innovación, a la evolución de una perspectiva de distribución de recursos por una dirigida a la innovación, y al cambio de un punto de vista de toma de decisiones por uno enfocado hacia el aprendizaje.² Estas modificaciones de perspectiva parecen responder más a una interpretación teórica para enfatizar la oposición de este enfoque a la ortodoxia económica que a una visión realista de las políticas de innovación. Esto se ve reflejado en que las recomendaciones de política incluidas en *National Systems of Innovation*,³ así como la literatura concerniente a “fallas de sistema”,⁴ no se pueden escapar del marco de distribución de recursos y toma de decisiones. No obstante, lo que estas diferencias que hemos mencionado sí enfatizan, es la orientación del enfoque de sistemas de innovación como una estructura teórica para llevar a cabo detallados estudios de caso dirigidos a identificar los rasgos de los sistemas económicos que diferencian a un sistema nacional de otro.

DIFERENCIAS ENTRE EL PENSAMIENTO DE SISTEMAS Y EL ENFOQUE DE SISTEMAS DE INNOVACIÓN

La necesidad de fundamentar las bases de la perspectiva de sistemas de innovación en el pensamiento y la teoría de sistemas ha sido claramente identificada por algunos autores e incluso se han llevado a cabo algunos intentos de desarrollo teórico en este sentido.⁵ Éstos se han dirigido a definir con mayor detalle algunos conceptos o a la aplicación de métodos específicos del enfoque de sistemas a estudios de caso y modelos de sistemas de innovación. Sin embargo, el entusiasmo por trasladar conceptos y modelos de una disciplina a otra, ha impedido probablemente percatarse de que la interpretación vigente de sistemas de innovación no es totalmente consistente con el enfoque de sistemas.

¹ Dalum, Johnson et al, 1992.

² OECD, 1992; David & Foray, 1994. No obstante, la OCDE ya contaba con un modelo sistémico para el diseño de políticas (ver Cuadro 3).

³ OECD, 1994, 1999, 2002.

⁴ Edquist, Hommen et al, 1998; Soete & STRATA-ETAN Expert Group, 2002.

¹ Lundvall & Tomlinson, 2001.

² Lundvall, 1992c; Andersen, Lundvall et al, 2002; Lundvall, Johnson et al, 2002.

³ Dalum, Johnson et al, 1992.

⁴ Malerba, 1996; Carlsson & Jacobsson, 1997; Smith, 1998.

⁵ Niosi, Saviotti et al, 1993; Liu & White, 2001; Carlsson, Jacobsson et al, 2002; Devine, 2005; Edquist, 2005; Lee & von Tunzelmann, 2005.

CUADRO 3. ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS INTERPRETACIONES ORIGINALES DE SISTEMAS NACIONALES DE INNOVACIÓN (SNI)

Existen varias experiencias previas concernientes al uso de nociones de sistemas en la esfera de la innovación. Entre ellas se puede mencionar — como se indica en el texto principal, el modelo de la OCDE que constituye un sistema de políticas de ciencia e innovación cuyo origen se puede rastrear hasta 1963. Su análisis detallado rebasa los objetivos de este trabajo, pero podemos mencionar que su evolución es un claro antecedente del enfoque de SNI. De manera similar, también durante los años sesenta, otras organizaciones internacionales como la UNESCO, la Organización de los Estados Americanos y el Banco Interamericano de Desarrollo promovieron el uso del enfoque de sistemas para las actividades de planeación nacional en América Latina, que entre otros elementos incluían modelos similares al de la OCDE para la articulación de las políticas científicas y tecnológicas en la región. De hecho, recomendaciones explícitas de estas organizaciones condujeron a la gestación de agencias gubernamentales responsables de la elaboración e implementación de políticas de ciencia y tecnología en la mayoría de los países Latinoamericanos.¹

No es sino hacia fines de los años ochenta, cuando Christopher Freeman emplea por primera vez en una publicación el concepto moderno de sistema nacional de innovación, que se ha difundido durante los últimos 20 años.² No obstante, Freeman atribuye la noción al economista sueco Bengt-Åke Lundvall,³ quien probablemente basado en el trabajo de Frederick List sobre ‘sistemas nacionales de producción’, así como en las ideas de von Hippel respecto a la colaboración técnica informal entre empresas, transfirió el énfasis a las interacciones usuario-productor dentro de la economía nacional.⁴ La amplia difusión del concepto vino tras la publicación de dos trabajos en colaboración aunque de diferente naturaleza y características, uno editado por el mismo Lundvall y el otro por Richard Nelson.⁵ El primero fue el resultado de un esfuerzo relativamente homogéneo para desarrollar teóricamente el concepto y aplicarlo en estudios de caso nacionales; el segundo fue un intento

¹ Véase Sagasti, 1983; Wad, 1994. El trabajo de Sagasti enfatiza las aportaciones de Jorge A. Sábato sobre el tema e incluye a su vez propuestas sistémicas en el contexto de la política científica y tecnológica.

² Freeman, 1987; véase Edquist, 1997b.

³ El concepto fue sugerido por Lundvall durante la preparación del libro *Technical Change and Economic Theory* Dosi, Freeman et al, 1988; véase a Niosi, Saviotti et al, 1993; Freeman, 1995; Edquist, 1997a; Lundvall, Johnson et al, 2002 Sin embargo, en esta última contribución citada, Lundvall enfatiza la influencia del economista liberal sueco Burenstam Linder sobre la versión de Aalborg de SNI (así llamada por la Universidad en que Lundvall y su grupo desarrollaron el tema dando origen al libro bajo su edición).

⁴ Lundvall, 1988.

⁵ Lundvall, 1992b y Nelson, 1993.

de aplicar la idea en un conjunto de estudios de caso metodológicamente heterogéneos.

En tanto que las definiciones de SNI propuestas por los mencionados autores son bastante similares, existen no obstante, diferencias en cuanto al significado, alcance y uso de las nociones asociadas a éste.¹ En primer lugar, el mismo concepto de innovación varía ampliamente desde los enfoques ‘duros’ — conceptualizaciones científicas y tecnológicas, hasta las de carácter ‘suave’ — institucionales y relativas a la organización. En segundo lugar, el concepto de sistemas fluctúa desde la agregación de instituciones o sectores hasta las sinergias derivadas de su operación conjunta. De manera similar, existen diferencias concernientes a si el énfasis debe de ponerse en los componentes, en sus interacciones o en ambos. En tercer lugar, algunas limitaciones internas al enfoque de SNI son aún evidentes, por ejemplo, no existe una clara delimitación de las características de las instituciones y organizaciones que el sistema nacional comprende. Finalmente, se ha discutido insistentemente si existen, y hasta qué grado, límites o fronteras nacionales del sistema.

Pasando a revisar las perspectivas específicas, Freeman definió al SNI como “*la red de instituciones en los sectores público y privado cuyas actividades e interacciones inician, importan, modifican y difunden nuevas tecnologías*”.² En su estudio sobre Japón, se concentró en cuatro elementos constitutivos de la configuración del SNI: el papel de las políticas gubernamentales; la función de la I&D empresarial, especialmente en relación a la tecnología importada; el desempeño de la educación, capacitación y otras innovaciones sociales relacionadas; y, la estructura general de la industria. El enfoque de Freeman se orientó entonces, a analizar y diferenciar a las naciones en términos de su capacidad de adaptación para enfrentar cambios en los ‘paradigmas socio-institucionales’ provocados por los ciclos de generación de tecnologías radicales.³ Estos factores desde su perspectiva, determinan si una nación será capaz de beneficiarse de la emergencia de nuevas tecnologías.

Por su parte, en el libro coordinado por Lundvall, el SNI es definido como “*un conjunto de elementos y relaciones que interactúan, dentro de las fronteras nacionales, en la producción, difusión y uso de nuevo conocimiento económicamente útil*”.⁴ El núcleo del argumento del grupo de Aalborg descansaba en tres suposiciones básicas: (i) que el conocimiento es el recurso más importante de la economía y aunado a éste, el aprendizaje es el proceso fundamental; (ii) que el aprendizaje es un proceso interactivo y alojado en la sociedad que tiene lugar en un contexto institucional y cultural; y, (iii) que el desempeño de los estados nacionales se ha visto desafiado por los procesos de internacionalización

¹ Véase Edquist, 1997b; Alcorta & Peres, 1998.

² Freeman, 1987, p.1.

³ Por ejemplo, la naturaleza del entorno empresarial como conflictivo o consensual; la organización del mercado y el sistema de producción; y, el papel desempeñado por el gobierno nacional.

⁴ Lundvall, 1992a.

y globalización. Subsecuentemente, caracterizan a los SNI como sistemas sociales heterogéneos, auto-reproductivos y dinámicos dentro de las fronteras nacionales, y en los cuales ocurren los procesos de aprendizaje e innovación. Por tanto, este enfoque descansa en gran medida en la relación entre el aprendizaje interactivo entre usuarios y productores como el motor de la innovación. Dentro de esta interacción se presta especial atención al intercambio de información cualitativa, a las redes de comunicación entre actores y a los vínculos entre las firmas y los diversos sectores de la economía. Aunque este enfoque parece orientarse más al nivel microeconómico de la empresa, también se ocupa de los determinantes estructurales de la actividad de innovación, constituidos por instituciones nacionales, aspectos históricos, desarrollo industrial y sectores industriales fundamentales. Éstos son en síntesis: las instituciones y la estructura económica.¹

Finalmente, Nelson y Rosenberg, consideraron al SNI como “*un conjunto de instituciones cuyas interacciones determinan el desempeño innovador de las empresas.*”² Ellos definieron a la innovación en un sentido amplio como el proceso mediante el cual las empresas dominan y ponen en práctica diseños de productos y nuevos procesos de manufactura paralela. Los elementos del sistema nacional, cruciales para la producción y difusión del conocimiento, incluían desde su perspectiva: las características del sistema de I&D, el carácter y efectividad del sistema de educación y capacitación, los patrones laborales, las características de las instituciones financieras y las formas de organización y control al interior de las empresas. En este enfoque, las características específicas

¹ Las primeras son vistas como reglas y organizaciones formales así como reglas y normas informales; la segunda, como la agregación de relaciones inter-firma que constituyen un sistema de interacción que no puede ser reducido a sus relaciones individuales. Cf. McKelvey, 1991.

² Nelson & Rosenberg, 1993.

Es precisamente en estas inconsistencias que encontraremos las causas de la aparente dificultad de aplicación del marco de sistemas de innovación en países en desarrollo¹. A continuación, explicaremos los principales elementos de inconsistencia entre estos dos enfoques.

El primer problema se relaciona con los objetivos de los enfoques. Hemos ya mencionado que la interpretación original de sistemas de innovación se orienta a la identificación de diferencias entre diversas entidades. Particularmente en cómo las distintas instituciones nacionales, regionales o sectoriales influyen el desempeño exitoso de los sistemas de innovación. En contraste, el programa teórico y metodológico de la teoría de sistemas y sus disciplinas derivadas se basa

¹ Para una discusión en este sentido véase Lundvall 2002.

de estos subsistemas así como la forma en que interactúan, que a su vez son el resultado de la evolución histórica de la economía, son los factores críticos para explicar la configuración y desempeño de los SNI. Así, mientras que el enfoque de Aalborg se enfocó a la construcción de un marco teórico orientado hacia las fuentes de la innovación, el de Nelson-Rosenberg explícitamente evitó la construcción teórica, ocupándose fundamentalmente de establecer una estructura más o menos común para llevar a cabo estudios de caso sobre las condiciones que rodean a las actividades de innovación dentro del entorno de los países.

Posteriormente, diversos autores han trabajado en conceptualizaciones y propuestas complementarias o derivadas de los enfoques iniciales de SNI, ya sea con orientaciones hacia las políticas¹ y la competitividad nacional;² o, aquellas orientadas más específicamente a los subsistemas, como las nociones de sistemas tecnológicos y los marcos de sistemas sectoriales y regionales de innovación.³ Merecen especial mención los trabajos de Charles Edquist, quien ha intentado señalar las diferencias de los enfoques de SNI así como la búsqueda de armonización o unificación y desarrollar diversos aspectos teóricos alrededor de la noción.⁴

¹ Wijnberg, 1994; Metcalfe, 1995a, b.

² Porter, 1990; Furman, Porter et al, 2002. Los diversos trabajos de M. Porter sobre la ventaja competitiva que comienzan en Porter, 1985, han tenido gran influencia en las esferas del diseño de políticas y en la administración, debido a sus capacidades operativas. Sin embargo, aunque su marco de referencia está implícita y parcialmente basado en principios de sistemas no comparte las nociones neo-Schumpeterianas de innovación con el resto de los enfoques de SNI y sus derivaciones.

³ Carlsson, 1994; Breschi & Malerba, 1997; Cooke, Gomez Uranga et al, 1997.

⁴ Entre otros, Edquist, 1997b; Edquist & Hommen, 1999; Edquist, 2005.

en la identificación de elementos, funciones, comportamientos, etc., que son similares¹ entre diversas áreas. Ello implica que sistemas de cualquier clase operan de acuerdo a los mismos principios básicos, por lo que idealmente, debería ser posible deducir los principios aplicables a sistemas particulares de aquellos que son más generales².

Por lo anterior podemos apreciar que los dos enfoques que nos ocupan parecen dirigirse en direcciones opuestas. El pensamiento de sistemas, por un lado, maneja la complejidad mediante el mapeo de propiedades

¹ En un proceso que va de la percepción a la analogía y posteriormente al isomorfismo; véase Beer 1984.

² Serían innumerables las referencias para fundamentar esta afirmación, sin embargo, nos limitaremos a mencionar el trabajo clásico General Systems Theory de von Bertalanffy 1968.

funcionales entre distintos sistemas, identificando aquéllas de carácter y aplicación general para todos los sistemas. Su finalidad última es entender (en lo posible), transformar y controlar procesos complejos. El caso extremo corresponde tal vez a la cibernética y a la investigación de operaciones, en las cuales se afirma que no es necesario entender completamente un sistema para ser capaz de controlarlo. Por el otro lado, el objetivo último del enfoque de sistemas de innovación se orienta a identificar aquellos comportamientos que hacen que un sistema de innovación tenga mejor desempeño que otros. Como se toma en cuenta que los componentes, las interacciones y por lo tanto las propiedades funcionales son históricamente determinadas, la interpretación original es renuente al traslado de principios entre sistemas diferentes.

El segundo problema corresponde a que el marco de sistemas de innovación sugiere una metodología que se encuentra en medio del holismo y el sistemismo¹. Si bien acepta la descomposición del sistema en sus componentes e interacciones, éstos tienen un poder explicativo secundario. Los fenómenos económicos son explicados en términos de unidades supra-individuales tales como las instituciones conformadas históricamente. Por tanto, las propiedades globales del todo no son reducibles a propiedades individuales. Como ya mencionamos anteriormente, el fin de este marco de referencia se dirige a identificar arreglos institucionales específicos que diferencian a un sistema de otro, y esto sólo puede ser totalmente percibido en los mayores niveles de agregación, en términos holísticos.

Finalmente, el enfoque de sistemas de innovación se ha basado fundamentalmente en una definición tradicional de sistemas como entidades compuestas de elementos e interacciones. Ésta es insuficiente para abordar aspectos concernientes a la estructura jerárquica de los sistemas, al tratamiento del entorno y al análisis de los procesos que ocurren al interior del sistema². Como mencionamos anteriormente, uno de los cambios fundamentales promovidos por la teoría de los sistemas abiertos fue el reemplazo de esta noción tradicional,

por aquélla en la que un sistema se diferencia de su entorno.¹ Ello se relaciona entonces con los dos pares de ideas ya revisadas, que constituyen la base del pensamiento de sistemas: emergencia y jerarquía así como comunicación y control.

Además de las diferencias ya mencionadas, el marco de los sistemas de innovación presenta algunas paradojas teóricas. Una de ellas se relaciona con el hecho de que éste implica una perspectiva dual que no siempre ha sido explicitada y que con frecuencia se confunde. Concretamente, el concepto de sistema de innovación se percibe en dos diferentes dimensiones. Por una parte, éste es un marco de referencia para explicar fenómenos económicos. De hecho, se asume que el sistema de innovación es prácticamente equivalente a la totalidad de la economía.²

Por otra parte, dada su orientación hacia la generación de políticas, se adopta una postura normativa y el marco se convierte en un modelo de cómo debería organizarse la realidad. Así, en lugar de ser una representación fiel de la realidad observada, se convierte en una que es filtrada a través de una estructura predeterminada, no necesariamente isomórfica con el fenómeno estudiado. Esto ocurre porque la reducción a considerar la innovación como el proceso fundamental en la economía no representa con precisión lo que en realidad ocurre dentro de los sistemas económicos. Por ejemplo, llevar a cabo procesos de innovación, corresponde a un *estado deseable* para que una empresa productiva sea exitosa, pero de ninguna manera representa la única forma de crecer económicamente, ni tampoco podría representar el estado de todas las empresas en un sector industrial o en toda una economía. Por lo tanto, la percepción de una economía a través de los lentes de la innovación involucra una representación idealizada desde el punto de vista del analista. Este procedimiento metodológico contradice las reivindicaciones del enfoque de sistemas de innovación respecto a la importancia de la historia y a la inexistencia de sistemas de innovación ideales.

En síntesis, el planteamiento de sistemas de innovación sólo es generalizable como marco analítico que asume la necesidad

¹ Para una discusión sobre la distinción entre estos enfoques véase Bunge 1979.

² Esto se refleja principalmente en el debate (tal vez irresoluble) relativo a los límites o fronteras adecuadas para analizar sistemas de innovación.

¹ von Bertalanffy, 1968; Checkland, 1981; Luhmann, 1995.

² McKelvey, 1991.

de articulación (interacciones) entre agentes económicos, fundamentalmente entre productores y usuarios de conocimiento. Sin embargo, no proporciona elementos para tratar sistémicamente a estos agentes; es decir, no explica cómo éstos se organizan jerárquicamente para ir conformando sistemas emergentes de complejidad creciente.

Consecuentemente, los estudios realizados dentro de este marco caen frecuentemente en una descripción de supuestos subsistemas cuyas interacciones constituyen sistemas de innovación. No obstante, no presentan detalles que permitirían evaluar si en efecto los agentes constituyen tales subsistemas, por ejemplo uno industrial o uno de investigación. En otras palabras, se asume generalmente que dichos subsistemas están dados y sólo es necesario atender al desarrollo de instituciones (vía aprendizaje-réplica de experiencias internacionales) que favorezcan la interrelación de esos subsistemas. Naturalmente, esta perspectiva funciona con relativo éxito en países que por motivos históricos, efectivamente cuentan con tales subsistemas. Sin embargo, ésta será estéril en países en los que esos subsistemas no existan o se encuentren en procesos de maduración o consolidación.

PROPUESTA DE UN PLANTEAMIENTO ALTERNATIVO: BASES PARA UN ENFOQUE DE SISTEMAS DIRIGIDO A LA POLÍTICA DE INNOVACIÓN

Nuestro propósito para esta sección es sugerir una forma diferente de emplear conceptos de sistemas dentro del análisis económico de las políticas de innovación, resolviendo los problemas teóricos discutidos en las secciones anteriores. Nuestra propuesta es, más precisamente, el empleo del enfoque de sistemas como medio para entender los procesos de diseño de políticas que influyen a la innovación. Por motivos de brevedad y simplificación, listaremos solamente nuestros supuestos fundamentales:

- Al estudiar fenómenos desde el enfoque de sistemas, no estamos determinando hechos absolutos, estamos simplemente estableciendo un conjunto de convenciones más o menos útiles para nuestro análisis.
- La perspectiva que adoptaremos en este trabajo corresponde a la del analista de políticas que observa actividades económicas y está interesado en influenciar ciertos componentes y procesos de la economía para alcanzar metas específicas.

- Las actividades de diseño de políticas constituyen un subconjunto de la realidad que interactúa con otro subconjunto que consiste en procesos económicos.
- Para poder hacerlo, éstas hacen uso de representaciones simplificadas o modelos de dichos procesos, como medios para reducir la complejidad de la realidad observada, así como de diversos tipos de mecanismos o herramientas de observación y transformación que están inextricablemente vinculados a esos modelos.
- Las actividades de diseño de políticas, así como las partes del sistema económico con el que éstas interactúan, son sistemas de actividad humana.¹ Por tanto, éstos corresponden a entidades teleológicas o intencionadas, es decir, aquellas que incluyen algunas propiedades funcionales.
- Sugerimos entonces, que las políticas de innovación y sus interacciones con parte del sistema económico pueden ser interpretadas como constituyendo parte de un sistema teleológico.

Sistemas teleológicos y sustentables

Las condiciones necesarias para que una entidad S sea concebida como un sistema teleológico incluyen que:²

1. S tiene un propósito.
2. S tiene indicadores de desempeño.
3. Existe una entidad social cuyos intereses son servidos por S .
4. S tiene componentes teleológicos, que coproducen los factores que permiten el desempeño de S .
5. S tiene un entorno, que también coproduce los factores que permiten el desempeño de S .
6. Existe un tomador de decisiones que puede generar cambios en el desempeño de los componentes de S y por lo tanto en los indicadores de desempeño de S .

¹ Los sistemas de actividad humana, se definen como conjuntos de actividades que a través de sus interacciones exhiben un propósito específico como propiedad emergente (teleología); Cf. Checkland, 2000. Es conveniente notar que de acuerdo a esta clasificación, los sistemas sociales, definidos de manera general como grupos de personas que son conscientes de su membresía a un grupo, son ubicados en la frontera entre los sistemas naturales y los de actividad humana.

² Churchman 1971.

7. Existe un diseñador de sistemas que conceptualiza la naturaleza de S de manera tal que sus conceptos potencialmente generan acciones en el tomador de decisión, y por tanto, cambios en el desempeño de los componentes de S y en los indicadores de desempeño de S .
8. Las intenciones del diseñador de sistemas son modificar S de manera que mejore su valor para la entidad social.
9. S es estable respecto al diseñador, en el sentido de que las intenciones de éste son realizables en última instancia.

Ahora bien, esta caracterización nos proporciona una idea de los elementos mínimos a tomar en cuenta al diseñar un sistema teleológico, en este caso, un sistema de políticas que favorezca la operación de otro sistema, el económico, a través del apoyo a la generación de conocimiento y la innovación. Sin embargo, todavía necesitamos una forma de aproximarnos sistémicamente a la representación de esa entidad económica y a las actividades de generación de conocimiento que nos interesan. Para ello, sugerimos adaptar algunos elementos del llamado modelo de sistemas viables o sustentables¹.

Cualquier sistema teleológico que sea capaz de mantener su identidad independientemente de otros sistemas dentro de un entorno compartido², debe realizar dos funciones fundamentales: *estabilización inmediata y de largo plazo*. Éstas son llevadas a cabo por dos subsistemas compuestos, el *sistema* y el *meta-sistema*, que operan en distintas dimensiones de recursividad y desempeñan a su vez cinco sub-funciones: producción, regulación, control, prospección y cohesión (ver Tabla 1).

La primera se refiere a la producción de aquello que el sistema tiene como propósito y que a la vez permite a éste existir. Como puede haber diversas unidades encargadas de esa producción, la segunda función se encarga de regular o coordinar a éstas. La tercera función controla el flujo de recursos, monitorea el desempeño y realiza las correcciones

¹ Sería imposible en tan breve espacio describir en detalle el modelo de sistemas viables, por lo que nos limitaremos a esbozar sus características y remitimos al lector a su fuente original Beer, 1972, 1979, 1985.

² Ésta es precisamente la definición de viabilidad o sustentabilidad que estamos adoptando, es decir, la capacidad del sistema de mantener una existencia independiente.

TABLA 1. FUNCIONES Y DIMENSIONES DE LOS SISTEMAS SUSTENTABLES

FUNCIÓN FUNDAMENTAL	FUNCIÓN LOCAL	DIMENSIÓN DE RECURSIÓN
Estabilización inmediata	Producción	n (sistema)
Estabilización inmediata y de largo plazo	Regulación	Vínculo entre n y $n+1$
Estabilización inmediata y de largo plazo	Control	Vínculo entre n y $n+zz1$
Estabilización de largo plazo	Prospección	$n+1$ (meta-sistema)
	Cohesión	$n+1$ (meta-sistema)

necesarias para que el sistema sustentable cumpla sus objetivos. La cuarta función se ocupa de la visión de futuro y la determinación de estrategias; mientras que la quinta dicta las políticas de dirección que posibilitan la cohesión del sistema (ver Figura 1).

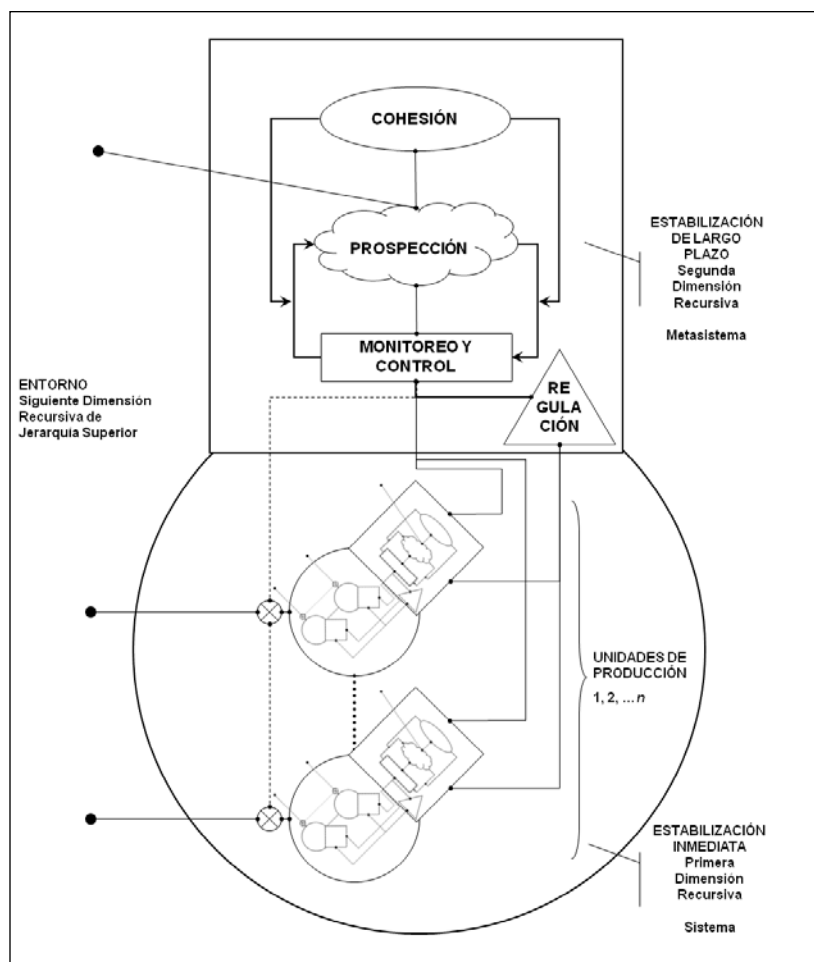
La estructura del sistema sustentable implica que las áreas que desempeñan las funciones se relacionan a través de una red de interacciones. En términos prácticos, éstas implican el flujo de información y de variedad codificada¹. De hecho, el sistema en su conjunto es una entidad cuya tarea principal es enfrentar la complejidad mediante la ingeniería de la variedad. Esto implica que el sistema enfrenta un medio ambiente complejo que le presenta un vasto número de posibles estados y por tanto debe de ser capaz de generar un número equivalente de estados internos para absorber la variedad del entorno. Consecuentemente, su red de interacciones internas corresponde al flujo de diferentes tipos de recursos que permitan a las áreas funcionales productivas responder a la variedad del entorno. Esta red se estructura y regula por la ley de variedad requerida,² que en forma simplificada indica que sólo la variedad puede absorber variedad³.

¹ Variedad se entiende en este contexto como el número de posibles estados de un sistema. Ver el ejemplo descrito en el Cuadro 4.

² Ashby, 1956, 1958.

³ Un buen ejemplo de un sistema sustentable es una empresa; ésta se encuentra en un entorno en el que existen innumerables demandas de mercado, equivalentes a la variedad del medio ambiente. La empresa, que está orientada a satisfacer un sector específico de esa demanda, debe ser capaz de producir diversos productos o servicios que absorban la variedad de la demanda.

FIGURA 1. MODELO DEL SISTEMA SUSTENTABLE



Entidades económicas como sistemas sustentables

Dado que el modelo propuesto es recursivo, permite la representación de innumerables sistemas anidados en diversas dimensiones. El factor principal para entender este anidamiento reside en que como vimos cada sistema sustentable está constituido por un sistema y un meta-sistema y cada uno de ellos forma parte del sistema sustentable en la siguiente dimensión de recursión ascendente o descendente. De esta manera, podemos sugerir que cualquier entidad económica, un grupo de naciones con intereses comunes, una nación, una región, un sector

industrial o una empresa, puede ser representada como un sistema sustentable que lleva a cabo las mismas cinco funciones en las distintas dimensiones de recursión. Naturalmente, esta descripción funcional básica puede adoptar diversas formas estructurales de organización en cada caso específico.

En vista del alcance de este trabajo, nuestra descripción de las funciones del sistema sustentable y sus interacciones ha sido muy breve. Particularmente debemos mencionar que la sub-función que hemos llamado de prospección es en cierta medida multifuncional, ya que incluye no sólo la visión de futuro, sino también la determinación de estrategias así como las acciones concretas de generación de conocimiento dictadas por la prospectiva y a la estrategia¹. Hemos empleado el término prospección, porque refleja de mejor manera a nuestro parecer, la percepción teleológica del entorno y sus acciones consecuentes para configurar el futuro del sistema. Otros preferirían emplear el término *innovación* para designar esta sub-función, pero consideramos que éste no sería lo suficientemente general, ni connotaría el rango de actividades desempeñadas.

En este momento, podemos intentar un esbozo de descripción de cómo operaría este modelo en una dimensión nacional. Debemos primero tomar en cuenta que desde esta perspectiva, la nación también está incorporada en un sistema que opera en una dimensión superior o entorno internacional. Por motivos de simplicidad, presentamos solamente un posible esquema general de algunos de los meta-sistemas relevantes para el área que nos interesa (ver Figura 2), por ello estamos ignorando en el diagrama un buen número de posibles sistemas intermedios que se hallan entre el meta-sistema —en el nivel nacional, y los meta-sistemas específicos —en el nivel de las organizaciones individuales. Por ejemplo, el meta-sistema de producción podría incluir, dependiendo de los intereses analíticos, a los sistemas de producción privado o público, o a diversos sectores industriales específicos, o a sistemas productivos regionales.

¹ Volviendo a nuestro ejemplo de la empresa, esta sub-función incluiría acciones de inteligencia tecnológica competitiva, de planeación estratégica y de investigación y desarrollo.

CUADRO 4. LA FIRMA VISTA COMO SISTEMA SUSTENTABLE

Intentemos a manera de ejemplo, describir brevemente cómo las subfunciones del sistema sustentable interactúan en el caso de una empresa. El mejor sitio para comenzar es con la subfunción o subsistema de producción, lo que hemos llamado “el sistema”. El propósito de éste es generar los productos o servicios que satisfagan demandas particulares del entorno (el mercado). También lleva a cabo diversas actividades operativas y de administración para cumplir con su objetivo. Éstas estarán determinadas por un lado, por la variedad de la demanda del mercado, y por otro, por diversas restricciones impuestas por los recursos y capacidades de la totalidad de la empresa. Adicionalmente, las restricciones incluirán una serie de reglas del juego establecidas tanto internamente —procedimientos y cultura organizacional, por ejemplo; como determinadas externamente por sistemas en dimensiones superiores de recursión —como leyes, normas y estándares.

Pueden existir diversas unidades de producción¹ dentro de una empresa, cada una atendiendo diversos sectores de demanda del mercado. El aspecto fundamental de este modelo, es que cada unidad de producción tiene que manejar un nivel particular de variedad del mercado y ser capaz de generar la suficiente variedad equivalente en productos o servicios dentro de un rango de especificaciones, precios, características de desempeño, etc., para absorber la demanda del mercado.

Como mencionamos en el texto principal, la subfunción de regulación, restringe a las unidades de producción de acuerdo a normas, reglas, prácticas, rutinas, etc., para posibilitar la coordinación entre ellas. Adicionalmente, ésta también transmite restricciones impuestas por sistemas de niveles superiores en el entorno, tales como normas industriales, reglamentos, leyes nacionales e internacionales, etc. Esta subfunción de regulación, opera en estrecha colaboración con la subfunción de control, que entre sus acciones incluye mecanismos de monitoreo del estado interno del sistema (de las unidades de producción) a través de auditorías o evaluaciones y que fundamentalmente cuenta con mecanismos para distribuir el flujo de diversos tipos de recursos

¹ Mismas que a su vez son sistemas sustentables en una dimensión de recursión inferior.

Uno de los aspectos que es importante mencionar, es que en el meta-sistema nacional, el subsistema que es responsable de dictar las políticas que dan cohesión a la totalidad, puede adoptar diferentes perspectivas. Éstas determinarán los grados de intervención que de acuerdo a las percepciones del futuro, las funciones de cohesión, control y regulación en la dimensión nacional, tendrán sobre la operación de todos los componentes que la integran. Estas perspectivas, que corresponden a lo

necesarios para la operación de las unidades de producción, tales como los tangibles y los intangibles (humanos, físicos, financieros y conocimiento).

Para poder llevar a cabo su función de control, este subsistema requiere de un intercambio permanente con el subsistema de prospección, responsable del monitoreo del entorno, de elaborar planes y llevar a cabo las actividades de innovación consecuentes. Éste subsistema esencialmente provee conocimiento incorporado en la visión de futuro de la organización —que se establece básicamente determinando los ajustes necesarios en la variedad de respuesta de la empresa para enfrentar las demandas futuras y las amenazas de la competencia—, así como en los bienes intangibles que las unidades productivas requieren para ajustar sus resultados (fórmulas, planos, procedimientos, operaciones, etc.).

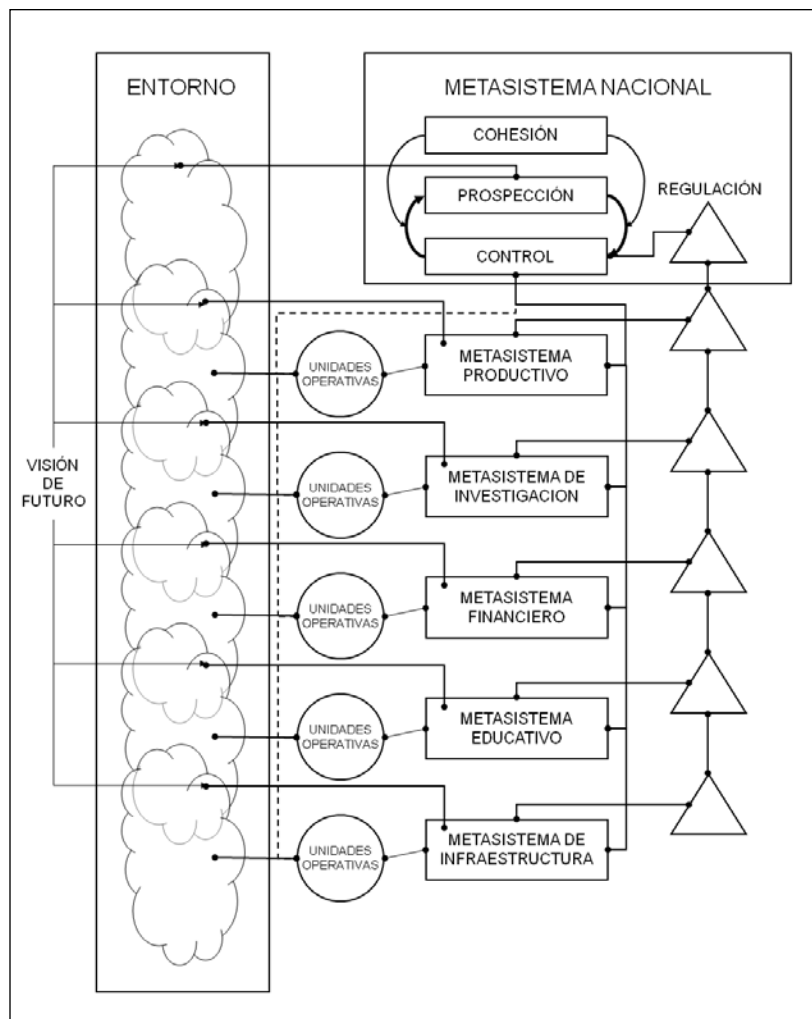
Finalmente, el subsistema que cierra el ciclo en la red de interacciones, está a cargo de establecer políticas generales que den cohesión a la empresa en su conjunto. Para hacerlo, su principal tarea consiste en dar seguimiento y balancear las fuerzas y el flujo de información y variedad entre los subsistemas de control y prospección. Es tal vez redundante mencionar que la empresa, el sistema sustentable, se encuentra en un permanente proceso de aprendizaje y adaptación¹. Lo que resulta en cierta forma paradójico, es que el sistema es una entidad compleja destinada a destruir la variedad, en el sentido de que compensa la variedad del entorno a través de la generación continua de variedad mediante sus procesos internos. Desde esta perspectiva, una empresa es un sistema para generar variedad, y el proceso de innovación es una parte de uno de los cinco procesos fundamentales que interactúan para el cumplimiento de los fines últimos de la totalidad del sistema.

¹ Un sistema es adaptable cuando ante la presencia de cambios en el entorno o en su estado interno, que reducen su eficiencia en la consecución de uno o varios de los objetivos que definen su función, reacciona cambiando su propio estado o el de su entorno, de manera que incremente su eficiencia respecto a sus metas. El aprendizaje se define como la habilidad del sistema para incrementar su eficiencia en la consecución de sus objetivos bajo condiciones estables, entonces se refiere a la evaluación de los efectos de acciones particulares para ayudar al sistema a acercarse al cumplimiento de su objetivo último.

que usualmente se llaman “sistemas económicos”, se basan en modelos abstractos del funcionamiento de las economías.

Por ejemplo, en economías de mercado y mixtas, los niveles de intervención se determinan a través de una interpretación neoclásica de la economía. En esta se asume que los procesos económicos que ocurren al interior del sistema son autopoieticos; es decir, que la sustentabilidad del sistema se da casi enteramente a través de sus

FIGURA 2. EJEMPLO DE UN META-SISTEMA NACIONAL DE PRODUCCIÓN



interacciones, y mediante éstas son producidos los medios para su propia reproducción. Bajo este modelo, la función de control descansa en el entorno (mercado) y la función de cohesión se reduce a establecer y afinar medidas de regulación que garanticen que el autocontrol sea posible¹. El sistema teleológico al que nos referimos anteriormente,

corresponde precisamente al mecanismo auxiliar para afinar esta función de autocontrol, es decir a políticas específicas que influncian la generación de conocimiento e innovación (ver Figura 3).¹

CONCLUSIONES: HACIA LA CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS INDUSTRIALES SUSTENTABLES

En la sección anterior hemos esbozado las bases para un enfoque de sistemas relativo a la percepción de las actividades relacionadas con la innovación dentro de la economía así como a las políticas orientadas a transformarlas. Desde la perspectiva propuesta, es posible solucionar algunos de los problemas teóricos y operacionales de las interpretaciones de sistemas de innovación, que fueron presentados en las secciones iniciales. Primeramente, se está sugiriendo un modelo consistente con el enfoque de sistemas, que se basa en la identificación de procesos, en este caso funciones, que son generalizables para cualquier sistema que se encuentre dentro de los límites definidos.

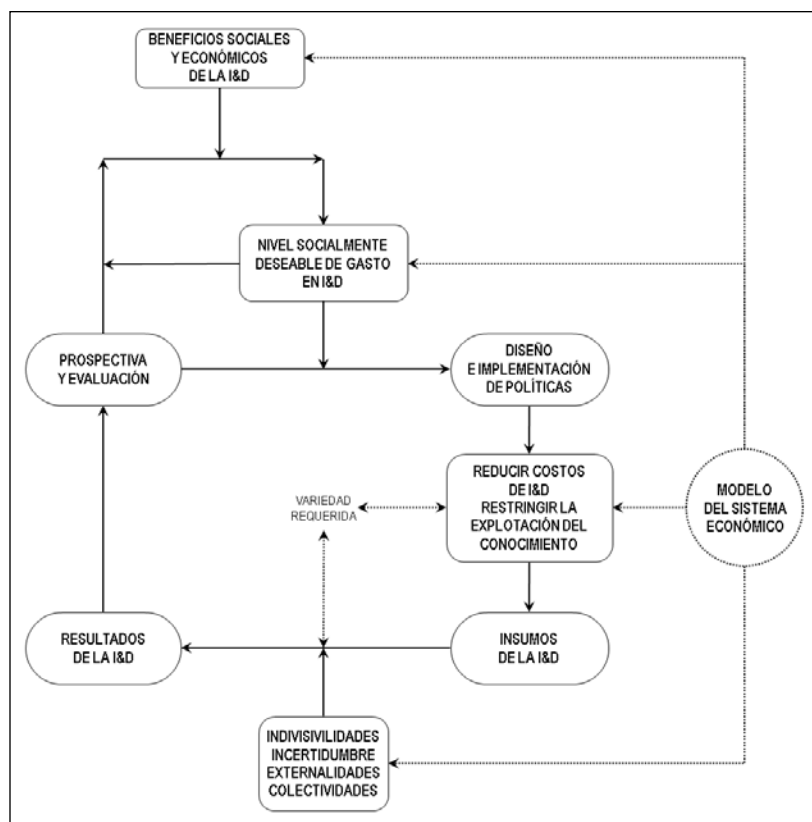
En segundo lugar, no pretende explicar el desempeño de las economías en términos holísticos, sino a través del análisis detallado de una serie de subsistemas sustentables recursivos, cuya existencia no se asume a priori. La aplicación del modelo sugerido permitiría emplear una misma estructura metodológica para llevar a cabo estudios a distintos niveles de agregación de acuerdo a los intereses de análisis: sectorial, regional, nacional o internacional. Los problemas de fronteras o límites que se discuten desde las perspectivas de sistemas de innovación, son resueltos como se ha visto, mediante las bases sistémicas y la recursividad del modelo. Estos dos aspectos implican también, que el sistema que se emplea como representación de la realidad no está simplemente constituido por una serie de elementos interconectados, sino por subsistemas funcionales jerárquicamente organizados que ascienden en complejidad conforme se avanza del nivel de análisis micro hacia mayores niveles de agregación.

En tercer lugar, esta conceptualización alternativa nos sugiere que es impreciso y hasta cierto grado engañoso asumir la existencia de

son de la misma familia, es decir, aceptan la función de control a través del mercado.

¹ Este mecanismo auxiliar es necesario para corregir las fallas atribuibles a la representación o modelo de la economía; específicamente en lo relativo a que la función de control del mercado es imperfecta.

FIGURA 3. SISTEMA TELEOLÓGICO / MECANISMO DE CONTROL



sistemas de innovación, en el sentido empleado en la literatura. Sin negar el importante papel que desempeña la innovación en la economía, consideramos que colocarla en el centro de los procesos económicos implica, o bien la suposición errónea de que ésta abarca a otros procesos, o bien que el resto de actividades o funciones han sido descuidadas o ignoradas del modelo. A pesar de que esta visión determinista respecto a la innovación ha sido criticada desde otros enfoques,¹ la crítica no ha sido abordada desde una perspectiva sistémica.

En cuarto lugar, desde nuestra perspectiva, se hace explícita la dualidad que se presenta al abordar sistémicamente estos fenómenos, ya que distinguimos entre la realidad observada que es percibida como sistema para reducir su complejidad, esto es, lo que en términos generales llamamos el sistema; y, el observador que diseña e instrumenta mecanismos para transformar la realidad —el sistema teleológico o meta-sistema. Como vimos, ambos forman parte del mismo sistema sustentable, en distintas dimensiones de recursión. Tanto en el mayor como en el menor nivel de agregación analítica —en las políticas nacionales como en las políticas de las organizaciones, existen meta-sistemas una de cuyas funciones es la innovación. Sin embargo, no parece haber justificación para otorgarle preeminencia sobre el resto de las funciones cuya interacción hace posible la existencia del todo como entidad independiente.

Sería más acertado, desde nuestro punto de vista, hablar de sistemas de sustentabilidad industrial o productiva. Con ello queremos decir que al referirnos a las diversas políticas dirigidas al incremento de la competitividad de las empresas, industrias, regiones o naciones, no se trata de proveer soporte y articulación en función de un ambiguo y vasto proceso de innovación, sino de proporcionarlo a procesos claramente localizados y definidos —producción, regulación, control, prospección, investigación y desarrollo, etc., que ocurren al interior de las empresas, las industrias, las regiones o las naciones.

Finalmente, una última reflexión se refiere a que desde las perspectivas tradicionales de sistemas de innovación, el sistema teleológico o meta-sistema se concreta al establecimiento de mecanismos de política para ajustar y afinar la función de autocontrol que se asume descansa en el mercado¹. Si bien este modelo de políticas funciona en países científica y tecnológicamente desarrollados, en países en los cuales no existen al

¹ Amable, Barré et al, 1997; Amable, 2000.

¹ Vía la corrección de fallas de mercado y lo que algunos autores heterodoxos llaman fallas de sistema; el análisis de éstas rebasa el alcance de este artículo, pero esencialmente se refieren a lo mismo: a ajustes para corregir una imperfecta función de autocontrol y auto-reproducción asumida en el mercado. De hecho, bajo nuestro enfoque sistémico es posible mostrar cómo los países desarrollados emplean un modelo híbrido que combina elementos ortodoxos y heterodoxos en el diseño de políticas de ciencia, tecnología e innovación. Un análisis detallado de este tema se puede encontrar en Lopez-Martínez 2006.

menos subsistemas industriales y de investigación, o en los que éstos no son suficientemente maduros, este enfoque de políticas es estéril.

Desde el enfoque que estamos proponiendo, lo que es necesario hacer es construir primero esos subsistemas, y para ello es preciso comenzar desde los cimientos, es decir, posibilitando que las unidades mínimas de organización, empresas, centros de investigación, etc., se constituyan como sistemas sustentables. Sólo entonces es posible que vayan emergiendo sistemas en dimensiones jerárquicas superiores, que en última instancia constituirán los subsistemas industriales y de investigación que son la base de los sistemas productivos sustentables en contextos industriales, regionales o nacionales.

REFERENCIAS

- Ackoff, R. L. (1971). "Towards a system of systems concepts." *Management Science Series A—Theory* 17(11): 661–671.
- Alcorta, L. and W. Peres (1998). "Innovation systems and technological specialization in Latin America and the Caribbean." *Research Policy* 26(7–8): 857–881.
- Amable, B. (2000). "Institutional complementarity and diversity of social systems of innovation and production." *Review of International Political Economy* 7(4): 645–687.
- Amable, B., R. Barré, et al. (1997). Diversity, coherence and transformation of innovation systems. *Science in tomorrow's Europe*. R. Barré, M. Gibbons, J. Maddox, B. Martin and P. Papon. Paris, Economica International.
- Andersen, E. S. (1994). *Evolutionary economics : post-Schumpeterian contributions*. London, Pinter.
- Andersen, E. S., B. A. Lundvall, et al. (2002). "Editorial." *research Policy* 31: 185–190.
- Ashby, W. R. (1956). *An Introduction to cybernetics*. London, Chapman & Hall.
- (1958). "Requisite variety and its implications for the control of complex systems." *Cybernetica* 1: 83–99.
- Beer, S. (1972). *Brain of the firm : the managerial cybernetics of organization*. London, Allen Lane, the Penguin Press.
- (1979). *The heart of enterprise*. Chichester, Wiley.
- (1984). "The Viable System Model – Its Provenance, Development, Methodology And Pathology." *Journal Of The Operational Research Society* 35(1): 7–25.
- (1985). *Diagnosing the system for organizations*. Chichester, J. Wiley.
- Breschi, S. and F. Malerba (1997). Sectoral innovation systems: Technological regimes, Schumpeterian dynamics, and spatial boundaries. *Systems of innovation : technologies, institutions and organizations*. C. Edquist. London ; Washington, Pinter: 130–156.
- Britton, G. A. and H. McCallion (1994). "An overview of the Singer/Churchman/Ackoff School Of Thought." *Systemic Practice and Action Research* 7(5): 487–521.
- Bunge, M. (1979). "A Systems Concept Of Society – Beyond Individualism And Holism." *General Systems* 24: 27–44.
- Carlsson, B. (1994). Technological systems and economic performance. *The handbook of industrial innovation*. M. Dodgson and R. Rothwell. Aldershot, Edward Elgar: 13–24.
- Carlsson, B. and S. Jacobsson (1997). In search of useful public policies: key lessons and issues for policy makers. *Technological systems and industrial dynamics*. B. Carlsson. Boston, Dordrecht, London, Kluwer Academic Publishers.
- Carlsson, B., S. Jacobsson, et al. (2002). "Innovation systems: analytical and methodological issues." *Research Policy* 31(2): 233–245.
- Cooke, P., M. Gomez Uranga, et al. (1997). "Regional innovation systems: Institutional and organisational dimensions." *Research Policy* 26(4–5): 475–491.
- Checkland, P. (1981). *Systems thinking, systems practice*. Chichester, Wiley.
- (2000). "Soft systems methodology: A thirty year retrospective." *Systems Research And Behavioral Science* 17: S11–S58.
- Churchman, C. W. (1968). *The systems approach*. New York, Delacorte Press.
- (1971). *The design of inquiring systems: basic concepts of systems and organization*. New York, Basic Books.
- (1979). *The systems approach and its enemies*. New York, Basic Books.
- Dalum, B., B. Johnson, et al. (1992). Public policy in the learning society. *National systems of innovation : towards a theory of innovation and interactive learning*. B.-Å. Lundvall. London ; New York, Pinter: 296–317.
- David, P. and D. Foray (1994). Accessing and expanding the science and technology knowledge base. A conceptual framework for comparing national profiles in systems of learning and innovation. Paris, Organisation for Economic Co-operation and Development.
- de Rosnay, J. (1979). *The macroscope : a new world scientific system*. New York ; London, Harper & Row.

- Devine, S. (2005). "The viable systems model applied to a national system of innovation to inform policy development." *Systemic Practice And Action Research* **18**(5): 491–517.
- Dosi, G., C. Freeman, et al. (1988). *Technical change and economic theory*. London, Pinter.
- Dubrovsky, V. (2004). "Toward system principles: General system theory and the alternative approach." *Systems Research And Behavioral Science* **21**(2): 109–122.
- Edquist, C. (1997a). *Systems of innovation : technologies, institutions and organizations*. London ; Washington, Pinter.
- (1997b). Systems of innovation approaches – Their emergence and characteristics. *Systems of innovation : technologies, institutions and organizations*. C. Edquist. London ; Washington, Pinter: 1–35.
- (2005). Systems of innovation: Perspectives and challenges. *The Oxford handbook of innovation*. J. Fagerberg, D. Mowery and R. Nelson. Oxford, Oxford University Press: 181–208.
- Edquist, C. and L. Hommen (1999). "Systems of innovation: theory and policy for the demand side." *Technology in Society* **21**(1): 63–79.
- Edquist, C., L. Hommen, et al. (1998). *The ISE Policy Statement – The Innovation Policy Implications of the 'Innovation Systems and European Integration' (ISE) Research Project*. Linköping, European Commission.
- Forrester, J. W. (1976). *Principles of systems : text and workbook, chapters 1 through 10*. Cambridge, Mass. ; Cambridge, Mass. ; London, Wright-Allen Press : Distributed by M.I.T. Press.
- Freeman, C. (1987). *Technology policy and economic performance : lessons from Japan*. London, Pinter.
- (1995). "The National System of Innovation in Historical-Perspective." *Cambridge Journal of Economics* **19**(1): 5–24.
- (2002). "Continental, national and subnational innovation systems —complementarity and economic growth." *Research Policy* **31**(2): 191–211.
- Furman, J. L., M. Porter, et al. (2002). "The determinants of national innovative capacity." *Research Policy* **31**: 899–933.
- Kline, S. J. and N. Rosenberg (1986). An overview of innovation. *The positive sum strategy : harnessing technology for economic growth*. R. Landau and N. Rosenberg. Washington, D.C., National Academy Press.
- Lee, T.-L. and N. von Tunzelmann (2005). "A dynamic analytic approach to national innovation systems: The IC industry in Taiwan." *Research Policy* **34**: 425–440.
- Liu, X. L. and S. White (2001). "Comparing innovation systems: a framework and application to China's transitional context." *Research Policy* **30**(7): 1091–1114.
- Lopez-Martinez, R. E. (2006). A systems approach to innovation policy. *PhD Thesis, MBS*. Manchester, The University of Manchester.
- Luhmann, N. (1995). *Social systems*. Stanford, Calif., Stanford University Press.
- Lundvall, B.-Å. (1988). Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation. *Technical change and economic theory*. G. Dosi, C. Freeman, R. R. Nelson, G. Silverberg and L. Soete. London, Pinter.
- (1992a). Introduction. *National systems of innovation : towards a theory of innovation and interactive learning*. B.-Å. Lundvall. London ; New York, Pinter: 1–19.
- (1992b). *National systems of innovation : towards a theory of innovation and interactive learning*. London ; New York, Pinter.
- (1992c). User-producer relationships, national systems of innovation and internationalisation. *National systems of innovation : towards a theory of innovation and interactive learning*. B.-Å. Lundvall. London ; New York, Pinter: 45–67.
- Lundvall, B.-Å. and M. Tomlinson (2001). Learning-by-comparing: Reflections on the use and abuse of international benchmarking. *Innovation, economic progress and the quality of life*. G. P. Sweeney and P. Six Countries. Cheltenham, Edward Elgar: 120–136.
- Lundvall, B. A., B. Johnson, et al. (2002). "National systems of production, innovation and competence building." *Research Policy* **31**(2): 213–231.
- Malerba, F. (1996). Public policy and industrial dynamics: an evolutionary perspective, European Commission.
- Maturana, H. R. and F. J. Varela (1980). *Autopoiesis and cognition : the realization of the living*. Dordrecht ; London, Reidel.
- McKelvey, M. (1991). How do national systems of innovation differ? A critical analysis of Porter, Freeman, Lundvall and Nelson. *Rethinking economics : markets, technology and economic evolution*. G. M. Hodgson and E. Screpanti. Aldershot and Brookfield, Edward Elgar: 117–137.
- Metcalfe, J. S. (1995a). The economic foundations of technology policy: equilibrium and evolutionary perspectives. *Handbook of the economics of innovation and technological change*. P. Stoneman. Oxford, UK, Blackwell: 409–512.

- (1995b). “Technology Systems and Technology Policy in an Evolutionary Framework.” *Cambridge Journal of Economics* **19**(1): 25–46.
- Nelson, R. R. (1993). *National innovation systems : a comparative analysis*. New York ; Oxford, Oxford University Press.
- Nelson, R. R. and K. Nelson (2002). “Technology, institutions, and innovation systems.” *Research Policy* **31**(2): 265–272.
- Nelson, R. R. and N. Rosenberg (1993). Technical innovation and national systems. *National innovation systems : a comparative analysis*. R. R. Nelson. New York ; Oxford, Oxford University Press: 3–21.
- Nelson, R. R. and S. G. Winter (1982). *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge, Mass. ; London, The Belknap Press of Harvard University Press.
- Niosi, J., P. Saviotti, et al. (1993). “National Systems of Innovation – in Search of a Workable Concept.” *Technology in Society* **15**(2): 207–227.
- OECD (1992). *Technology and the economy : the key relationships*. Paris, Organisation for Economic Co-operation and Development.
- (1994). *The OECD jobs study. Facts, analysis, strategies*. Paris, OECD.
- (1999). *Managing National Innovation Systems*. Paris, OECD.
- (2002). *Dynamising national innovation systems*. Paris, Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Olsson, M.–O. and G. Sjöstedt (2004). Systems and systems theory. *Systems approaches and their application : examples from Sweden*. M.–O. Olsson and G. Sjöstedt. Dordrecht, Kluwer Academic: 3–29.
- Porter, M. E. (1985). *Competitive advantage : creating and sustaining superior performance*. New York, N.Y. ; London, The Free Press : Collier Macmillan Publishers.
- (1990). *The competitive advantage of nations*. London, Collier Macmillan.
- Rosenblueth, A. and N. Wiener (1950). “Purposeful and non-purposeful behavior.” *Philosophy of Science* **17**(4): 318–326.
- Rosenblueth, A., N. Wiener, et al. (1943). “Behavior, purpose and teleology.” *Philosophy of Science* **10**(1): 18–24.
- Sagasti, F. R. (1983). *La política científica y tecnológica en América Latina: Un estudio del enfoque de sistemas*. Mexico, El Colegio de Mexico.
- Shannon, C. E. (1948). “A Mathematical theory of Communication.” *The Bell System Technical Journal* **27**(July, October): 379–423, 623–656.
- (1958). “Von Neumann’s contributions to automata theory.” *Bulletin of the American Mathematical Society* **64**(3): 123–129.
- Smith, K. (1998). Innovation as a systemic phenomenon: rethinking the role of policy. *A new economic Paradigm? Innovation based evolutionary systems*. K. Bryant and A. Wells. Canberra, Commonwealth of Australia: 17–52.
- Soete, L. and STRATA-ETAN Expert Group (2002). *Benchmarking national research policies: The impact of RTD on competitiveness and employment (IRCE)*. Brussels, European Commission, DG Research.
- Ulrich, W. (1983). *Critical heuristics of social planning. A new approach to practical philosophy*. Stuttgart, Verlag Paul Haupt.
- Varela, F. G., H. R. Maturana, et al. (1974). “Autopoiesis: the organization of living systems, its characterization and a model.” *BioSystems* **5**: 187–196.
- von Bertalanffy, L. (1968). *General system theory : foundations, development, applications*. New York, Braziller.
- Wad, A. (1994). Science and technology policy. *The Uncertain quest : science, technology and development*. J.–J. Salomon, F. R. Sagasti and C. Sachs–Jeantet. Tokyo ; New York, United Nations University Press.
- Wijnberg, N. M. (1994). “National Systems of Innovation – Selection Environments and Selection Processes.” *Technology in Society* **16**(3): 313–320.