

Modelo de simulación y análisis de redes en los sistemas regionales de innovación^δ

Simulation Modeling and Network Analysis in Regional Innovation Systems

Julián Alberto Uribe Gómez*
Santiago Quintero Ramírez**
Diana Patricia Giraldo Ramírez***



Tipo de artículo: resultado de investigación

Recibido: 11 de diciembre de 2015

Aceptado: 11 de abril de 2016

Resumen

La innovación y sus sistemas de conocimiento, son un fenómeno complejo, donde éstos en forma general interactúan mediante agentes para crear el Sistema Regional de Innovación, los cuales resultan ser las organizaciones que producen y transforman el conocimiento en una región, sin embargo, por su característica compleja, los agentes y los sistemas pueden ser también clasificados en económicos, sociales, públicos y privados. En vista de que estos agentes interactúan de forma diversa, continua y cooperativa, se hace necesario como objetivo principal construir un marco analítico apropiado para estudiar este fenómeno mediante el análisis de su evolución e interacción, por medio de la metodología de modelación y simulación como herramienta de análisis para estudiar cuales serían las estructuras y las dinámicas con base a su producción de conocimiento e innovación. En general, las estructuras y las dinámicas se estudiarán mediante el análisis de redes, por lo tanto, los indicadores principales para abordar dicho fenómeno serán: el índice de clusterización y los vínculos formados en la red. Principalmente el índice de clusterización muestra como las redes de conocimiento interactúan en un ambiente de innovación, presentando así que a mayor índice de clusterización habrá mayor intercambio de innovación y conocimiento en una región.

Palabras clave: agentes; innovación; interacción; sistema; simulación

Abstract

Innovation and its knowledge systems are complex phenomena. They generally interact through agents to create the Regional Innovation System, which consists of the organizations producing and transforming knowledge in a given region. Nevertheless, given their complex nature, agents and systems could also be classified as economic, social, public and private. Since such agents interact diversely, continuously and cooperatively, the main purpose is to build an appropriate analytic framework to study such phenomenon. Its evolution and interaction will be analyzed by means of modeling and simulation methodologies, used as analytic tools to study their structures and dynamics, based on their production of knowledge and innovation. In general, the structures and their dynamics will be studied through network analysis. Therefore the main indicators to approach such phenomenon will be: the clusterization index and the number of links formed within the network. Mainly, the clusterization index shows how knowledge networks interact in an innovation environment, where the higher the clusterization index, the higher the innovation and knowledge in a given region.

Keywords: agents; innovation; interaction; simulation; system

^δ Proyecto: Análisis de la estructura, relaciones y dinámicas de agentes de los sistemas regionales de innovación.

* Ingeniero Industrial, Especialista en estrategia gerencial y prospectiva. Docente Investigador. Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: julian.uribego@upb.edu.co.

**Ingeniero de Alimentos, Doctor en Industria y organizaciones, Magister en Gestión tecnológica, Especialista en gerencia de proyectos. Docente Investigador. Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: santiago.quintero@upb.edu.co.

*** Ingeniero Agroindustrial, Doctor en Ingeniería, Especialista en Gestión de la Innovación tecnológica. Docente Investigador. Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: dianap.giraldo@upb.edu.co

Introducción

La red de agentes que componen el Sistema Regional Innovación, SRI, es difusa cuando se trata de explicar su desarrollo, esto es debido principalmente a que se cuentan con elementos más teóricos que prácticos al explicar sus relaciones, por lo que se evidencia una baja operacionalización de los agentes y sus atributos, limitando la representación del sistema a un conjunto de entidades que realizan actividades en función de sus “propiedades, restricciones y capacidades”.

El SRI, al ser un fenómeno complejo donde interactúan numerosos agentes y el concepto asociado a la innovación resulta aún limitado para la comprensión de este sistema, se considera entonces que es necesario realizar una aproximación por medio de la simulación para entender de manera práctica como se presenta la interacción y la cooperación y como las diferentes acciones combinadas o patrones de los agentes producen sucesos innovadores de impacto regional.

Por lo tanto, este artículo propone un modelo que permite conocer las dinámicas de desempeño de los factores claves del SRI, que conduzcan a fenómenos emergentes, producto de la interacción entre agentes a través del análisis conceptual de la teoría de redes.

Para cumplir este objetivo, se busca abordar un conocimiento y caracterización de los SRI, identificando así los factores y las variables que generen fenómenos emergentes, con lo cual se desarrollará un modelo de simulación basado en agentes, que permitirá identificar las relaciones teorizadas en patrones de comportamiento prácticos, donde finalmente, con base en esto se estudiarán las políticas y estrategias que mejorarán el desempeño del sistema.

Metodología

El concepto del sistema regional de innovación, SRI, ha sido ampliamente discutido por varios

investigadores, una definición puede ser un sistema en el cual las empresas y otras organizaciones están sistemáticamente relacionadas en el aprendizaje interactivo a través de un medio institucional caracterizado por relaciones de confianza y duraderas (Cooke, 1998); se delimita por una región geográfica, política administrativa, económica y social, pero con influencia más allá de sus fronteras (Tripl, 2006).

Doloreux (2002) hace énfasis en los componentes y dinámicas que debe tener un SRI, así como, en la interacción entre diferentes actores, con el propósito de producir de manera colectiva activos basados en conocimiento, estos actores se desenvuelven en un ambiente definido geográficamente y se rigen por unas políticas comunes.

El concepto de SRI, no desconoce que existen los sistemas nacionales de innovación (Tödtling & Tripl, 2005), sin embargo se plantea que las políticas deben ser aplicadas a nivel de región por las siguientes razones: los patrones de especialización industrial, la influencia del conocimiento en el proceso de innovación y, el éxito de la innovación por el conocimiento tácito que se encuentran delimitados espacialmente, por esta razón no se puede medir de igual manera a cada región.

Dado que cada SRI requiere un análisis particular para su definición y caracterización, Tödtling & Tripl (2005) definen que un SRI está compuesto de dos actores: los explotadores que aplican y explotan el conocimiento, entre los que se encuentran: compañías, clientes, proveedores y competidores y, un segundo grupo de actores los define como exploradores, los cuales se encargan de producir y difundir conocimiento y habilidades, allí se encuentran agrupadas las instituciones de investigación y las instituciones educativas.

En los últimos años se han especializado más las funciones de los actores (Zollo *et al.*, 2011) y se dividen en cuatro tipos: exploradores, son aquellos que al margen del conocimiento producen nuevas ideas, nuevos métodos y nuevas técnicas; los

catalizadores, son quienes facilitan la transferencia, la adopción y utilización del conocimiento; los explotadores, que son el actor que transforma el conocimiento en valor de mercado, acá se encuentran agrupadas las empresas, especialmente las pequeñas y medianas empresas; existe un cuarto actor que es la agencia nacional de innovación, este juega el rol de gobierno y es el responsable de dar los lineamientos y coordinar la red de innovación.

Otro elemento que tiene en cuenta Todtling (2005) es que las políticas son parte del ambiente en el cual se desarrolla el SRI y no lo identifica como un actor. Por otra parte, se encuentra una diferencia con Zollo *et al.* (2012), dado que éste último no presenta la relación o influencia que se da por parte del SNI y otros organismos externos con el SRI.

Los SRI, también tienen en cuenta otras organizaciones externas al sistema, como lo son: el SNI, organizaciones internacionales y otros SRI. Sus relaciones trascienden las fronteras (Tripl, 2006) para obtener apoyos en conocimiento, económicos y de experticia de otros organismos que impactan la innovación y poder adaptar estos nuevos conocimientos a la región. De otra parte, los SRI hace aportes importantes a entidades, organizaciones y sistemas de carácter nacional e internacional; estos aportes pueden ser en nuevo conocimiento, productos de innovación y cambios en las políticas macros de innovación.

Composición, propiedades y mecanismos de los SRI

Los sistemas de innovación proveen una serie de reglas, convenciones y normas que prescriben los roles de comportamientos entre los agentes. Estas reglas se enmarcan en factores económicos o socio culturales que facilitan las interacciones para la transmisión e intercambio de información y conocimiento (Doloreux y Parto, 2005). La habilidad del sistema para generar, difundir e intercambiar información y conocimiento se puede evaluar mediante algunos indicadores, donde el más habitual es el indicador de patentes,

el cual revela el volumen y la dirección de las capacidades tecnológicas. Sin embargo, podría decirse que la mejor medida de innovación está dada por el número de innovaciones que han sido comercializadas (Buesa *et al.*, 2010), otro indicador está relacionado con el número de ingenieros y científicos activos en los campos del conocimiento (Carlsson *et al.*, 2002).

Según Lundvall destaca como propiedades básicas de un SRI las siguientes: la relación entre las empresas, la intensidad de la I+D, las organizaciones de I+D, entre otras. Doloreux (2002) por su parte, define que los mecanismos internos que componen un SRI pueden ser descritos como un proceso generador de aprendizaje y conocimiento entre agentes. Este proceso se puede entender como una red de conocimiento donde pueden interactuar empresas e instituciones. Lo anterior puede llevar a pensar que se puede aplicar un enfoque de análisis de redes sociales a los SRI, generando así tres medidas (Pyka y Scharnhorst, 2009): multiplexidad, valor del vínculo y grados de libertad.

Otros mecanismos incluyen la proximidad regional, según Pyka y Scharnhorst (2009) es un recurso que promueve la generación y difusión de conocimiento, al igual que un proceso de aprendizaje más rápido y una variable que incrementa la innovación.

Para entender el comportamiento de los SRI, se debe estudiar su concepto como red, por lo tanto, se define una red (*network*) como un arreglo de entidades que son llamados nodos con conexiones entre ellos llamados vértices (Newman, 2003), por lo tanto un sistema que toma esta forma puede ser llamado grafo en la literatura matemática y puede tomar distintas connotaciones, como redes sociales, redes de crédito, redes de amigos, redes genealógicas, redes económicas, redes de transmisión de enfermedades, etcétera (Epstein y Axtell, 1996).

Por lo tanto también se puede definir a una red como una conformación de nodos unidimensionales

vinculado con un número definido de vecinos, donde mientras mayor sea el número de conexiones más cohesionado se vuelve el sistema (Miller y Page, 2007).

El análisis de redes tiene propiedades para estudiar su comportamiento, estas son: el coeficiente de clusterización y los grados de distribución de la red, los cuales muestran qué tan conectada es la red de agentes en el SRI.

La clusterización en redes se define como la cantidad de tripletas conectadas a un solo vértice, es decir, un arreglo de tres nodos conectado con cada uno de los otros. La clusterización toma valores desde 0 hasta 1, ahora, el coeficiente de clusterización mide la densidad de triángulos en una red y se puede definir como el promedio de la clusterización de cada nodo de la red (Watts, Strogatz y Newman, (1998)

Otra propiedad para estudiar las redes consiste en estudiar los grados de distribución de la red, lo cual es describir en forma de histograma qué cantidad de vértices tienen los agentes del sistema, evidenciando su nivel de conectividad (Newman, 2003), es llamada también conectividad de la red y es medida generalmente por la densidad de los vínculos por nodo (Pyka y Scharnhorst, 2009).

Es importante anotar que el concepto de SRI propuesto por Asheim y Gertler (2005) presenta dos elementos centrales: 1) una red densa y fuerte de relaciones entre agentes autónomos y heterogéneos (subsistemas de actores “exploradores, explotadores, catalizadores y reguladores del conocimiento”) y 2) un nivel de competitividad atribuida a la coevolución de la organización productiva y a la ubicación de las instituciones formales e informales en el sistema (Quintero y Robledo, 2013), de este modo es interesante explorar como un modelo de simulación se puede desarrollado.

Variabes de los SRI

Para determinar la magnitud del SRI, se deben tener en cuenta una serie de indicadores o

variables clave que determinen o validen que una región puede ser considerada un sistema de innovación. Carlsson *et al.*, (2002) consideran que un indicador de generación de conocimiento es el número de patentes, Zollo *et al.*, (2011) y Iandoli *et al.*, (2012) sugieren que el conocimiento es generado por medio del gasto de I+D y la educación de tercer nivel (universitaria), de qué forma este conocimiento es transformado en generación de patentes y todo lo que tiene que ver con el ámbito empresarial, y finalmente cuales son los efectos en la economía, a través del número de empleos en alta tecnología y empresas de servicios de conocimiento intensivo por sus siglas KIBS.

Chen y Guan (2011) presentan una propuesta donde las innovaciones surgen en forma de artículos y patentes, como indicadores en los SRI, así mismo, tiene en cuenta los vínculos de innovación como desempeño de la I+D.

Finalmente Shiping y Weidong (2009) muestran como los productos generados a partir del conocimiento como son patentes y publicaciones pueden ser explicados mediante el gasto en I+D y el personal de tiempo completo en I+D, una adaptación se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables de entrada y salida del SRI

Indicadores SRI	
Entradas	Gasto en I+D
	Personal que trabaja en I+D
Salidas	Patentes
	Publicaciones

Fuente: elaboración propia (2015)

La Simulación como herramienta para entender los SRI

El paradigma de simulación basado en agentes (de ahora en adelante SBA) tiene como objetivo comprender y modelar el comportamiento de entidades individuales en un sistema determinado. Esta ofrece formas fáciles para entender cómo

los comportamientos individuales afectan a otros agentes del sistema Macal y North (2013), mediante tres elementos básicos: Los agentes, las relaciones o conexiones y el ambiente.

En términos generales la SBA se enfoca en estudiar sistemas que contengan gran cantidad de objetos activos como lo son: personas, negocios o incluso proyectos, demanda, productos, etc., los cuales tengan asociados la variable tiempo y que tengan un comportamiento individual (Borshchev y Filippov, 2004).

Teniendo en cuenta que los sistemas regionales contienen gran cantidad de elementos, enlaces y comportamientos individuales y que la innovación es un fenómeno complejo y sistémico (OECD, 2005), se puede concluir por lo tanto que un SRI es un sistema complejo, por lo cual la SBA es una herramienta muy útil para diseñar y analizar dichos sistemas, donde los agentes o componentes interactúan bajo grados de dependencia y control (Hummann, *et al.*, 2014).

Por lo tanto, el desarrollo del SRI mediante la SBA, implica estudiar la emergencia del sistema, lo cual en ciencias de la complejidad significa como son los diferentes patrones de comportamiento inducidos a nivel local por la interacción de los agentes (Epstein y Axtell, 1996). Se puede afirmar, entonces, que los SRI no son una excepción a dicha perspectiva, puesto que presentan comportamientos complejos de autoorganización y aprendizaje colectivo (Quintero y Robledo, 2013), en términos generales y bajo un concepto más extenso y explícito, los SRI son considerados sistemas de aprendizaje complejos donde existen acciones interactivas, influenciadas por procesos dinámicos en redes, las cuales incluyen diferentes actores (Zollo *et al.*, 2011).

Formulación de un modelo de simulación para un SRI

Para diseñar y desarrollar el modelo para un SRI genérico se utilizó la metodología propuesta por Sterman (2000):

- Articulación del problema, donde se responden preguntas tales como: ¿cuáles son las variables y conceptos claves?
- Formulación de hipótesis, en este punto se utilizan modos y modelos de referencia y se buscan datos que soporten el modelo.
- Formulación de un modelo de simulación, en el cual se especifica la estructura del modelo, los parámetros y las condiciones iniciales.

Siguiendo la metodología propuesta para el desarrollo del modelo, las variables de entrada y salida utilizadas se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Variables de entrada y salida del SRI

Variables Modelo SRI	
Entradas	Gasto en I+D Número de agentes en el sistema
Salidas	Patentes
	Índice de clusterización Número de vínculos del sistema

Fuente: elaboración propia (2015)

Para el diseño del sistema se estimó un límite de tiempo de 5 años, tiempo en el cual un sistema prudentemente puede desarrollar y generar proyectos, patentes y publicaciones, los autores Fritsch y Slavtchev (2011) consideran que las aplicaciones de patentes son publicadas solo después de doce a dieciocho meses después de la solicitud. Este es el tiempo necesario para que la oficina de patentes verifique la aplicación y las condiciones básicas que garantizan el patentamiento.

Con la ayuda del programa NetLogo versión 5.0.3 se desarrolló un modelo genérico del SRI con las variables, parámetros, tiempos y resultados antes mencionados, un esquema de este modelo puede verse en la Figura 1.

El modelo cuenta con una interfaz de simulación para el usuario, donde se pueden manipular los parámetros antes mencionados, los cuales se encuentran ubicados en el lado izquierdo de la

pantalla. Cuenta con dos comandos de botones: Preparar_SRI y Simular_SRI, una vez elegidos los parámetros de la simulación se utilizan ambos botones.

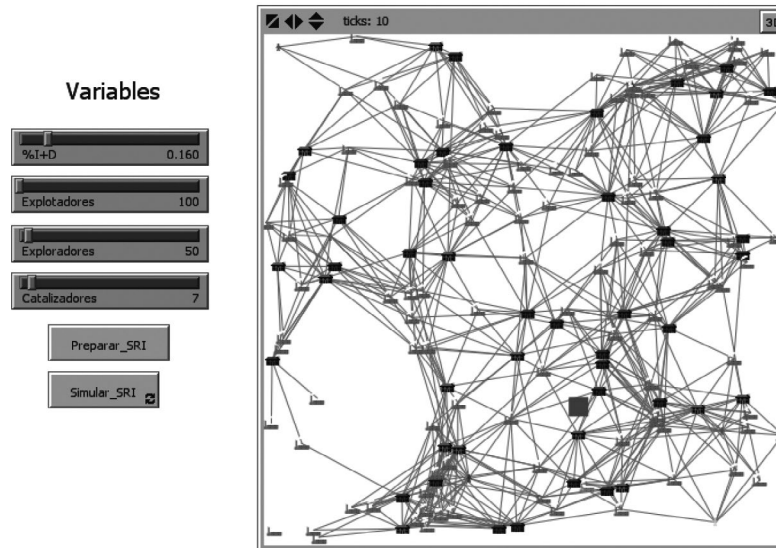


Figura 1. Modelo genérico simulable del SRI.

Fuente: elaboración propia (2015)

Validación del sistema

Muchos autores definen validación como “la correcta conclusión con base en premisas” lo que implica que este soportada por una verdad objetiva (Sterman, 2000), también se define este concepto como el grado de homomorfismo entre un sistema y un segundo sistema que supuestamente representa (Goto y Takahashi, 2013), otros autores lo consideran el proceso de evaluar el grado de precisión entre el modelo computacional y la representación del mundo real (Ormerod y Rosewell, 2009).

Respecto a esto, se puede afirmar que existen más de setenta y cinco técnicas y conceptos de verificación, validación y evaluación de modelos presentadas en la manual de simulación (Banks, 1998). Algunos de estos conceptos incluyen: la validación de modelos conceptuales y la validación operacional (Goto y Takahashi, 2013) la primera implica que todos los supuestos sobre el modelo han sido incluidos y la segunda considera que el comportamiento del software sea acorde con lo

que se espera del sistema bajo simulación (Olsen y Raunak, 2013).

Evaluando estos dos conceptos en el MBA para el SRI que se desarrolló, se establece la relación entre agentes a través de una red para generar productos de innovación. Estos, se clasifican en cuatro: exploradores, explotadores, catalizadores y gobierno, cada uno con un papel y reglas definidas dentro del sistema. Ahora, estos agentes interactúan en el sistema mediante los vínculos entre ellos, esto representa una estructura validada por la literatura científica, por lo cual se considera una estructura real.

Por lo tanto, este concepto soportado dentro del marco teórico fue modelado en un software basado en agentes replicando su estructura para dar cuenta de su comportamiento.

Resultados

Partiendo de estas definiciones se realizaron diversos experimentos con el modelo de simulación

presentado, evaluando cuales escenarios presentan mayores resultados en sus indicadores evidenciando mayor cohesión en el sistema, en primer lugar, se experimentó con un aumento en el número de explotadores en el sistema dejando constantes las variables exploradores y porcentaje de I+D. La Figura 2 muestra que los vínculos en la red incrementan conforme los agentes aumentan, sin embargo, el índice de clusterización fluctúa y se mantiene pequeño, la Figura 3 muestra como los grados de distribución en la red no se expanden, sino que se encuentran apilados, es decir pobremente distribuidos en la red, esto significa que solo algunas empresas están acumulando vecinos o nodos dentro de la red, estos indicadores muestran que en la red altamente densa de agentes explotadores se crean redes muy concentradas alrededor de unos pocos agentes.

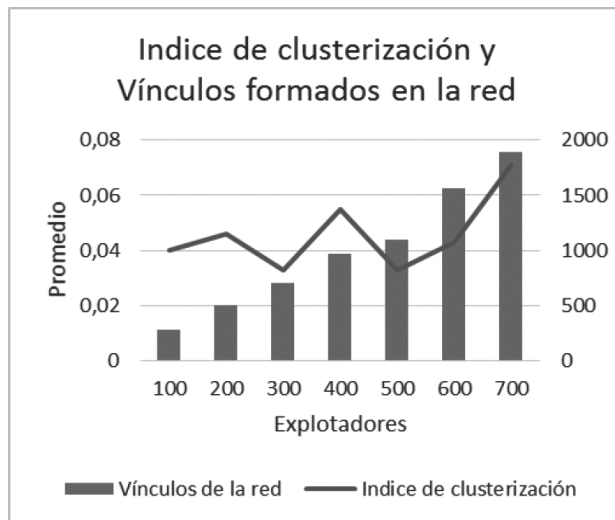


Figura 2. Vínculos de la red e índice de clusterización bajo aumento de los explotadores
Fuente: elaboración propia (2015)



Figura 3. Distribución de la red con aumento de explotadores.
Fuente: elaboración propia (2015)

La Figura 4 presenta otro experimento en el cual se mantuvo constante los agentes explotadores y el porcentaje de I+D, pero se incrementó el número de agentes exploradores. En este caso la red mostraba un incremento constante en el número de vínculos en la red y en el índice de clusterización, A pesar que en este experimento se contaban con menos agentes en el sistema, se llegó al mismo índice de clusterización que en el experimento anterior.

Por otro lado la Figura 5 presenta una distribución de grados más estable, es decir, los nodos buscan un equilibrio dentro del sistema compartiendo el mismo número de vecinos dentro de la red.

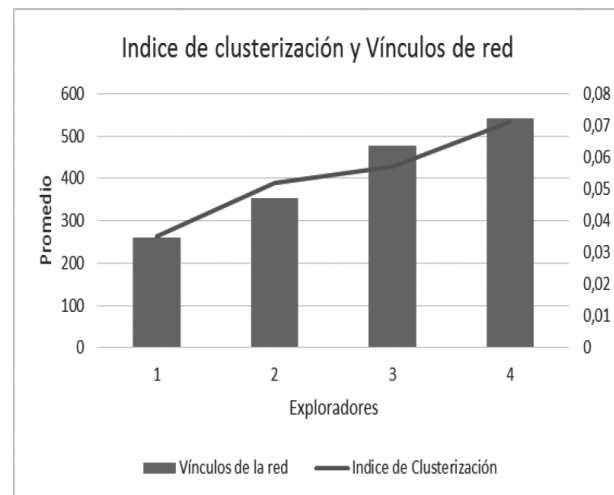


Figura 4. Vínculos de la red e índice de clusterización bajo aumento de los exploradores
Fuente: elaboración propia

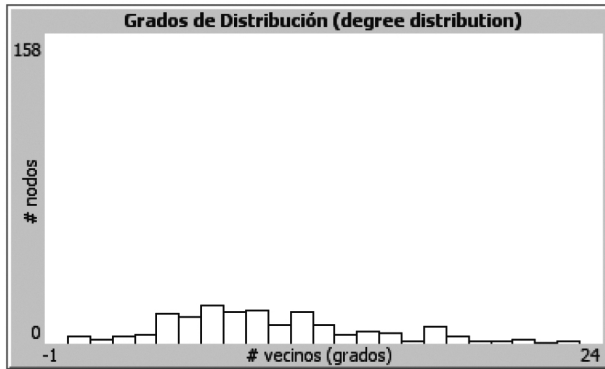


Figura 5. Distribución de la red con aumento de exploradores
Fuente: elaboración propia (2015)

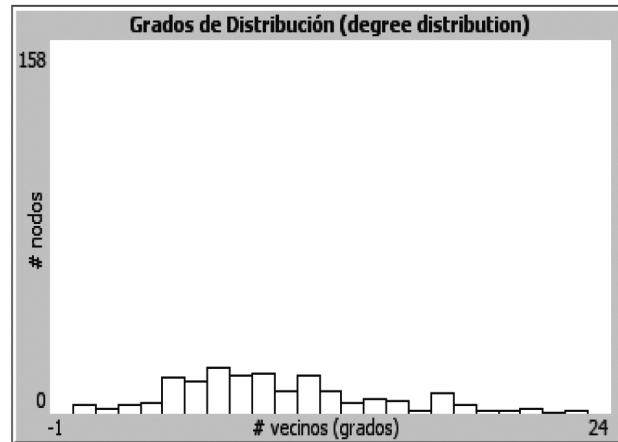


Figura 7. Distribución de la red con aumento de exploradores
Fuente: elaboración propia (2015)

Finalmente, en el último experimento se incrementa gradualmente el porcentaje de I+D dejando constante el número de agentes dentro del sistema, la Figura 6 muestra que incremento en el porcentaje de I+D impacta negativamente en el número de vínculos de la red disminuyéndolos. También se puede observar un pobre desempeño en el índice de clusterización que en este caso fluctúa y el resultado es el más bajo en comparación con los experimentos anteriores.

La Figura 7 muestra que, aunque el desempeño de la red no es el mejor en términos de generación de vínculos, los pocos que se logran generar en la red tratan de mantenerse estables y equivalentes entre nodos buscando el equilibrio en la red.

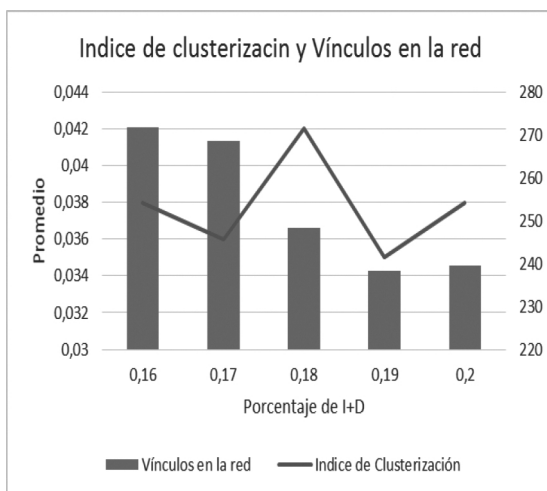


Figura 6. Vínculos de la red e índice de clusterización bajo aumento del porcentaje de I+D
Fuente: elaboración propia (2015)

Algunos autores parten del hecho de que en redes de tecnología o industria, la emergencia de innovaciones importantes pueden ser esperadas en ambientes de baja conectividad durante la fase de emergencia, mientras que, el proceso de difusión de innovaciones puede darse en un ambiente de conectividad creciente mientras que el sector madura incrementando el número de nodos y por lo tanto su diversidad (Pyka y Scharnhorst, 2009).

Conclusiones

A través del modelo de simulación del sistema, se pueden evidenciar relaciones y estructuras, donde los diferentes agentes interactúan para formar redes complejas y dependientes, permitiendo conocer patrones de compartición del conocimiento y sus procedimientos localizados de búsqueda y exploración, la integración y especialización de redes localizadas para generar así procesos de innovación.

Sobre los resultados que ha arrojado el modelo, se puede evidenciar que una política dirigida a incentivar un entorno con aumento de agentes exploradores, promueve el desempeño de las redes a través de los indicadores presentados, esto debido principalmente a su naturaleza captadora de recursos de I+D del ambiente, un entorno con mayor

número de agentes exploradores beneficiaría el desempeño de la red del sistema, creando alianzas y proyectos estratégicos con agentes explotadores, promoviendo así un aumento en los productos de innovación en la región.

El modelo ha mostrado que un aumento en el número de agentes explotadores no incrementa el desempeño de la red y por lo tanto la creación de productos de innovación, esto se debe a que los explotadores son transformadores de recursos y requieren de la I+D exploración en para generar innovación y conocimiento en la región, básicamente las alianzas entre empresas son debido a relaciones proveedor-empresa-comprador, lo cual no agrega innovación ni conocimiento a la red.

Un aumento en el porcentaje de I+D también ha mostrado ser ineficiente, debido a que no existen suficientes agentes que transformen esta variable en innovaciones, una región con altos porcentajes de I+D no contara con medidas de innovación y desempeño de red efectivas si cuenta con pocos agentes exploradores que capten este recurso y que no logren conectarse de manera eficiente con los agentes explotadores.

Como trabajo futuro bajo una perspectiva *bottom-up*, se propone comprender aún mejor aquellas dinámicas de red de patrones de comunicación entre los agentes del sistema, así como de patrones de invención y aprendizaje, en especial, aquel aprendizaje de carácter localizado que permite la especialización de los agentes y, por consiguiente, un mejor desempeño.

Agradecimientos

Agradecimiento especial al PhD Luciano Gallón Londoño y MsC Javier Dario Fernández Ledesma por hacer posible este proyecto.

Referencias

- Akgün, A., Keskin, H. & Byrne, J. (2014). Complex adaptive systems theory and firm product innovativeness. *Journal of Engineering and Technology Management*, 31(101), 21-42.
- Asheim, B. & Gertler, M. (2005). *The Geography of Innovation: Regional Innovation Systems*. Oxford University Press.
- Banks, J. (1998). *Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*. (J. Banks, Ed.) (1st ed., p. 864). Wiley-Interscience.
- Borshchev, A. & Filippov, A. (2004). From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools. In *The 22nd International Conference of the System Dynamics Society*, pp.1-23. Oxford.
- Buesa, M., Heijs, J. & Baumert, T. (2010). The determinants of regional innovation in Europe: A combined factorial and regression knowledge production function approach. *Research Policy*, 39(6), 722-735. doi:10.1016/j.respol.2010.02.016
- Carlsson, B., Jacobsson, S., Holmén, M. & Rickne, A. (2002). Innovation systems: analytical and methodological issues. *Research Policy*, 31, 233-245.
- Chen, K., & Guan, J. (2011). Mapping the functionality of China's regional innovation systems: A structural approach. *China Economic Review*, 22(1), 11-27. doi:10.1016/j.chieco.2010.08.002
- Cooke, P. (1998). Regional systems of innovation: an evolutionary perspective. *Environment and Planning*, 30(9), 1563-1584.
- Doloreux, D. (2002). What we should know about regional systems of innovation. *Technology in Society*, 24(3), 243-263.
- Doloreux, D. & Parto, S. (2005). Regional innovation systems: Current discourse and unresolved issues. *Technology in Society*, 27(2), 133-153.
- Epstein, J. & Axtell, R. (1996). *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*, p.226. The Brookings Institution.
- Fritsch, M. & Slavtchev, V. (2011). Determinants of the Efficiency of Regional Innovation Systems. *Regional Studies*, 45(7), 905-918.
- Goto, Y. & Takahashi, S. (2013). Agent-Based Modeling and Simulation Validation by Scenario Analysis. In T. Murata, T. Terano, & S. Takahashi (Eds.), *Agent-Based Approaches in Economic and Social Complex Systems VII*, 3-16. Springer Japan.
- Humann, J. & Madni, A. M. (2014). Integrated Agent-based modeling and optimization in complex systems analysis. *Procedia Computer Science*, 28, 818-827.
- Iandoli, L. Palumbo, F., Ponsiglione, C., Tortora, C. & Zollo, G. (2012). Prospettive e Instrumenti per lo sviluppo di sistemi regionali di innovazione auto-sostenibili.
- Macal, C. & North, M. (2013). Introductory Tutorial: Agent-Based modeling and simulation. *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*, 362-376.
- Miller, J. & Page, S. (2007). *Complex Adaptive Systems*, 1-284.
- Newman, M. (2003). The structure and function of complex networks. Santa Fe.
- OECD. (2005). *Manual de Oslo Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación* (p.194).

- Olsen, M. & Raunak, M. (2013). A framework for simulation validation coverage. In *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*, 1569-1580.
- Ormerod, P., & Rosewell, B. (2009). Validation and Verification of Agent-Based Models in the Social Sciences. In F. Squazzoni (Ed.), *Epistemological Aspects of Computer Simulation in the Social Sciences*. 130-140. Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-01109-2_10
- Pyka, A. & Scharnhorst, A. (2009). *Innovation Networks: new approaches in modelling and analyzing*, 1-331.
- Quintero, S., & Robledo, J. (2013). El Aprendizaje como Propiedad Emergente en los Sistemas Regionales de Innovación. In *XV Congreso Latino-Iberoamericano de Gestión 2013*, 1-16. Oporto.
- Shiping, G. & Weidong, Z. (2009). Efficiency Evaluation on Knowledge Creation in Regions of China.
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World* (p.1008). McGraw-Hill/Irwin.
- Tödttling, F., & Trippl, M. (2005). One size fits all? *Research Policy*, 34(8), 1203-1219.
- Trippl, M. (2006). Cross-Border Regional Innovation Systems, (November). Retrieved from <http://epub.wu.ac.at/1110/>
- Watts, D., & Strogatz, S. (1998). Collective dynamics of “small-world” networks. *Nature*, 393, 440-442.
- Zollo, G., De Crescenzo, E. & Ponsiglione, C. (2011). A GAP Analysis of Regional Innovation Systems (RIS) with Medium-Low Innovative Capabilities: The Case of Campania Region (Italy). In *ESU European University Network on Entrepreneurship Conference 2011* (pp.1-19). Seville.



Coeligena torquata / Autor: Diego Alonso Rivera Vergara