

LA MEDICIÓN Y EL MODELADO DE LOS SISTEMAS REGIONALES DE INNOVACIÓN: UN ENFOQUE A PARTIR DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS¹

JOSÉ CARLOS RODRÍGUEZ

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales
México
jcrodriguez@umich.mx

MARIO GÓMEZ

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales
México
mgomez@umich.mx

ENRIQUE ARMAS

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales
México
enric.armas@gmail.com

GUIDO ADOLFO PÁRRAGA

Universidad Autónoma Metropolitana – Xochimilco
México

RESUMEN

Este trabajo analiza la dinámica que caracteriza a los sistemas regionales de innovación en el caso de las economías emergentes. En este análisis se hace uso del concepto de fallos de sistema para explicar por qué algunos sistemas regionales de innovación en las economías emergentes son menos competitivos y menos innovadores. Para desarrollar el modelado de estos sistemas, se hace uso de los métodos que se derivan de la dinámica de sistemas como una forma adecuada de abordar el conocimiento de los sistemas complejos. Estos métodos brindan la oportunidad de modelar procesos no lineales, rezagos en el tiempo, racionalidad limitada, entre otros. De esta forma, el uso de la dinámica de sistemas permite modelar sistemas regionales de innovación y evaluar escenarios alternativos con relación a las políticas de ciencia, tecnología e innovación.

Palabras clave: sistemas regionales de innovación; políticas de ciencia, tecnología e innovación; dinámica de sistemas; modelado; simulación de escenarios.

¹ Una primera versión de este trabajo fue presentada en European Forum for Studies of Policies for Research and Innovation (Eu-SPRI) Annual Conference 2017, organizado por Austrian Institute of Technology (AIT). Viena, Austria.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de la dinámica de sistemas en economía y ciencias de la gestión se ha convertido hoy en día en un instrumento apropiado para evaluar y desarrollar nuevos avances teóricos (McCarthy, 2003; McCarthy et al., 2010). En el caso de los sistemas regionales de innovación, el uso de la dinámica de sistemas permite conocer la naturaleza de los fallos de sistema (Woolthuis et al., 2005). En la práctica, estos fallos pueden hacer más lento o incluso bloquear el desarrollo de los procesos de transferencia de tecnología, así como los procesos de desarrollos innovadores (Dangelico et al., 2008; López y Ortega, 2013; Rodríguez & Gómez, 2012; Rodríguez & Navarro-Chávez, 2015; Rodríguez et al., 2014). De esta forma, es deseable contar con un enfoque metodológico que permita evaluar escenarios alternativos con relación a la implementación de las políticas de ciencia, tecnología e innovación. La dinámica de sistemas ofrece esta posibilidad, ya que permite incluir como parte de un mismo análisis rezagos en el tiempo, no linealidades y racionalidad limitada entre los actores que conforman los sistemas de innovación. Adicionalmente, este enfoque muestra cómo los actores pueden conformar un sistema de innovación, las interrelaciones que se establecen entre ellos y la estructura de dicho sistema. Por consiguiente, una característica importante de la dinámica de sistemas es que revela cómo la estructura de un sistema determina el comportamiento de dicho sistema.

Para efectos de esta investigación, estos principios significan que la presencia o no de algunos actores (v.g. empresas innovadoras, universidades, agencias gubernamentales, etc.) en un sistema (regional) de innovación, así como las interrelaciones que se establecen entre ellos son importantes para explicar el comportamiento y la dinámica de todo el sistema (v.g. tasa de generación de conocimiento y nuevas tecnologías, capacidad de absorción de nuevo conocimiento por las empresas, desarrollo de capacidades innovadoras por algunos actores que conforman estos sistemas de innovación, etc.). En este sentido, este trabajo muestra y sintetiza algunos resultados ya discutidos en literatura especializada sobre este tema (Dangelico et al., 2010; Rodríguez & Gómez, 2012; Rodríguez & Navarro-Chávez, 2015; Rodríguez et al., 2014; Samara et al., 2012). De esta forma, el objetivo en este trabajo es mostrar la posibilidad de modelar y simular algunos escenarios alternativos con relación a las políticas regionales de ciencia, tecnología e innovación.

Además de esta introducción, el trabajo se organiza en cinco secciones. La sección dos hace una revisión de la literatura con relación al surgimiento de los sistemas de innovación como un enfoque teórico que permite conocer el cambio tecnológico y el desarrollo económico. La sección tres discute algunos principios básicos que se establecen dentro del enfoque de la dinámica de sistemas. La sección cuatro señala algunas ideas teóricas con relación a los sistemas regionales de innovación. La sección cinco muestra el caso particular del sistema regional de innovación para el caso de Michoacán en México. Finalmente, la sección seis presenta algunas conclusiones.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

El concepto de sistemas de innovación surge como una herramienta útil para analizar el desarrollo tecnológico e innovador de un país, una región o un sector tecnológico (Freeman, 1987; Lundvall, 1992; Nelson, 1993). Desde sus inicios, este concepto fue adquiriendo mayor importancia debido a tres causas principales (OCDE, 1997). Primero, se ha observado que en las economías modernas, cada vez es más importante el proceso de generación de conocimiento como un factor de desarrollo

económico. Segundo, el enfoque teórico de los sistemas de innovación permite incluir dentro de un mismo análisis a todos los actores e instituciones que impulsan el desarrollo económico y tecnológico. Tercero, cada vez es más importante el número de actores, instituciones y agencias gubernamentales que participan en los procesos de generación de conocimiento, transferencia de tecnología y desarrollos innovadores.

A nivel regional, el concepto de sistemas de innovación es relativamente nuevo. Este enfoque teórico sugiere que las políticas regionales de ciencia, tecnología e innovación son la base para impulsar la competitividad de las empresas en los diferentes mercados (v.g. regionales o nacionales) (Cooke, 2001; Cook & Memedovic, 2003; Porter, 1990, 1998). De esta forma, Niosi (2000) discute cómo los sistemas regionales de innovación pueden ser un enfoque teórico adecuado para estudiar el desarrollo económico y la competitividad de las empresas a nivel regional a partir dos rasgos distintivos. Primero, los sistemas regionales de innovación deben entenderse como una combinación de políticas públicas que buscan fomentar y fortalecer el desarrollo de la ciencia y la tecnología con aplicaciones muy concretas que permitan estimular regionalmente el desarrollo de los procesos de innovación. Segundo, la dinámica de estos sistemas pueden visualizarse como un proceso de desarrollo espontáneo de competencias entre los actores que participan y los conforman, como son por ejemplo las empresas que se establecen en estas regiones. Desde la aparición de la economía del conocimiento, el enfoque de los sistemas regionales de innovación ha ido ganado mayor interés e importancia en el análisis del cambio tecnológico al ser capaz de explicar como parte de un mismo análisis la importancia que tienen los diferentes actores e instituciones, la infraestructura científica y tecnológica, así como la mano de obra altamente calificada para el desarrollo de nuevas tecnologías y su impacto en el desarrollo económico regional (Cooke, 2001; Cook & Memedovic, 2003; Niosi 2008). Más aún, el enfoque de los sistemas regionales de innovación podría ser visto como un enfoque teórico adecuado describe el comportamiento de los actores, las instituciones y los vínculos que se establecen a fin de desarrollar de manera exitosa los procesos de transferencia de tecnología. Es importante señalar que el enfoque de los sistemas regionales de innovación ha contribuido de manera importante en el avance de una cultura emprendedora entre académicos, empresarios y otros agentes gubernamentales encargados de fomentar el desarrollo de la ciencia, la tecnología y las innovaciones.

En este sentido, los sistemas regionales de innovación deben entenderse como un conjunto de instituciones (v.g. empresas, universidades, centros de investigación e instituciones de educación superior, así como agencias federales y estatales encargadas de fomentar y desarrollar la ciencia, la tecnología y las innovaciones) y vínculos que se establecen entre ellas con el fin de producir, difundir y adaptar regionalmente nuevos conocimientos y capacidades innovadoras para incrementar la competitividad de las empresas (Niosi, 2002). De hecho, estos vínculos son los flujos e intercambio de información, conocimiento, etc. que surgen entre las universidades, las organizaciones gubernamentales y las empresas privadas, así como los flujos de capital humano, así como otras las reglamentaciones que emanan de algunas agencias gubernamentales que buscan fomentar y desarrollar las capacidades innovadoras a nivel regional (Niosi, 2002).

En el caso de las economías emergentes, no es sólo la creación de nuevos conocimientos lo que define a un sistema regional de innovación, sino también la aptitud para absorber y transferir estos conocimientos con el fin de generar y desarrollar los procesos innovadores (Feria y Hidalgo, 2011). En síntesis, el enfoque de los sistemas regionales de innovación es una herramienta importante y útil que permite analizar el desarrollo económico e innovador a nivel regional, así como las

estructuras económicas que caracterizan a estas regiones y que se encuentran conformadas por sólo unos pocos sectores (v.g. empresas) que son realmente innovadores (Niosi, 2008).

Desde otra perspectiva, es importante señalar la importancia que tiene el favorecer un enfoque sistémico en el análisis de los sistemas regionales de innovación. En este sentido, Viale y Pozzali (2010) dos razones importantes. Primero, cada sistema regional de innovación tiene sus propias características que lo hacen diferente a cualquier otro sistema regional de innovación. Segundo, es importante conocer la configuración de cada uno de estos sistemas a fin de determinar su dinámica y probable evolución en el tiempo. De esta forma, se puede decir que los sistemas regionales de innovación están conformados por múltiples dimensiones (variables) y cada una de estas variables está asociada de manera particular a una tasa y dirección de cambio en el tiempo, pero que sin embargo se encuentran íntimamente interconectadas para producir otros patrones de cambio inesperados propios para cada sistema (McCarthy et al., 2010). Este principio clarifica cómo en cada uno de los sistemas regionales de innovación se genera un cambio tecnológico propio a una tasa de velocidad y aceleración específicas que las hace diferentes a las que se generan en otros sistemas.

3. DINÁMICA DE SISTEMAS

Muchos académicos hoy en día sugieren que la complejidad es un rasgo que caracteriza a muchos fenómenos económicos y sociales, y que permite incorporar en un análisis sistémico a toda una serie de circuitos de retroalimentación y balance que hace que los métodos experimentales tradicionales no sean adecuados al ser menos flexibles (Cloutier & Rowley, 2000; Forrester, 1975). En contraste con otros enfoques metodológicos, los métodos que se derivan de la dinámica de sistemas permiten identificar la estructura subyacente que caracteriza a un sistema social y de esta forma explicar cómo estos sistemas se encuentran sujetos a toda una serie de cambios acelerados (Sterman, 2000).

Básicamente, los modelos que se constituyen haciendo uso de la dinámica de sistemas se componen de cuatro elementos básicos (Forrester, 1975; Sterman, 2000):

1. Están compuestos de un conjunto de circuitos de retroalimentación y balance.
2. El modelado se desarrolla a partir de una estructura de stocks y flujos.
3. Estos modelos se caracterizan por incluir retrasos en el tiempo.
4. El modelado permite incluir no linealidades como una característica básica de su complejidad.

De esta forma, la estructura de un modelo que se construye a partir de la dinámica de sistemas está conformada por un conjunto interconectado de variables de nivel y tasas de cambio. Las variables de nivel son cantidades medibles de los recursos de que dispone un sistema en un momento dado, mientras que las tasas de cambio representan la velocidad a la cual esos recursos (representados por los stocks o variables de nivel) cambian constantemente en el tiempo (tasas de cambio) (Wolstenholme, 1993). En la práctica, el comportamiento de estos modelos se estima utilizando un conjunto de ecuaciones diferenciales de primer orden. De esta forma, los modelos de simulación que se construyen haciendo uso de la dinámica de sistemas pueden contribuir de manera importante a desarrollar explicaciones teóricas en las ciencias sociales (Cloutier & Rowley, 2000; McCarthy,

2003). De esta forma, estos modelos pueden evaluarse a través de escenarios teóricos alternativos, contribuyendo al desarrollo de la teoría cuando estos fenómenos involucran procesos múltiples que interactúan constantemente entre sí, incluir retrasos en el tiempo y otros efectos no lineales (Davis et al., 2007). El modelado de los sistemas complejos a través de los métodos que ofrece la dinámica de sistemas permite analizar fenómenos sociales y económicos como sistemas dinámicos. Los sistemas dinámicos presentan tres características importantes (McCarthy, 2003):

1. Los sistemas complejos están compuestos de un gran número de elementos.
2. Estos sistemas muestran un gran número de interacciones altamente significativas.
3. Sus elementos e interacciones pueden organizarse como parte de un mismo sistema.

Se puede decir que el modelado de los sistemas complejos haciendo uso de la dinámica de sistemas contribuye a desarrollar nuevas teorías en las ciencias sociales. Este enfoque permite subrayar la importancia que tiene la estructura de un sistema y cómo ésta puede influir de manera significativa en el comportamiento y la dinámica de dicho sistema (Davis et al., 2007; Morecroft, 2007; Sterman, 2000; Schwaninger & Grösser, 2008).

4. SISTEMAS REGIONALES DE INNOVACIÓN

Recientemente, algunos académicos han puesto gran interés en el estudio del cambio tecnológico y crecimiento económico desde la perspectiva de la teoría de los sistemas de innovación, tanto a nivel nacional, regional, local y sectorial/tecnológico (Doloreux & Parto, 2004; Freeman, 1987; Lundvall, 1992; Nelson, 1993; Viotti, 2002). En el caso de las economías emergentes, se ha puesto especial énfasis en analizar los sistemas de innovación con relación al desarrollo de sus capacidades de aprendizaje (Viotti, 2002). Estos análisis se basan en dos hipótesis importantes (Smith, 2000):

1. Los procesos de innovación son un fenómeno sistémico.
2. Los procesos de innovación se encuentran presentes en todas las actividades (*pervasive*) que llevan a cabo las firmas.

Desde esta perspectiva, los procesos de innovación se pueden entender como un fenómeno no lineal en donde pueden aparecer algunas fallas sistémicas (o fallos de sistema). Estas fallas de sistema se pueden entender como "imperfecciones sistémicas que pueden frenar o incluso bloquear el aprendizaje interactivo y los procesos de innovación dentro de un sistema de innovación particular" (Woolthuis et al., 2005).

En el caso de los sistemas regionales de innovación, éstos surgen como un marco teórico adecuado para analizar el crecimiento y el desarrollo económico a nivel regional (Cooke, 1992, Cooke et al., 1997), pudiéndose analizar a estos sistemas como una forma de los sistemas complejos adaptativos (Viale & Pozzali, 2010). Por ejemplo, la generación y el uso del conocimiento es una variable importante que explica el movimiento de todo un sistema en particular a partir de los actores, la estructura y las interacciones que lo conforman, y generando conocimientos que coadyuvan al desarrollo de los procesos de innovación (Rodríguez & Gómez, 2014). De igual forma, los sistemas regionales de innovación han proporcionado un marco conceptual adecuado para integrar en un mismo análisis las instituciones y los actores que contribuyen al desarrollo económico regional (Edquist, 1997). El enfoque de los sistemas regionales de innovación sugiere entonces que la

promoción de los procesos de innovación a nivel regional son la base para mejorar la competitividad de una economía nacional a través de aquellos sectores que son realmente innovadores (Cook & Memedovic, 2003; Niosi, 2008).

En el caso de las economías emergentes, es importante saber cómo emergen y evolucionan los sistemas regionales de innovación para dar soporte al desarrollo económico regional a través de impulsar las actividades innovadoras en las empresas locales (Chaminade & Vang, 2008). El enfoque de los sistemas regionales de innovación permite explicar cómo las interacciones (aprendizaje) entre los diferentes actores que conforman a un mismo sistema pueden generar un mayor desarrollo tecnológico, así como un mayor desarrollo de capacidades innovadoras entre las empresas locales (Chaminade & Vang, 2008). En este sentido, el diseño de una política regional de ciencia, tecnología e innovación debería ser capaz de contribuir al desarrollo de los sistemas regionales de innovación, ya que en estas economías estos sistemas se caracterizan por ser altamente inmaduros (Chaminade y Vang, 2008).

Cabe mencionar que, en contraste con el concepto neoclásico de fallo del mercado, el concepto de fallo de sistema surge como una nueva racionalidad que permite analizar las políticas de ciencia, tecnología e innovación en el caso de los sistemas (regionales) de innovación (Wieczorek & Hekkert, 2012). El concepto de fallo de sistema permite investigar las causas de la baja actividad innovadora a diferentes niveles de análisis, asumiendo que los procesos de innovación son un fenómeno complejo. Es importante mencionar que desde la perspectiva de los sistemas de innovación y, por ende, de los fallos de sistema, los procesos de innovación se determinan endógenamente.

Los fallos de sistema en los sistemas regionales de innovación en las economías emergentes pueden surgir a partir del intento por alcanzar a los sectores y países tecnológicamente más avanzados (Chaminade et al., 2012). Este enfoque permite entender a los procesos de innovación no solamente en términos de una toma de decisiones independientes a nivel de las firmas, sino también a partir de la existencia de interacciones complejas entre las empresas y su entorno competitivo (v.g. clientes y proveedores, contexto social y cultural, marco institucional y organizacional, entre otros). De esta forma, las condiciones que caracterizan a un sistema regional de innovación (estructura) influyen de manera fundamental en las decisiones que pueden tomar las firmas con el fin de desarrollar procesos de innovación (innovación como un fenómeno sistémico) (Smith, 2000). En las economías emergentes, los fallos de sistema que pueden aparecer son los siguientes (Tödting y Trippel, 2005):

1. Existen organizaciones e instituciones que no son adecuadas para la generación y difusión del conocimiento.
2. Existen interacciones y vínculos que no son adecuados (o inexistentes) entre los actores e instituciones implicados en los procesos de transferencia de tecnología y desarrollos de innovaciones.
3. Existen redes que no son adecuadas para el desarrollo de innovaciones.

En síntesis, el enfoque sistémico para el estudio de los sistemas regionales de innovación, los métodos que se derivan de la dinámica de sistemas y el concepto de fallos de sistema permiten contar con un marco teórico adecuado para estudiar y analizar los procesos de transferencia de tecnología y conocimientos, así como los procesos de desarrollo de nuevas tecnologías e

innovaciones, y con ello el diseño de políticas de ciencia, tecnología e innovación adecuadas que impulse y promueva estos procesos.

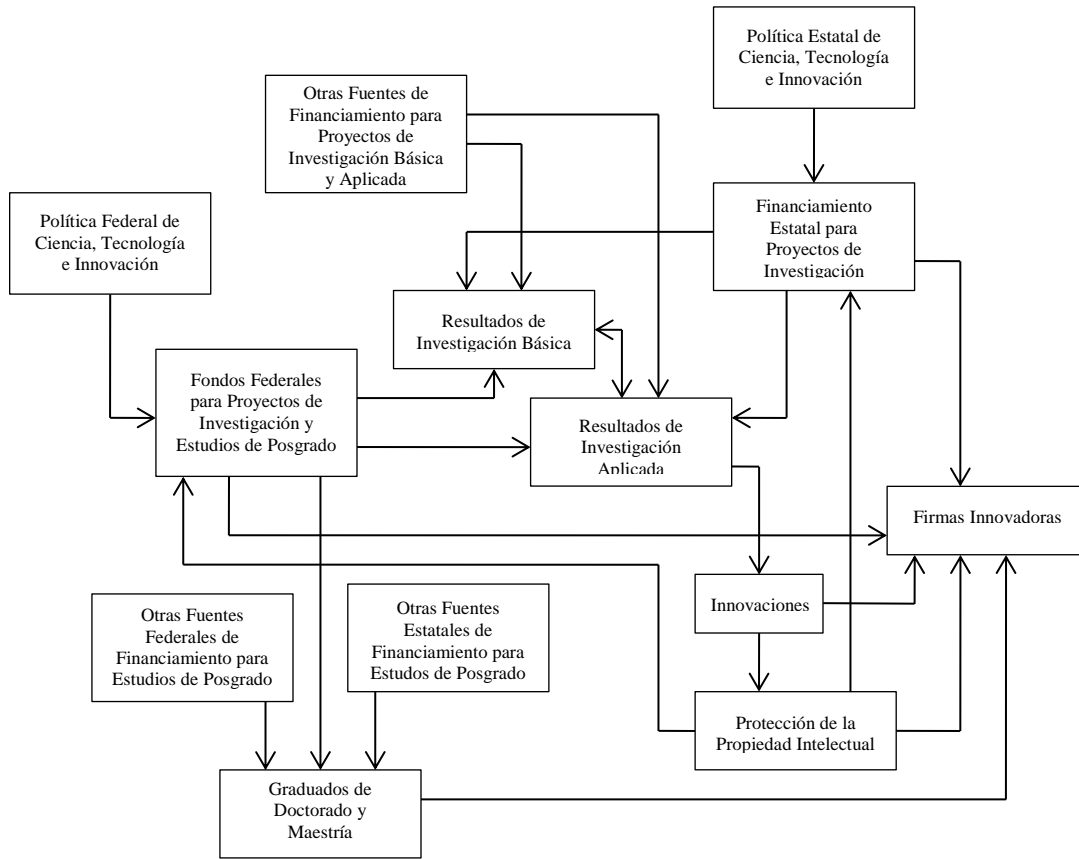
5. EL CASO DEL ESTADO DE MICHOACÁN

Para entender la dinámica de un sistema de innovación, es importante comprender las interacciones entre los actores y las instituciones que conforman a estos sistemas (Lee & von Tunzelmann, 2005). El objetivo es contar con un marco analítico adecuado que establezca una metodología apropiada para investigar las interacciones que se establecen entre los componentes estructurales (v.g. actores, redes, instituciones, etc.) y las funciones de un sistema de innovación (v.g. desarrollo del conocimiento, movilización de recursos, etc.) (Bergek et al. 2008, Kastelle et al., 2009). A nivel regional, los sistemas de innovación deben incluir a todos los actores e instituciones establecidos, responsables o relacionados para mejorar los proceso de innovación (v.g. empresas innovadoras, universidades y agencias gubernamentales, entre otros), encargadas de diseñar las políticas de ciencia, tecnología e innovación, y que puedan producir, difundir y adaptar regionalmente nuevos conocimientos y tecnologías para mejorar las capacidades innovadoras de las empresas y su competitividad en los mercados (Edquist, 1997).

Las universidades y los centros públicos de investigación son un actor importante en el desarrollo de los sistemas regionales de innovación. El reconocimiento e importancia económica del conocimiento, así como el creciente número de instituciones que participan en la generación y transferencia de conocimiento a nivel regional han favorecido el enfoque de los sistemas regionales de innovación para estudiar el cambio tecnológico y los procesos de innovación a nivel regional (OCDE, 1997). Las universidades y los centros públicos de investigación desempeñan un papel clave en la generación y transferencia de conocimientos a las empresas. Los roles que desempeñan las universidades y los centros públicos de investigación al transferir conocimientos se llevan a cabo a partir de las siguientes actividades (Branscomb et al., 1999; Etzkowitz, 1990; Etzkowitz et al., 1998): (i) la formación de personal calificado, (ii) el desarrollo y avance de conocimientos científicos y tecnológicos, y (iii) el desarrollo de universidades emprendedoras. Estas actividades se pueden realizar a través de cuatro vías (Etzkowitz et al., 1998): (i) la creación de nuevas industrias que promuevan la generación de nuevos negocios empresariales (emprendimiento), así como la difusión de nuevas tecnologías (*spin-offs*), (ii) la asistencia técnica para el desarrollo estratégico regional, (iii) el establecimiento de puentes entre actores desconectados dentro de un mismo sistema regional de innovación y (iv) la consultoría y la investigación aplicada para la resolución de problemas específicos.

El gobierno federal y los gobiernos estatales son los encargados de diseñar e implementar las políticas de ciencia, tecnología e innovación a fin de promover la generación y la transferencia de conocimiento, así como el desarrollo de nuevas tecnologías para la innovación. El papel de estos gobiernos es estimular el desarrollo de nuevos mercados, proporcionar infraestructura y educación adecuada para impulsar las actividades de generación de conocimiento y el desarrollo de innovaciones a través de incentivar a las empresas innovadoras para invertir en desarrollo e investigación (Johnson, 2001). Los gobiernos apoyan las actividades innovadoras de acuerdo a un paradigma específico en relación a las políticas de ciencia, tecnología e innovación (Bozeman, 2000): (i) el paradigma neoclásico de los fallos de mercado, (ii) el paradigma misión para el desarrollo tecnológico y (iii) el paradigma cooperativista para el desarrollo tecnológico.

Figura 1. Un sistema regional de innovación en México: el caso del estado de Michoacán



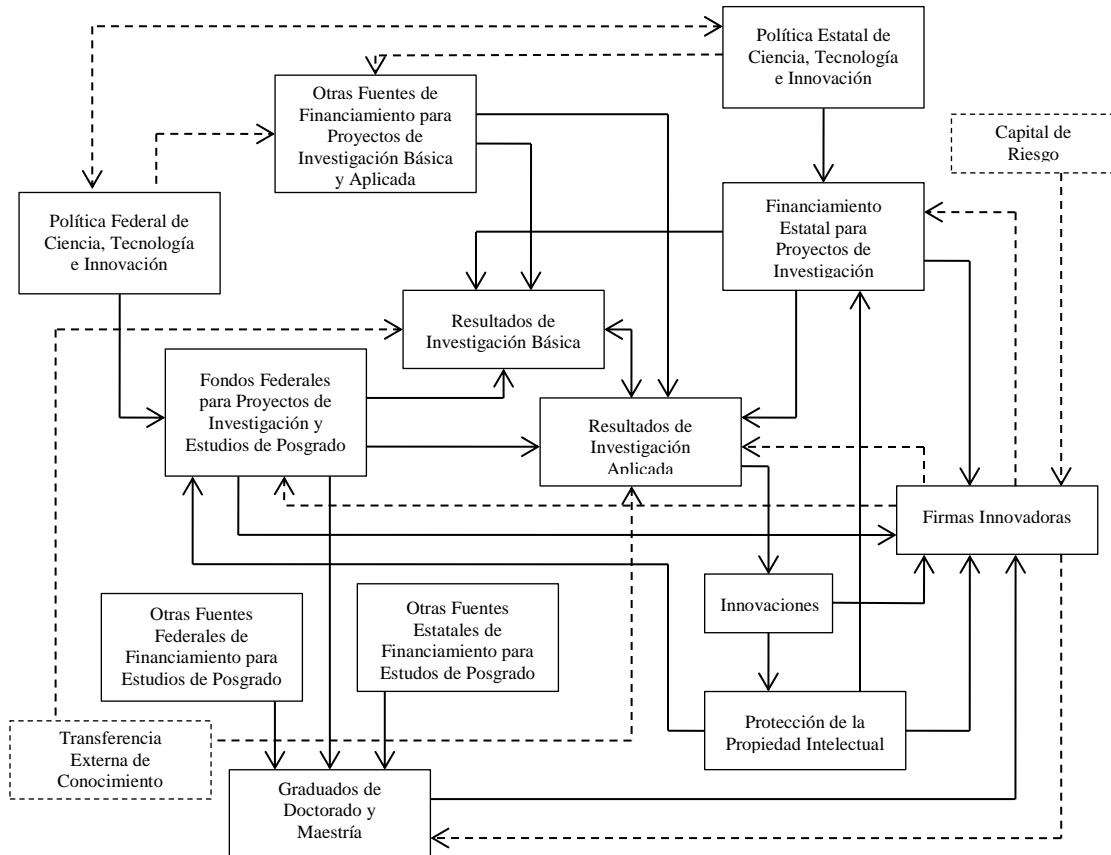
Fuente: Rodríguez et al. (2014).

Las firmas innovadoras se diferencian del resto de otras empresas porque sus recursos son su principal fuente para alcanzar un alto desempeño (Barney, 1991; Barney et al., 2001). Desde la perspectiva de *Resourced-Based View*, existen cuatro categorías de recursos necesarios que facilitan la generación y transferencia de conocimientos y nuevas tecnología (Barney, 1991; Brush et al., 2001): (i) los recursos tecnológicos (v.g. productos y tecnologías específicos de la empresa, grado de innovación, etc.), (ii) los recursos sociales (v.g. relaciones de las empresas con el resto de la industria y otros actores, contactos financieros, etc.), (iii) los recursos humanos (v.g. atributos del equipo fundador y directivo, capacidades y habilidades del personal de la empresa, etc.), y los recursos financieros (v.g. importe y tipo de financiación de las empresas, etc.). Esta perspectiva provee una visión valiosa que permite entender los procesos y la velocidad del cambio tecnológico en los procesos de transferencia de tecnología.

Estos elementos permiten discutir un modelo de un sistema regional de innovación para el caso de Michoacán en México. Se entiende que en este país cada estado es capaz de diseñar sus propias políticas de ciencia, tecnología e innovación y, por tanto, es posible realizar un análisis desde esta perspectiva teórica. La Figura 1 tomada de Rodríguez et al. (2014) muestra a los principales actores y sus interrelaciones que se establecen entre ellos en lo que podríamos llamar un sistema regional de innovación del estado de Michoacán. Cabe mencionar que Rodríguez y Gómez (2012),

Rodríguez et al. (2014) y Rodríguez y Navarro-Chávez (2015) desarrollan y discuten un modelo de simulación haciendo uso de los métodos que se derivan de la dinámica de sistemas. En este trabajo, sólo se muestran los actores y los lazos que se establecen en este sistema de innovación a nivel estatal, revelando la complejidad de dicho sistema. Igualmente, cabe mencionar que en este caso es a partir de las variables exógenas de política que se puede intervenir en el comportamiento de todo el sistema regional de innovación. Como es de esperarse, la dinámica de este sistema se determina a partir de su estructura.

Figura 2. Un sistema regional de innovación en prospectiva: el caso del estado de Michoacán



Fuente: Rodríguez et al. (2014).

Por otra parte, la Figura 2 muestra un sistema regional de innovación para el caso de Michoacán cuando se incluyen otras variables exógenas (v.g. transferencia externa de conocimiento y posibilidad de contar con un mercado de capitales de riesgo). Es importante mencionar que la inclusión de estas dos variables genera un sistema más complejo en términos de nuevas interconexiones (líneas punteadas) que se establecen. La inclusión de estas nuevas variables y nuevas interconexiones pueden interpretarse desde la perspectiva de los fallos de sistema que limitan o bloquean el desarrollo de los procesos de innovación en una economía regional. En este sentido, la dinámica de este sistema es más compleja y es conveniente realizar la simulación y evaluación de algunos escenarios alternativos para medir la viabilidad de algunas políticas alternativas de ciencia, tecnología e innovación.

6. CONCLUSIONES

Este trabajo muestra la posibilidad de modelar los sistemas regionales de innovación en el caso de las economías emergentes. Para llevar a cabo este modelado, se puede hacer uso de los métodos que se derivan de la dinámica de sistemas. El ejemplo que se presenta en este caso es el sistema regional de innovación del estado de Michoacán en México. Un aspecto importante para considerar en este trabajo es que los sistemas regionales de innovación en las economías emergentes se caracterizan por ser altamente inmaduros y mostrar algunos fallos de sistema. De esta manera, los fallos de sistema pueden hacer más lento o incluso bloquear el desarrollo y la transferencia del conocimiento y nuevas tecnologías, así como el desarrollo de los procesos de innovación a nivel regional.

REFERENCIAS

- Barney, J. B. (1991). Firms resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99-120.
- Barney, J. B., Wright, M., & Ketchen, D. (2001). The resource based view: 10 years after 1991. *Journal of Management*, 27(6), 625-642.
- Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S., & Rickne, A. (2008). Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: a scheme of analysis. *Research Policy*, 37(3), 407-429.
- Bozeman, B. (2000). Technology transfer and public policy: a review of research and theory. *Research Policy*, 29(4-5), 627-655.
- Branscomb, L. M., Kodama, F., & Florida, R. (1999). *Industrialization Knowledge*, Boston: The MIT Press.
- Brush, C. G., Green, P. G., & Hart, M. M. (2001). From initial idea to unique advantage: the entrepreneurial challenge of constructing a resource base. *Academy of Management Executive*, 15(1), 64-80.
- Chaminade, C., & Vang, J. (2008). Globalisation of knowledge production and regional innovation policy: supporting specialized hubs in developing countries. *Research Policy*, 37(10), 1684-1696.
- Chaminade, C., Intarakumnerd, P., & Sappasert, K. (2012). Measuring systemic problems in national innovation systems: an application to Thailand. *Research Policy*, 41(8), 1476-1488.
- Cloutier, L. M., & Rowley, R. (2000). The Emergence of Simulation in Economic Theorizing and Challenges to Methodological Standards. Working Paper. Centre de Recherche en Gestion, UQÀM.
- Cook, P., & Memedovic, O. (2003). Strategies for Regional Innovation Systems: Learning Transfer and Applications. Policy Papers. United Nations Industrial Development Organization.
- Cooke, P. (1992). Regional innovation systems: competitive regulation in the new Europe. *Geoforum*, 23(3), 365-382.
- Cooke, P. (2001). Regional innovation systems, clusters, and the knowledge economy. *Industrial and Corporate Change*, 10(4), 945-974.
- Cooke, P., Gómez Uranga, M., & Etzebarria, G. (1997). Regional innovation systems: institutional and organizational dimensions. *Research Policy*, 26(4), 475-491.
- Dangelico, R. M., Garavelli, A. C., & Petruzzelli, A. M. (2008). Knowledge creation and transfer in local and global technology networks: a system dynamics perspective. *International Journal of Globalisation and Small Business*, 2(3), 300-324.
- Dangelico, R. M., Garavelli, A. C., & Petruzzelli, A. M. (2010). A system dynamics model to analyze technology districts' evolution in a knowledge-based perspective. *Technovation*, 30(2), 142-153.
- Davis, J. P., Eisenhardt, K. M., & Bingham, C. B. (2007). Developing theory through simulation methods. *Academy of Management Review*, 32(2), 480-499.

- Doloreux, D., & Parto, S. (2004). *Regional Innovation Systems: A Critical Synthesis*. Discussion Paper Series. United Nations University.
- Edquist, C. (1997). Systems of innovation approaches: their emergence and characteristics. En C. Edquist (Ed.), *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*. London: Pinter/Cassell.
- Etzkowitz, H. (1990). The second academic revolution: the role of the research university in economic development. En S. E. Cozzens, P. Healey, A. Rip & J. Ziman, (Eds.), *The Research System in Transition*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- Etzkowitz, H., Webster, A., & Healey, P. (1998). *Capitalizing Knowledge: New Intersections of Industry and Academia*. Albany: State University of New York Press.
- Feria, V., & Hidalgo, A. (2011). Towards a Transfer Model of Scientific and Technological Knowledge: The Case of Mexico. Proceedings of the 20th IAMOT Conference. Miami.
- Forrester, J. W. (1975). A national model for understanding social and economic change. *Simulation*, 24, 4-5.
- Freeman, C. (1987). *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*. London: Frances Pinter.
- Johnson, A. (2001). Functions in Innovation System Approaches. DRUID Nelson-Winter Conference, Aalborg.
- Kastelle, T., Potts, J., & Dodgson, M. (2009). The Evolution of Innovation Systems. Proceedings of the DRUID Summer Conference. Copenhagen.
- Lee, T. L., & von Tunzelmann, N. (2005). A dynamic analytic approach to national innovation systems: the IC industry in Taiwan. *Research Policy*, 34(4), 425-440.
- López y Ortega, E. M. (2013). *Estructura y Dinámica de la Competitividad Sustentada en la Innovación en un Sistema de Producción Regional*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lundvall, B. (1992). *National Systems of Innovation: Towards a Theorem of Innovation and Interactive Learning*. London: Frances Pinter.
- McCarthy, I. P. (2003). Technology management: a complex adaptive system approach. *International Journal of Technology Management*, 25(8), 728-745.
- McCarthy, I. P., Lawrence, T. B., Wixted, B., & Gordon, B. R. (2010). A multidimensional conceptualization of environmental velocity. *Academy of Management Review*, 35(4), 604-626.
- Morecroft, J. (2007). *Strategic Modelling and Business Dynamics*. West Sussex: Wiley.
- Nelson, R. R. (1993). *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*. Oxford: Oxford University Press.
- Niosi, J. (2000). Regional systems of innovation: market pull and government push. En J. A. Holbrook & D. Wolfe (Eds.), *Knowledge, Clusters and Regional Innovation*. Kingston: McGill/Queen's University Press.
- Niosi, J. (2002). National systems of innovation are 'x-efficient' (and x-effective): why some are slow learners. *Research Policy*, 31(2), 291-302.
- Niosi, J. (2008). Technology, development and innovation systems: an introduction. *Journal of Development Studies*, 44(5), 613-621.
- OECD (1997). *National Innovation Systems*, Paris: OECD.
- Porter, M. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*. New York: The Free Press.
- Porter, M. (1998). *On Competition*. Boston: Harvard Business School Press.
- Rodríguez, J. C., & Gómez, M. (2012). Anchor tenants, technology transfer and regional innovation systems in emerging economies: a system dynamics approach. *International Journal of Transitions and Innovation Systems*, 2(1), 14-37.
- Rodríguez, J. C., & Navarro-Chávez, C. L. (2015). A system dynamics model of science, technology and innovation policy to sustain regional innovation systems in emerging economies. *International Journal of Innovation and Regional Development*, 6(1), 7-30.
- Rodríguez, J. C., Navarro-Chávez, C. L., & Gómez, M. (2014). Regional innovation systems in emerging economies: evidence of system failures for innovation. *International Journal of Innovation and Regional Development*, 5(4/5), 384-404.

- Samara, E., Georgiadis, P., & Bakouros, I. (2012). The impact of innovation policies on the performance of national innovation systems: a system dynamics analysis. *Technovation*, 32(11), 624-638.
- Schwaninger, M., & Grösser, S. (2008). System dynamics as model-based theory building. *Systems Research and Behavioral Sciences*, 25(4), 447-465.
- Smith, K. (2000). Innovation as a systemic phenomenon: rethinking the role of policy. *Enterprise & Innovation Management Studies*, 1(1), 73-102.
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston: McGraw-Hill/Irwin.
- Tödting, F., & Tripl, M. (2005). One size fits all? Towards a differentiated regional innovation policy approach. *Research Policy*, 34(8), 1203-1219.
- Viale, R., & Pozzali, A. (2010). Complex adaptive systems and the evolutionary triple helix. *Critical Sociology*, 36(4), 575-594.
- Viotti, E. B. (2002). National learning systems: a new approach on technology change in late industrializing economies and evidences from the cases of Brazil and South Korea. *Technology Forecasting and Social Change*, 69(7), 653-680.
- Wieczorek, A. J., & Hekkert, M. P. (2012). Systemic instruments for systemic innovation problems: a framework for policy makers and innovation scholars. *Science and Public Policy*, 39(1), 74-87.
- Wolstenholme, E. F. (1993). *The Evolution of Management Information Systems: A Dynamic and Holistic Approach*. Toronto: Wiley Sons.
- Woolthuis, R. K., Lankhuizen, M., & Gilsing, V. (2005). A system failure framework for innovation policy design. *Technovation*, 25(6), 609-619.