

PROPUESTA DE UN MÉTODO PARA LA APLICACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN BASADO EN AGENTES DEL SISTEMA REGIONAL DE INNOVACIÓN

PROPOSAL OF A METHOD FOR THE IMPLEMENTATION OF A SIMULATION MODEL BASED ON AGENTS OF REGIONAL INNOVATION SYSTEM



Édgar David Embuz Padilla

*Especialización en Sistemas Integrados
de Gestión*

*Universidad Pontificia Bolivariana,
Medellín, Colombia
edepts@msn.com*



Javier Darío Fernández Ledesma

*Grupo de Investigación en Sistemas Aplicados
a la Industria - GISAI*

*Universidad Pontificia Bolivariana,
Medellín, Colombia
javier.fernandez@upb.edu.co*



Santiago Quintero Ramirez

*Grupo de investigación GISAI.
Universidad Pontificia Bolivariana
santiago.quintero@upb.edu.co*



Julián Alberto Uribe

*Grupo de investigación GTI.
Universidad Pontificia Bolivariana.
julian.uribe@upb.edu.co*



Diana Patricia Giraldo

*Grupo de investigación GTI.
Universidad Pontificia Bolivariana.
dianap.giraldo@upb.edu.co*



Luciano Gallón

*Grupo de investigación GTI.
Universidad Pontificia Bolivariana
luciano.gallon@upb.edu.co*



A través del presente trabajo se busca proponer un método que permita aplicar de forma práctica, precisa y efectiva un modelo de simulación basado en agentes del sistema regional de innovación (SRI), que ha sido desarrollado dentro del proyecto "Análisis de la estructura, relaciones y dinámicas de agentes de los sistemas regionales de innovación", liderado por los grupos de investigación GISAI y GTI pertenecientes a la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Medellín. Esta propuesta de método está centrada en una revisión de las necesidades más relevantes de los sistemas regionales de innovación y da cuenta de cómo estas deben ser suplidas paso a paso a través de la estructura del modelo de simulación en su aplicación.

PALABRAS CLAVE

Sistema regional de innovación, simulación, método, modelo basado en agentes.

RESUMEN

ABSTRACT

Through this work what is sought is to propose a method that allows to implement in a practical, accurate and effective a Simulation Model Based on Agents of Regional Innovation System (RIS), which has been developed within the project "Analysis of the structure, relations and dynamics of Agents of the Regional Innovation Systems" led by the researching groups "GISAI" and "GTI" that belongs to the "Universidad Pontificia Bolivariana" Medellín. This method proposal is focused on a review of the most important needs of Regional Innovation Systems and how these needs must be satisfied step by step through the structure of the simulation model in its application.

KEYWORDS

Regional Innovation System, simulation, method, agent based model.



Introducción

La problemática se centra en la ausencia de un método de aplicación del modelo de simulación basado en agentes del sistema regional de innovación desarrollado dentro del proyecto “Análisis de la estructura, relaciones y dinámicas de agentes de los sistemas regionales de innovación”, liderado por los grupos de investigación GISAI y GTI, pertenecientes a la Universidad Pontificia Bolivariana sede Medellín. De este modo, el presente trabajo se convierte en un insumo faltante.

Objetivo general

Proponer un método mediante el cual se pueda aplicar de forma práctica, precisa y efectiva un modelo de simulación basado en agentes del sistema regional de innovación.

Objetivos específicos

- Establecer las generalidades y las principales necesidades de los sistemas regionales de innovación
- Describir el modelo de simulación basado en agentes
- Articular las necesidades de los sistemas regionales de innovación y la estructura del modelo de simulación basado en agentes para una propuesta de método de aplicación del mismo
- Relación y aporte a la comunidad (empresarial, académica, social)
- Generación de conocimiento en la gestión de los sistemas regionales de innovación
- Insumo para el proyecto “Análisis de la estructura, relaciones y dinámicas de agentes de los sistemas regionales de innovación” liderado por los grupos de investigación GISAI y GTI, pertenecientes a la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Medellín

Metodología

La metodología propuesta se encamina hacia una investigación basada en una revisión de literatura muy completa, acompañada de un análisis de la información suministrada por el proyecto al cual pertenece dicha investigación y, por último, al cumplimiento de los objetivos propuestos. Esto se describe en las siguientes tres fases del trabajo:

Fase I

El trabajo se apoya en gran medida en el estado del arte y revisión bibliográfica sobre:

- Las generalidades y la importancia de los sistemas regionales de innovación
- Las necesidades más importantes de los sistemas regionales de innovación
- Los modelos basados en agentes para el estudio de los fenómenos de innovación

Fase II

Revisión del modelo de simulación basado en agentes del sistema regional de innovación desarrollado dentro del proyecto “Análisis de la estructura, relaciones y dinámicas de agentes de los sistemas regionales de innovación” desde su estructura, justificación, desarrollo e interpretación.

Fase III

Estudio y análisis de toda la información obtenida y revisada para entrelazar las necesidades más importantes de los sistemas regionales de innovación, teniendo en cuenta toda la revisión bibliográfica realizada y la estructura, la justificación, el desarrollo y la interpretación del modelo de simulación que permita proponer un método de aplicación del mismo a los agentes del sistema regional de innovación de forma práctica, precisa y efectiva.



Desarrollo investigativo

Fase I – Estado del arte

El concepto de *sistema* ha invadido todos los campos de la ciencia y ha penetrado en el pensamiento y el habla populares, así como en los medios de comunicación y de masas (Bertalanffy, 1976), y es muy frecuente que genere diversas interpretaciones dependiendo del contexto en que se maneje. Según Gigch (2004), un sistema es un conjunto de elementos relacionados. Según Wilson (1993), un sistema es un conjunto estructurado de objetos y/o atributos junto con las relaciones entre ellos. Según Bertalanffy(1976), un sistema es un conjunto de elementos en interacción y se compone de un aspecto estructural (informaciones, elementos, red de comunicaciones, límites) y un aspecto funcional. Este es el elemento central en su propuesta Teoría General de Sistemas (1940), en la que se considera que la conceptualización de *sistema* es una innovación que trasciende de manera muy importante todo lo referido desde la física y la biología hasta las ciencias sociales y del comportamiento y la filosofía. Pero su estudio fue más que todo enfocado de forma muy pragmática, selectiva y conceptual, dejando abierto todo el cuestionamiento sobre la integración del concepto en todas las disciplinas de manera unificada. Además, se encuentran Ervin Lazlo y Stephen Pepper (citados por Lilienfeld, 1984). Ervin Lazlo, en su Teoría de Sistemas Naturales, considera que los sistemas sociales y los sistemas biológicos son una subclase de los sistemas naturales gobernados por la autoestabilización adaptativa que los expone directamente hacia una evolución de su concepción y su comportamiento por ser adaptables. Todo esto lo complementa Stephen Pepper a través de sus estudios y publicaciones: "Las concepciones del mundo", "Concepto y cualidad", entre otros. Pepper describe la Teoría de Sistemas como una teoría afín con la concepción de que los sistemas aprenden a través de la obtención de mucha más información, ganada mediante su interacción con el medio, sin importar si estos siste-

mas son organismos, organizaciones, sociedades o disciplinas científicas¹.

Todo esto nos lleva a contemplar un "enfoque sistémico", considerando el concepto de *sistema* no como algo que proviene netamente de lo actual, de lo que está de moda, y que por consiguiente llega a ser considerado como algo pasajero o una técnica reciente, sino más bien ubicado en el contexto de la historia de las ideas. Como lo dicho en Bertalanffy (1976), los progresos que ha sufrido la Teoría General de Sistemas en el último siglo se han evidenciado en su desarrollo en áreas del conocimiento como la cibernética, la teoría de la información, la teoría de los juegos, la teoría de la decisión, la topología o las matemáticas relacionales, el análisis factorial en psicología y otros campos. Esto trasciende de tal manera dentro de la realidad de la sociedad que ya se vislumbra la interpretación aplicativa y no solamente propositiva de este concepto. Es así como en Ackoff (1959) se distinguen los siguientes campos de aplicación:

- Ingeniería de sistemas (se emplea la cibernética y la teoría de la información)
- Investigación de operaciones (se emplean la programación lineal y la teoría de los juegos)
- Ingeniería humana (capacidades, limitaciones fisiológicas y variabilidad de los seres humanos, incluyendo la biomecánica, la ingeniería psicológica, factores humanos, etc.)

En los últimos años, muchos campos pertenecientes a la sociedad, tales como la biología, la psicología, la economía, la sanidad, la dirección de empresas, las ciencias políticas, entre otros, han manifestado con mucha mayor fuerza la colaboración de la Teoría General de Sistemas. George J. Klir² (citado por Bertalanffy, Ashby y Weinberg, 1978) explica la necesidad intrínseca en cuanto a la reinterpretación de las bases fundamentales de

1 La innovación vista por James (1979) como la acción de crear e introducir soluciones originales según las necesidades existentes y las nuevas que surjan.

2 School of Advance Technology, State University, of New York at Binghamton.



lo que debe constituir un sistema propiamente dicho y el área en la que se desee realizar la aplicación correspondiente de la teoría.

Es así como, a través de las necesidades particulares de nuevos conocimientos aplicativos, la definición de *sistema* depende del interés subjetivo que se posea para cada caso. La Teoría de Sistemas se enmarcó en sus inicios, desde la ciencia propiamente dicha, en campos tradicionales que ofrecen una explicación exacta del entorno (Bertalanffy, 1976), lo que produjo una gran problemática en cuanto a la explicación, la aplicación y la interpretación en los campos biológicos, del comportamiento y sociológicos, con características muy puntuales que hacen referencia a organismos vivos en cambio continuo, hasta el punto en que se llegan a considerar impredecibles. Fue así como se vio la necesidad de introducir nuevos modelos conceptuales que permitieran integrar diversas disciplinas. Tales modelos son evidenciados por Ashby (1952), quien expone ejemplos como el estudio sobre las redes de reacciones químicas (Bradley y Calvin, 1956), el estudio sobre el crecimiento de las organizaciones (Haire, 1959), en el que se aplicaron los principios de la Teoría General de Sistemas propuesta por Bertalanffy (1976), complementándolos con nuevas aplicaciones totalmente distintas a las que ofrece la visión clásica y que producen grandes resultados.

Estos nuevos modelos, que permiten integrar el concepto de *sistema* en distintas disciplinas, le han permitido a la sociedad en general establecer sistemas en gran variedad de ámbitos. Se ve que el estudio en torno a la ingeniería humana, que contempla factores humanos entre otros (Ackoff, 1959), permite explicar las relaciones sistémicas dentro de dichos factores humanos, y una necesidad muy particular que ha surgido con gran fuerza es la de explicar los "sistemas de innovación" que hacen parte fundamental de la sociedad.

Teniendo presente la aplicación del concepto de *sistema* según las necesidades particulares, según el campo de acción, y al adicionar el concepto de *innovación* nos enfrentamos a un escenario totalmente nuevo en vista de lo que cobija. Un

sistema se puede aplicar en el ámbito social (Lilienfeld, 1984) y la innovación, entendida como un resultado de las interacciones sociales en busca de un fin, puede ser explicada de forma sistémica.

Ya se tiene claro que la Teoría General de Sistemas, con su concepto central: *sistema*, se puede aplicar al ámbito social, y que la "innovación es, ante todo, un fenómeno social, originado en la interacción de actores diversos, cuya dinámica es responsable de la producción y la transformación del conocimiento científico y tecnológico en riqueza económica, bienestar social y desarrollo humano" (Robledo y Ceballos, 2008, p.xx). La innovación sujeta muchas interpretaciones, pero a nivel general suscita gran importancia para el desarrollo de la sociedad. En la teoría Long Wave (Freeman, 1982) se sugiere que los comportamientos innovadores juegan un papel significativo en la determinación del desarrollo económico y su fluctuación al largo plazo.

En general la innovación es un fenómeno complejo y multidimensional y para lograr descifrar dicha complejidad se ve la necesidad de combinar diversas perspectivas teóricas (Lundvall y Lindgaard, 2004); para tal fin se puede iniciar observando con mayor detenimiento los diferentes ensayos y estudios realizados en concordancia con la fuerte relación entre el empresario, los riesgos y las recompensas de la innovación en diversos ámbitos de aplicación (Schumpeter, 2006) en donde simplemente se demuestra que para correr riesgos hay que ser prudente, estudiar, interpretar y analizar la innovación desde el punto de vista que lo concibe como un valor primordial y a la vez agregado para la sociedad actual; esto es respaldado por Drucker (1986), quien presenta la innovación y la colaboración de las personas que inciden en el desarrollo de la economía como una disciplina sumamente importante y sistemática. Es de tal importancia la aplicación de estudios sobre innovación que este concepto ha sido llevado al ámbito de los servicios y se ha visto cómo estos deben innovar conforme lo amerite el entorno de los negocios (Metcalf y Miles, 2000), lo que trae grandes beneficios y propone una investigación formal de la aplicación de servicios innovadores



para fortalecer la economía internamente. En EUROSTAT y OECD (2005) la innovación es vista como un proceso dinámico en el cual el conocimiento se acumula mediante el aprendizaje y las interacciones. De acuerdo con la Teoría Evolutiva (citada por Fera, Rodríguez y Herrera, 2012), la innovación se considera como un proceso social e interactivo que incorpora a diversos actores en un entorno específico y sistémico, y se establece que no solo el conocimiento es creado de forma única a nivel de desarrollo interno de los actores, sino que también se genera de forma externa de acuerdo a las interacciones entre los mismos, a través de la recombinación del conocimiento, introduciendo así la necesidad de estudiar la generación de innovación a través de las relaciones internas y externas de los diversos actores con base en los sistemas de innovación.

Hoy en día se ha integrado la terminología de *sistema de innovación* junto con el desarrollo de la sociedad, interpretando este como un enfoque sistémico en la aplicación del concepto de innovación a nivel general, pero esto puede traer ciertas confusiones sobre el enfoque que se le desea dar a esta temática para el presente trabajo. La innovación será reconocida como una variable estratégica de competitividad, estrechamente relacionada con el territorio y el ámbito en el que se desarrolle. Por tal motivo, la clasificación de los sistemas de innovación se tomará de los aportes de Llisterrí y Pietrobelli (2011), donde estos son clasificados según su ámbito geográfico en transnacionales, nacionales, regionales y locales. Estos constituyen un conjunto de instituciones, individuos y organizaciones que no siempre está instaurado de manera única debido a la gran variabilidad que estos actores puedan traer. Recordando a EUROSTAT y OECD (2005), al integrar la innovación junto con la visión de sistema se debe desplazar la perspectiva de las políticas propiamente dichas para privilegiar las interacciones entre las instituciones y poder estudiar todos los procesos intrínsecos en dichas interacciones que intervienen en la creación del conocimiento y en su difusión y uso.

Conforme a la aplicación de dichos sistemas de innovación, nos enfocaremos primeramente en

los sistemas nacionales de innovación y seguidamente en los sistemas regionales de innovación. Uno de los primeros autores que a fines de la década de 1980 investigó formal y rigurosamente los sistemas nacionales de innovación fue Christopher Freeman, quien se enfocó mucho más en la economía en su libro *Technology Policy and Economic Policy: Lessons from Japan* (Freeman, 1987), en el que expresa que los sistemas nacionales de innovación "son redes de instituciones en los sectores públicos y privados cuyas actividades e interacciones promueven, importan, modifican y difunden nuevas tecnologías". Rápidamente este concepto adquirió una gran importancia debido a que no solo le aportaba gran impulso al desarrollo de la innovación sino también a la aplicación práctica y efectiva de las políticas de innovación en la gestión para el liderazgo del mercado y también en el desarrollo de los países alrededor del mundo.

Por otra parte, se encuentran los aportes de Lundvall, Johnson, Sloth, y Dalum (2002), quienes luego de alrededor de 10 años de investigación en diferentes aspectos de sistemas de innovación sugieren el establecimiento formal del concepto de *sistemas nacionales de innovación*, esto respaldado en el hecho de que percibieron la necesidad latente de proporcionarle a la sociedad una aproximación del significado de este concepto debido a que se popularizaba cada vez más pero nadie tenía una total claridad sobre el mismo. Estos autores plantean que el concepto es y será una herramienta fundamental dentro del desarrollo económico de los países, y fundamentan esta valoración en el hecho de que estos sistemas se componen de los "elementos y las relaciones que interactúan con la producción, difusión y utilización de nuevos, y económicamente útiles, conocimientos, y se encuentran dentro de las fronteras Estado-Nación" (Lundvall, 1992, p.xx).

Cvetanović y Sredojević (2012) resaltan que la competitividad de un país depende directa e indirectamente de la innovación aplicada a sus políticas y desarrollos económicos, y uno de los aspectos determinantes es el sistema nacional de innovación que se tenga implementado en el país, teniendo en cuenta instituciones tanto pú-



blicas como privadas, cuyas actividades e interacciones determinan la creación y la difusión de la innovación. Es por esto que las políticas que rigen a dicho sistema deben estar en constante estudio y evolución, para adaptarse a los cambios del entorno; esto es respaldado por la OECD³ en el trabajo de Seki y Barbaros (2011), en donde se resalta la vital importancia del desarrollo de innovación para el aumento de competitividad económica de un país, desarrollando un análisis empírico cuyo resultado fue consistente con la hipótesis propuesta de que la efectividad de la implementación de un sistema nacional de innovación recae directamente sobre los niveles de educación que exista dentro de los países, puesto que el impacto positivo o negativo depende de los niveles alcanzados; esto se mide según la producción de conocimiento que se genere y el análisis de involucramiento de datos. El sistema nacional de innovación corresponde a "un sistema social, que tiene como actividad central el aprendizaje interactivo entre la gente" (Lundvall, 1992, p.xx). Varios autores coinciden en que estos se basan en el hecho de que, en un gran porcentaje, los actores que influyen sobre las actividades de innovación poseen una dimensión nacional (instituciones, cultura y valores) y se encuentran sujetos a variables internas, como la estrategia, las capacidades de los empleados, la cultura organizacional, el compromiso de la alta dirección, las alianzas con agentes del sector y del entorno en general. Existen hoy en día varias publicaciones de estudios en cuanto a la presente temática que han sido sustentados a través de los criterios del Manual de Oslo (por ejemplo), estructurando encuestas nacionales, impartiendo procedimientos y métodos específicos de interpretación, análisis y sugerencias a partir de toda la información obtenida con miras hacia un desarrollo de innovación.

EUROSTAT y OECD (2005) determinan que, paralelamente a los sistemas nacionales de innovación, podrían conformarse sistemas regionales de innovación; esto explicado desde el punto de vista en que las instituciones públicas de inves-

tigación locales, las grandes empresas y demás actores pueden influir en los resultados de las regiones referentes a la innovación, en donde se propicia el contacto con competidores, instituciones públicas de investigación, clientes, proveedores, etc. Leydesdorff y Fritsch (2006) plantean la necesidad de individualizar los sistemas de innovación para cada región en particular y así poder analizar de forma mucho más específica la generación de innovación, dado que los agentes (actores del sistema) interactúan efectivamente al tener en cuenta su posición geográfica, el intercambio económico entre ellos y la dinámica del intercambio de conocimientos entre los que prevalecen los temas económicos.

La necesidad de visualizar las interacciones entre los diferentes agentes de un sistema ha sido básica desde que todos los estudios referentes a la temática se han llevado a cabo. Wymore (1967) expresa algo muy importante en relación con la posibilidad de llevar más allá la terminología de *sistema* en cuanto implementa el concepto de *homomorfismo de sistemas*, para formalizar los principios de simulación y creación de modelos. Esta idea también la expresa Lilienfeld (1984) al citar las técnicas para simular procesos sociales y ambientales por computadoras, propuestas por Jay Forrester y muchos otros. Retomando la conceptualización de *sistemas de innovación*, se puede estar ante una oportunidad de simulación por computadora que nos permita estudiar con mucha mayor rigurosidad todas las interacciones que se llevan a cabo. Esta necesidad se refuerza en lo dicho por Robledo y Ceballos (2008), quienes expresan que en la literatura centrada en la innovación existe una gran ausencia de modelos de simulación que tengan como objeto los sistemas y los procesos de innovación, y también se ha demostrado que las "pocas" implementaciones de dichas técnicas de simulación para el estudio de procesos concernientes a la innovación han sido sumamente exitosas y útiles (Axelrod y Tesfatsion, 2014); también se puede ver una gran aplicación de modelos de simulación en computadora para temas económicos (Tsfatsion y Judd, 2006), muy acordes con los principios en los que se basan las temáticas asociadas a lo social.

3 Organization for Economic Co-operation and Development - <http://www.oecd.org/>.



Luego de muchos años de investigación en procesos sociales, la simulación de los mismos ha surgido como una herramienta de última generación, con creación e implementación de *softwares* capaces de resolver hasta cierto punto toda la incertidumbre que este tipo de procesos implica. Como lo explica Garson (2009), a través de la simulación los investigadores pueden soportar sus estudios para comprender los efectos, parámetros críticos y clarificar el estado del arte con respecto al entendimiento de cómo dichos procesos evolucionan en el tiempo, todo esto acompañado con ahorros económicos significativos, ya que no se debe implementar recursos materiales sino solo virtuales para realizar el proceso investigativo.

Según Borshchev y Filippov (2004), se pueden diferenciar hasta cuatro enfoques de simulación, los cuales dependerán del tipo de estudio que se desee implementar y los resultados e interpretaciones que se pretendan alcanzar con dicho estudio. Estos enfoques son el de sistemas dinámicos, el de eventos discretos y el que se basa en los agentes y la dinámica de sistemas. (ver figura 1)

Pero lo que realmente interesa es saber cuál es el enfoque adecuado para simular procesos sociales teniendo en cuenta el concepto de innovación, el

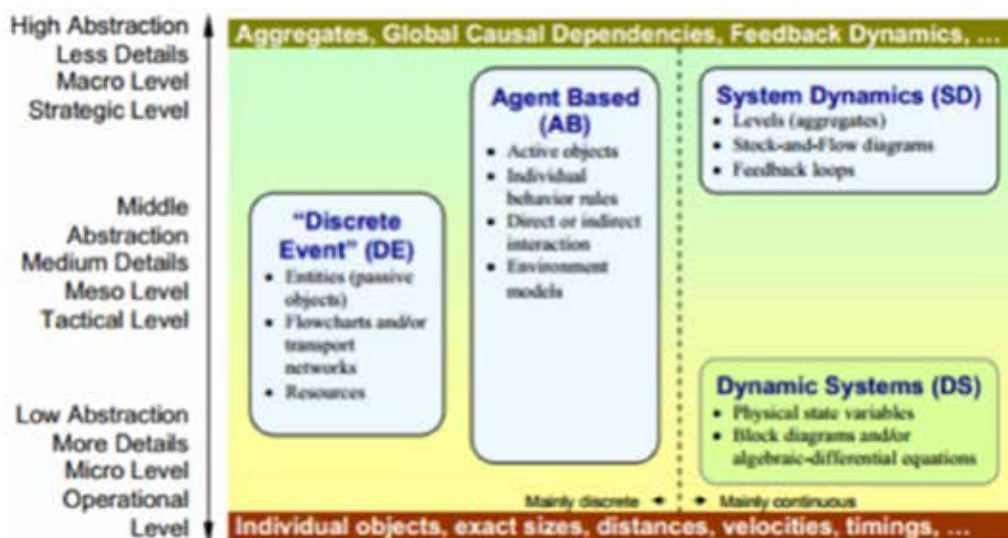
cual es nuestra finalidad. Para esto se tiene el trabajo de Quezada y Canessa (2010), quienes hacen énfasis en que el enfoque más adecuado es el del modelo basado en agentes (MBA). Esto debido a que los procesos sociales son generados por el actuar de sujetos individuales en interacción y perturbación mutua, lo cual es descrito en el MBA como comportamientos del tipo *bottom up*, lo que significa que son aquellos que emergen del funcionamiento y la operación de unidades individuales.

Este tipo de simulación brinda la flexibilidad de al menos tres posibles aplicaciones (García-Veldecasas, 2011):

- Como solución al problema de la infradeterminación empírica de las teorías sociológicas.
- Como explicación de fenómenos sociales a través de mecanismos que hagan alusión tanto a la acción de los individuos como a la estructura de interacción de los individuos.
- Como método para evaluar políticas sociales y prever sus resultados antes de que sean implantadas.

Esto abre las puertas de un nuevo entendimiento de las ciencias sociales desde el modelamiento hacia ambientes computacionales, y estamos

FIGURA 1. APPROACHES (PARADIGMS) IN SIMULATION MODELING ON ABSTRACTION LEVEL SCALE



Fuente: Borshchev y Filippov (2004).

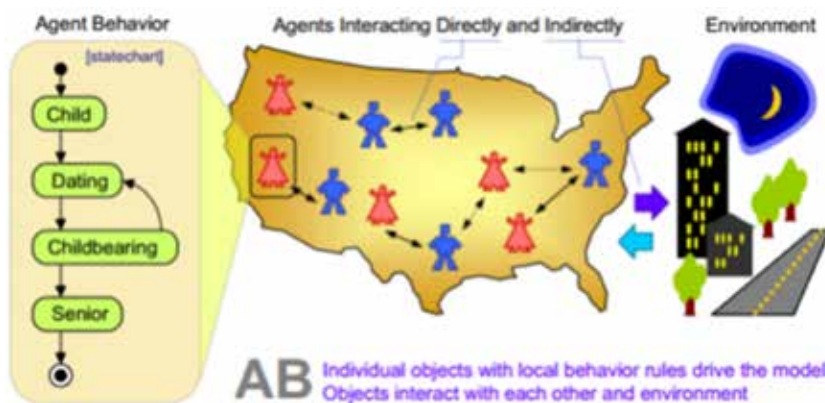


ante una explicación cuantitativa de aspectos netamente cualitativos: así como las ciencias exactas fueron descritas a través de estudios establecidos, las ciencias sociales podrían llegar a serlo mediante esta herramienta. (Ver figura 2)

Si se retoma la innovación como parte de un proceso social es importante señalar que en la literatura aún existen pocos estudios aplicativos en cuanto a los modelos de simulación basada en agentes que integren ambas temáticas. Sin embargo, en los últimos años esta temática ha tomado fuerza, como se ha evidenciado en trabajos aplicativos tales como "Dinámicas de conocimiento entre la industria y universidades en

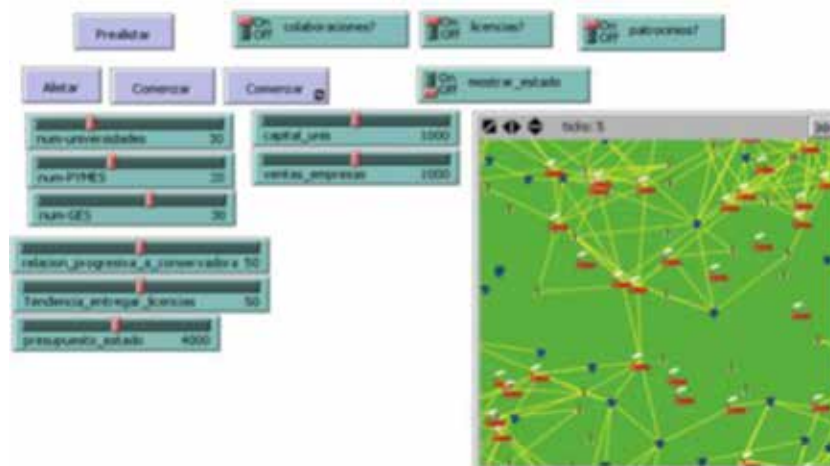
la nanotecnología mediante simulación basada en agentes" (Aristizábal, 2013), que se refieren a la ejecución de simulaciones de la dinámica existente en el *software* Netlogo, determinando los agentes pertenecientes al caso estudiado a través de la conceptualización de necesidades puntuales de sistemas nacionales y regionales de innovación y sus interacciones, estudiando el papel que juegan las colaboraciones, la financiación estatal y la estrategia de colaboración en el desempeño del sistema de innovación en nanotecnología. En ese sentido, se han obtenido resultados que permiten determinar cómo se puede beneficiar el desarrollo de la innovación a través de la interacción de los diferentes agentes. (Ver figura 3)

FIGURA 2. MODELADO BASADO EN AGENTE (MBA). SOFTWARE DE SIMULACIÓN ANYLOGIC*



Fuente: Borshchev y Filippov (2004)

FIGURA 3. MBA PARA UN SISTEMA DE INNOVACIÓN EN NANOTECNOLOGÍA



Fuente: Aristizábal (2013).

* *Software* de simulación AnyLogic para MBA - <http://www.anylogic.com/>.

Es así como se deben integrar todos los conceptos que hasta el momento hemos citado: *sistema, innovación, sistema de innovación, sistema nacional de innovación, sistema regional de innovación, simulación, modelo basado en agentes*, y a partir de estos conceptos se debe establecer la necesidad de implementar un modelo de simulación basado en los agentes del sistema regional de innovación.

Estructura de un SRI

Los agentes que interactúan en un sistema nacional o regional de innovación pueden llegar a ser agrupados de diversas formas. En primera instancia, como propone Velardiez (2008), pueden ser clasificados en cuatro subsistemas:

Las empresas y las estructuras de mercado:

- Usuaris y difusoras, materializan las innovaciones en productos comercializables, son el puente entre el sistema productivo y la innovación. Su participación dependerá de la integración en redes interempresariales, la relación con los proveedores y clientes, el nivel de internacionalización, la estructura de los mercados y el tipo de demanda, la cultura innovadora, etc.
- Las actuaciones públicas relacionadas con la innovación y el desarrollo tecnológico: Establecen el marco general, legal e institucional en el que se desenvuelven todos los agentes (estructura institucional, protección de la propiedad industrial e intelectual). Establecen la política tecnológica (planes de I+D+i), gestores (universidades, organismos públicos de innovación), promotores (centros tecnológicos, parques científicos y tecnológicos).
- La infraestructura pública y privada de soporte a la innovación: Facilitadores de la actividad innovadora de las empresas, proporcionándoles medios humanos y materiales, información, etc.

- Entorno nacional/regional: Estructura productiva, sistema financiero, sistema educativo, cultura innovadora

Seguidamente, apoyados en la literatura, se puede observar cómo llegan a existir puntos en común entre los estudios técnicos realizados. Según Doloreux (2002), se puede llegar a clasificar los agentes que interactúan dentro de un SRI de la siguiente forma:

- Las empresas:
 - Agentes generadores y difusores del conocimiento
 - Obligación a resistir la presión competitiva
 - Son las organizaciones de aprendizaje
- Las instituciones:
 - Agentes de investigación
 - Influyentes en la creación, el desarrollo, la transferencia y el uso de tecnologías
 - Estimulación de la innovación
- La infraestructura del conocimiento:
 - Producir, financiar, coordinar, supervisar y evaluar esfuerzos de innovación
 - Estimulación de la difusión de nuevas tecnologías (parques tecnológicos y parques científicos)
 - Apoyo técnico e informativo a las empresas
- Política orientada a la innovación regional:
 - Impactan a todo el sistema propiamente dicho
 - Aumentar la capacidad de aprendizaje y la difusión del conocimiento
 - Mejorar las interacciones entre todos los agentes antes citados

Los enfoques presentados para la conceptualización, las características y los principales atributos para los agentes pertenecientes a los SRI son concebidos bajo estudios técnicos realizados por los diferentes autores, en los que estos difieren en relación con la forma más no en la idea de fondo, esto es, que pueden aplicarse fácilmente al contexto de estudio para una región en particular (Álvarez, 2009) (podría ser la región de Antioquia, Colombia) o un contexto específico (Edquist, 2007), pues contienen características de adaptabilidad de conceptos.



Principales necesidades de los sistemas regionales de innovación desde la literatura

Para los *agentes*:

- En cuanto a su proximidad geográfica, cognitiva, organizacional, social, institucional, compartiendo normas, valores y leyes. En este inciso, reforzado por Archibugi, Howells y Michie (1999), Doloreux (2002) y Pyka y Scharnhorst (2009), todos los autores coinciden en su apreciación respecto a la necesidad inherente a la proximidad geográfica que aporta grandes ventajas en términos de búsqueda de socios, aglomeraciones de empresas en distritos industriales que minimizan costos de implementación de las estrategias propuestas dentro del SRI, compartiendo conocimiento táctico, etc.
 - Existencia de instituciones necesarias para el óptimo desarrollo
 - Instituciones adecuadas para emprender la innovación
 - Que las diversas interacciones conduzcan a transferencia del conocimiento
 - Estimulación interna de las instituciones para generación de conocimiento
- (Braczyk, Cooke y Heidenreich, 2004), (Isaksen, 2001), (Lundvall, 2007)

Existe un importante vínculo entre la especialización de la región y el tipo de actividades innovadoras que se realicen (Velardiez, 2008). Tödtling y Trippel (2005) respaldan esta idea cuando expresan que para aplicar políticas a nivel regional se deberán tener en cuenta los patrones de especialización industrial, la influencia del conocimiento en el proceso de innovación y el conocimiento táctico; por lo tanto, las regiones no se pueden medir de igual forma.

Teniendo presentes las principales necesidades inherentes de los SRI y sus generalidades muy bien estipuladas, se prosigue con todo el análisis del MBA desarrollado dentro del marco del pro-

yecto al cual está sujeta la presente investigación, en donde se podrán establecer sus fundamentos, principales necesidades y, por consiguiente, se propondrá un método para su aplicación con base en la literatura y la experiencia misma del desarrollo del modelo (esto para la fase III).

Fase II – Revisión del modelo de simulación basado en agentes del sistema regional de innovación

Generalidades

Las diversas aplicaciones de los modelos basados en agentes, junto con estudios previos de viabilidad investigativa y soporte presupuestal, dentro del proyecto “Análisis de la estructura, relaciones y dinámicas de agentes de los sistemas regionales de innovación” al cual está adscrita la presente investigación, se incluyeron en el trabajo titulado “Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del sistema regional de innovación de Antioquia”, lo que permite visualizar un alcance determinado, a partir de la literatura expuesta por Edquist (2007), en la que el concepto de *sistemas* puede aplicarse en un contexto en particular. Es así como se analizan el sistema de innovación del departamento de Antioquia (Colombia) y sus dinámicas desde la perspectiva de los sistemas adaptativos complejos, a través de la simulación de un modelo basado en agentes (el cual se describe como la metodología idónea para estudios sociales según el soporte de la literatura en el estado del arte anteriormente estipulado dentro de la investigación, cuyas aplicaciones se ramifican a través de muchos campos del conocimiento). Seguidamente, se obtuvo un modelo que relaciona variables e indicadores significativos a escala regional y que explora las relaciones y estructuras entre agentes del sistema, prestando atención especial a las condiciones en las cuales se genera la innovación a nivel regional.



Todo está basado en la necesidad de poseer un instrumento claro, conciso, entendible, amigable y estandarizado para el estudio de los sistemas regionales de innovación, que permita ver preliminarmente si todas las hipótesis, los cuestionamientos, los pensamientos y demás suposiciones que se puedan presentar son correctos o al menos puede considerarse muy probable que lo sean, para evitar de esta manera los sesgos que estas puedan provocar. Incluir una mayor cantidad de variables en el modelo propuesto para el sistema estudiado permitiría tener en cuenta un mayor entendimiento del comportamiento de este. Todo esto brindaría la oportunidad de desarrollar una discusión sobre las iniciativas mucho más nutrida, que pueda mostrar puntos específicos totalmente inesperados del fenómeno.

Las hipótesis a demostrar como parte de los objetivos se establecieron de la siguiente forma:

- Las redes de innovación parecen someterse a un ciclo de vida en el cual el número de alianzas crece al principio, alcanza su máximo y después declina.
- El número de nodos generados en el sistema crece y por lo tanto el número de vínculos; sin embargo, la densidad de la red parece decaer.

Estructura

Fundamentos básicos

Con base en el estado del arte de la presente investigación se hace énfasis en que el desarrollo teórico de los sistemas de innovación, en particular los sistemas regionales de innovación, ha sido moldeado por medio de diversas escuelas de pensamiento, como la economía del aprendizaje, la teoría de red, la economía evolutiva, la economía de la innovación, entre otras (Quintero y Robledo, 2013).

El SRI de Antioquia lleva más de dos décadas creciendo e implementándose a partir de iniciativas locales con una aproximación de carácter *bottom-up*, pues se considera a los agentes clave del

proceso como base de su construcción. Se trata de un acercamiento ágil de un todo que desea modelarse desde agentes anteriormente seleccionados, de los cuales se tiene suficiente soporte como para que los resultados revelen una aproximación de la realidad que se pretende estudiar. Rixon, Moglia y Burn (2005), en "Proceedings of the joint conference on multi-agent modelling for environmental management", desde la ciudad de Bourg-Saint-Maurice (Francia), con su trabajo "Bottom-up approaches to building agent-based models: discussing the need for a platform", brindan una guía para programadores novatos y/o experimentados durante el desarrollo de modelos basados en agentes, en particular con una aproximación *bottom-up*, en torno a la cual se realiza una completa revisión de literatura y aplicativa.

En los años ochenta, Antioquia se establecía como una de las regiones que disponía de una estructura básica de ciencia y tecnología con grandes fortalezas (sectores público, académico y productivo), planteando así retos a futuro en cuanto al desarrollo de una política de ciencia, tecnología e innovación (CTI) que fuera la estructura en la que se realizara la interacción entre los agentes, que hacen parte fundamental de la generación de innovación, recordando de este modo a Robledo y Ceballos (2008) y Edquist (2007).

En los años noventa hubo un cambio significativo en Colombia debido a la reestructuración de la Constitución. Entre dichos cambios se impactó directamente a las regiones otorgándoles cierta autonomía en la toma de atribuciones, decisiones y funciones; esto en aras de potencializar el desarrollo de las capacidades y a las instituciones, con el acompañamiento de la infraestructura para un sistema de ciencia e innovación, pero quedándose corto en cuanto a políticas de dinámicas de innovación en las regiones.

Ya en la última década se establece el Comité Universidad-Empresa-Estado vinculado con los Consejos Regionales de Competitividad y el Consejo Departamental de CTI. Esto impacta directamente en el óptimo desarrollo que la región de Antioquia ha tenido en cuanto a innovación entre sus diferentes SRI (Llisterri y Pietrobelli, 2011).



Contexto SRI y sus agentes: región Antioquia (Colombia)

Retomando la literatura, autores como Asheim y Gertler (2005) definen un SRI como la infraestructura institucional que apoya la innovación en la estructura productiva de la región presentando dos elementos centrales: una red de agentes (exploradores, explotadores, catalizadores y reguladores del conocimiento) y 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). A su vez, se debe tener en cuenta la interacción en un ambiente definido a nivel geográfico rigiéndose mediante políticas comunes de carácter sectorial, regional o nacional, recordando a Doloreux (2002). Asumiendo así la aplicación de políticas regionales (dado el caso del análisis de SRI), teniendo en cuenta la especialización industrial, la influencia del conocimiento en el proceso de innovación y el conocimiento táctico, en concordancia con Tödtling y Trippel (2005), lo cual es una necesidad inherente en el desarrollo de los SRI.

De esta forma, se deben analizar los SRI con base en la definición antes descrita, en la cual estos sistemas están compuestos por varios subsistemas de actores o agentes:

1. Explotadores: Aplican y explotan el conocimiento (empresas-clientes, proveedores, competidores)
2. Exploradores: Producen y difunden conocimiento y habilidades (instituciones de investigación-laboratorios, instituciones educativas, etc.)
3. Catalizadores: Facilitadores de la transferencia y la utilización del conocimiento (Zollo, De Crescenzo y Ponsiglione, 2011)
4. Reguladores: Brindan lineamientos y coordinan la red de innovación (la Agencia Nacional de Innovación, y para la región propiamente dicha, las políticas del gobierno regional)

Para el desarrollo óptimo de la interacción necesaria de todos estos agentes es imprescindible el entorno donde se lleve a cabo dicha interacción. Esto gracias a que la generación de la innovación nunca podrá realizarse de forma totalmente interna dentro de los agentes, para lo cual se debe aplicar exhaustivamente el concepto de *open innovation* (innovación abierta), reconociendo que la innovación no podrá generarse de manera aislada y, por lo tanto, necesita siempre adquirir las ideas y los recursos del entorno exterior (Gómez y Kerexeta, 2012).

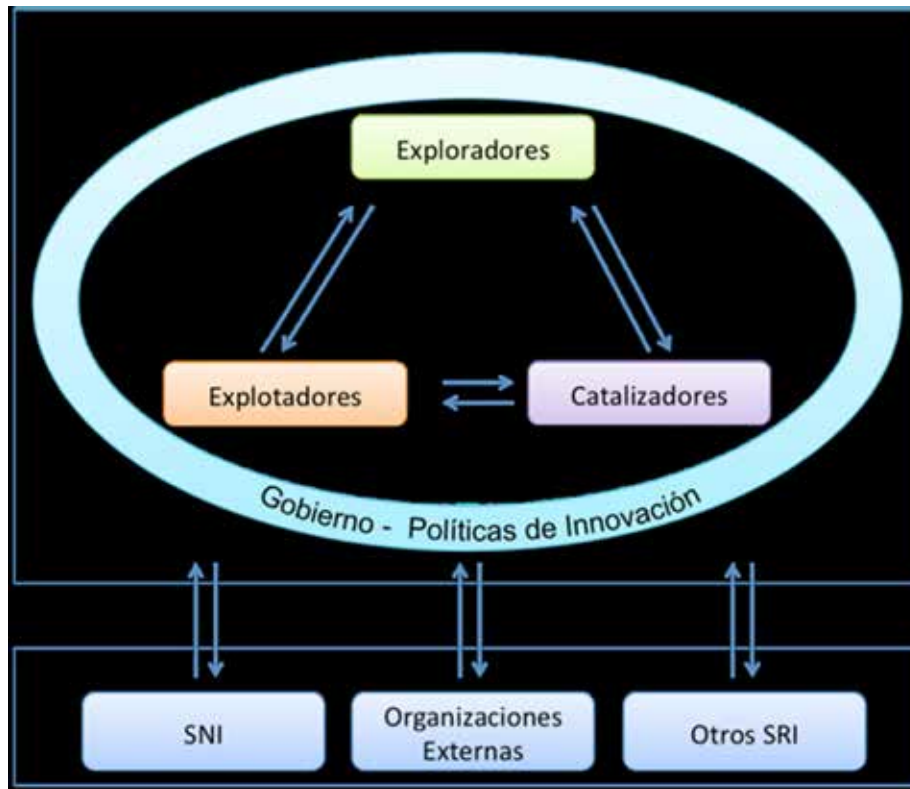
Para el caso específico del SRI de Antioquia, en el modelo que se desarrolló se planteó como supuesto que el principal agente en el subsistema generador de las políticas es el gobierno regional. Dicho agente fue representado como el entorno en el cual se desarrolla el SRI, definiendo así las políticas, la traza de los procesos de innovación, y estableciendo a su vez el marco de interacción entre los actores. Todo esto tiene una base fundamentada en la realidad que hoy en día se ve en la región, donde no hay presencia de una agencia regional que lidere como agente principal del subsistema del SRI.

Al mismo tiempo, en cuanto a este SRI en específico se debe rescatar que va en búsqueda de apoyos de conocimiento, económicos y experticia de otros organismos a nivel tanto nacional (sistema nacional de innovación) como internacional (organizaciones internacionales, etc.), para así poder adaptar dichos conocimientos a nivel de la región.

Es así que a nivel interno, luego de una constante retroalimentación de varias experiencias y aprendizaje, los actores que componen el SRI de Antioquia han implementado relaciones bidireccionales, como convenios, proyectos de investigación conjuntos, publicaciones, gestión de proyectos de investigación, prestación de bienes y servicios, organización de eventos de relacionamiento entre los actores, servicios de asesorías y consultorías, llevando así al sistema hacia el aprendizaje por la vía de las capacidades y las competencias.



FIGURA 4. MODELO DEL SISTEMA REGIONAL DE INNOVACIÓN DE ANTIOQUIA. FUENTE: "ANÁLISIS DE LAS DINÁMICAS, ESTRUCTURAS Y RELACIONES DE LOS AGENTES DEL SISTEMA REGIONAL DE INNOVACIÓN DE ANTIOQUIA", GRUPOS DE INVESTIGACIÓN GTI Y GISAI (2014), UPB, MEDELLÍN



Este SRI se encuentra a su vez sujeto a la adaptabilidad, teniendo en cuenta las propiedades que debe tener como un sistema que no sea estático y fácilmente predecible, ya que sería totalmente irrelevante estudiar factores sociales que son altamente complejos. Por lo tanto, el SRI se debe tomar como un sistema adaptativo complejo (SAC), que posee cierta capacidad de respuesta frente a cambios en el entorno mediante mecanismos como el aprendizaje a escala individual o la selección y el reemplazo. Esto directamente se refiere a los sistemas autoorganizados, que cumplen con el aumento del orden (Yamins, 2007), la autonomía, la adaptación (aprendizaje y evolución), la robustez, la anticipación (cognición) y el dinamismo (Perozo, Aguilar, Terán y Molina, 2012). Todas estas propiedades deberán estar sujetas a la adaptabilidad de forma íntegra, a la interacción entre las mismas y las reglas establecidas, con el fin de que sea posible que el sistema cumpla en su totalidad.

Esto nos lleva al concepto de *agentes inteligentes*, que son el principal componente dentro de un sistema de innovación, y si se extrapola al ámbito de la innovación estarán descritos mediante las siguientes propiedades (Perozo, 2011):

- Autonomía: Los agentes pueden tener sus propias motivaciones a partir de las cuales generan autónomamente sus objetivos.
- Comunicación: Capacidad de cada agente de conversar utilizando un lenguaje basado en ontologías⁴ (Weiss, 1999) y realizar intervenciones asíncronas.
- Movilidad: Habilidad del agente de moverse en el ambiente; un agente puede alojarse en cualquier nodo y realizar sus tareas utilizando los

4 Colección de conceptos, predicados, secuencias, términos y relaciones entre estos elementos, que son entendibles por una sociedad de agentes.



- recursos locales, para después volver a su nodo origen llevando la información procesada.
- Racionalidad: Los agentes tienen un conjunto de objetivos definidos, y emprenden acciones para conseguirlo.
- Inteligencia: Generalmente, la cualidad de la inteligencia es asociada directamente con el concepto de *agente*. Debido a que un agente debe analizar, ordenar ideas y conocimiento sobre el entorno para llegar a una conclusión, y tomar acción de forma autónoma, es necesario implementar esta característica utilizando alguna tecnología (algún *software*), imprimiéndole así inteligencia al agente.
- Razonamiento: Se refiere a que un agente puede decidir qué objetivo perseguir o a qué evento reaccionar, cómo actuar para conseguir el objetivo o suspender o abandonar un objetivo para dedicarse a otro (Palma y Marín, 2008). Es la capacidad de ordenar ideas con el fin de concluir algo.
- Reactividad: Los agentes perciben su entorno respondiendo a los cambios que ocurren en él.
- Sociabilidad: Los agentes interactúan con otros agentes mediante algún tipo de comunicación y convenios colectivos.

Propuesta del MBA para el SRI de Antioquia

Con base en el concepto de *sistema adaptativo complejo* (SAC) y todo lo que este incluye desde sus fundamentos, se formuló el modelo basado en agentes para el SRI de Antioquia.

Dentro del proyecto se establecieron los siguientes lineamientos, teniendo presente la realidad del sistema en sí mismo y la extensa revisión de literatura:

1. Amplia interacción entre los agentes que operan en el ámbito local y carencia de controlador central

2. Organizaciones multinivel con interacciones distribuidas
3. Adaptación continua
4. Presencia de elementos turbulentos (nuevos mercados, nuevas tecnologías, nuevos comportamientos)
5. Racionalidad limitada
6. Adaptación de agentes
7. Evaluación continua

El modelo integró dos aspectos diferentes:

1. Dimensión territorial de la innovación
2. Carácter sistemático y sistémico (Ponsiglione, De Crescenzo, Lanzetta y Zollo, 2012)

Se diseñó de acuerdo a la metodología propuesta por (Sterman, 2000):

1. Articulación del problema, respondiendo preguntas como ¿cuáles son las variables y conceptos clave?, facilitando la delimitación del horizonte de tiempo para el modelo y también conociendo el comportamiento histórico de las variables y conceptos clave.
2. Formulación de la hipótesis, utilizando modos y modelos de referencia, y búsqueda de datos que soporten el modelo.
3. Formulación del modelo y simulación, para especificar la estructura del modelo, los parámetros y las condiciones iniciales.

Es así como en la tabla 1, variables del modelo de SRI de Antioquia, se determinan las variables seleccionadas.



TABLA 1. VARIABLES DEL MODELO DE SRI DE ANTIOQUIA

Variables del modelo de SRI	Explicación de la variable	Variables del modelo de SRI	Explicación de la variable
E_Interrelacion	Es la longitud del vínculo de una empresa (agente explotador) con otros agentes del sistema medido en patches de distancia, implica un grado de relación geográfica.	Explotadores	Es el número de agentes Explotadores (empresas) que va a tener el sistema en la simulación.
U_Interrelación	Es la longitud del vínculo de una Universidad (agente explorador) con otros agentes del sistema medido en patches de distancia, implica un grado de relación geográfica.	Exploradores	Es el número de agentes Exploradores (universidades) que va a tener el sistema en la simulación.
%Empresa	Porcentaje de participación de los agentes Explotadores (empresas) dentro del sistema.	Catalizadores	Es el número de agentes catalizadores (centros tecnológicos) que va a tener el sistema en la simulación.
%Universidad	Porcentaje de participación de los agentes Exploradores (Universidades) dentro del sistema	%I+D	Es el porcentaje de Investigación y Desarrollo Nacional a simular para el SRI.
P_Universidad	Variable aleatoria de asignación de recursos dentro del sistema.	Imagen	La forma grafica con la cual se va a simular el SRI, puede ser sin imagen, imagen Antioquia o Imagen desigual de Antioquia.
P_Empresa	Variable aleatoria de asignación de recursos dentro del sistema.		

Para este modelo, las variables de entrada (*inputs*) fueron:

- %I+D.
- Número de agentes regionales en el sistema (exploradores, explotadores, catalizadores, gobierno).

Otras variables de importancia para la modelación son:

- El número de vínculos, el cual está representado dentro de la teoría de los SAC por dos variables: E_interrelación y U_interrelación.
- En los SAC, la interacción entre los agentes y el entorno es importante porque muestra cómo los agentes se desenvuelven y cómo varían los resultados.
- Existen para el modelo algunas variables aleatorias que simulan la asignación de recursos dentro del sistema para los diferentes agentes.

Para medir el comportamiento regional de la innovación se utilizaron las siguientes medidas de desempeño:

- Publicaciones científicas
- Patentes
- Vínculos del sistema y densidad de red

Para el diseño del sistema se estimó un límite de tiempo de cinco años, tiempo prudente en el cual un sistema puede desarrollar y generar proyectos, patentes y publicaciones.

Con la ayuda del programa NetLogo versión 5.0.3 (INSISOC, n.d.) se desarrolló un modelo del SRI para Antioquia, con las variables, parámetros, tiempos y resultados antes mencionados. Un esquema de este modelo se puede ver en las figuras 5, 6 y 7.



El modelo cuenta con una interfaz de simulación para el usuario, que permite manipular a voluntad los parámetros antes mencionados. Estos se encuentran ubicados en el lado izquierdo de la pantalla; en ese mismo lado se pueden encontrar también gráficos y monitores de resultados de las simulaciones.

La interfaz cuenta con dos botones de comando: Preparar_SRI y Simular_SRI. Una vez elegidos los parámetros de la simulación se utilizan ambos botones. La interfaz de simulación cuenta con tres tipos de imágenes del SRI de Antioquia, que se encuentran al lado derecho:

- Sin mapa
- Mapa Antioquia
- Distribución desigual Antioquia

Para el diseño del modelo de SRI de Antioquia se proponen diferentes tipos de configuraciones espaciales ya que, según Doloreux (2002), se ha establecido que aún no se ha podido determinar, a ciencia cierta, cómo se puede representar gráficamente un SRI.

La primera de ellas permite estudiar y simular las redes dentro de un entorno sin distribuciones espaciales, es una dinámica más amplia sin una división territorial dentro de las empresas. Para la segunda se estudia la configuración espacial de las redes, los territorios y los agentes. En la tabla 2, regiones de Antioquia y distribución de agentes, se puede observar que la distribución de los agentes en el departamento no es equitativa, ya que el 69% de ellos se encuentra en el Valle de Aburrá, un área pequeña comparada con el resto de territorio. Sin embargo da una muestra real de las dinámicas de redes del departamento.

TABLA 2. REGIONES DE ANTIOQUIA Y DISTRIBUCIÓN DE AGENTES. FUENTE: "ANÁLISIS DE LAS DINÁMICAS, ESTRUCTURAS Y RELACIONES DE LOS AGENTES DEL SISTEMA REGIONAL DE INNOVACIÓN DE ANTIOQUIA", GRUPO DE INVESTIGACIÓN GTI Y GISAI (2014), UPB, MEDELLÍN

Subregión de Antioquia	Distribución de Agentes
Bajo Cauca	2%
Magdalena	
Medio	5%
Nordeste	4%
Norte	3%
Occidente	1%
Oriente	7%
Suroeste	4%
Urabá	5%
Valle de Aburra	69%
9 Regiones	100%

Finalmente, se propone la distribución desigual de Antioquia, una propuesta gráfica para estudiar las dinámicas y las redes dentro del área ocupada destinada por los agentes. Surge entonces la pregunta ¿cuál debería ser el espacio requerido para una población que se estima en 69% de los agentes? Con base en esta pregunta se destinaron áreas de posible ocupación para los agentes en cada región según el porcentaje de agentes. (ver figuras 5, 6 y 7 en siguiente página)

FIGURA 5. SIMULACIÓN SRI SIN MAPA. FUENTE: "ANÁLISIS DE LAS DINÁMICAS, ESTRUCTURAS Y RELACIONES DE LOS AGENTES DEL SISTEMA REGIONAL DE INNOVACIÓN DE ANTIOQUIA", GRUPOS DE INVESTIGACIÓN GTI Y GISAI (2014), UPB, MEDELLÍN

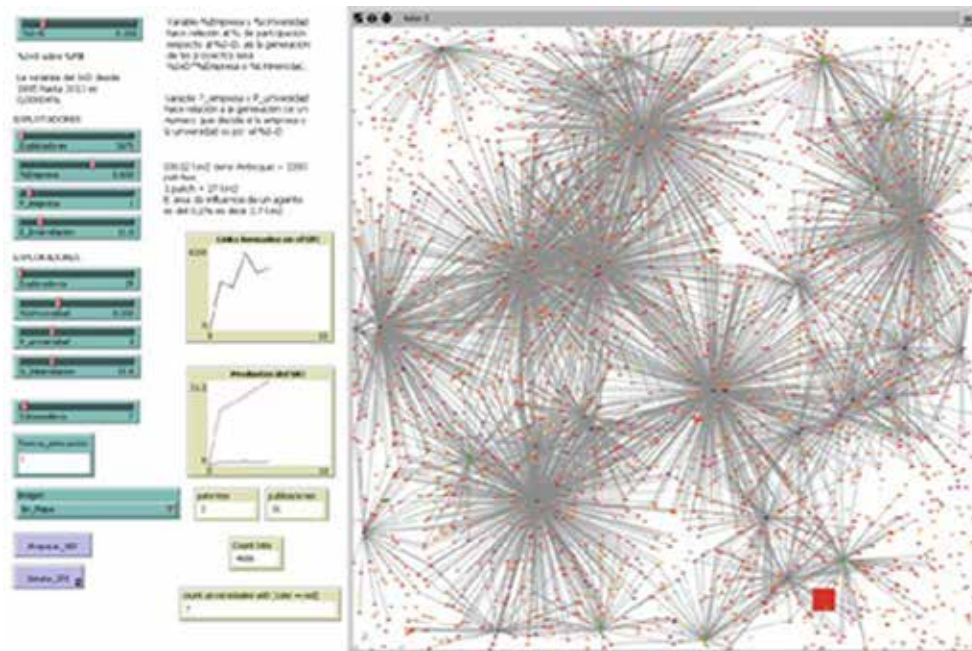


FIGURA 6. SIMULACIÓN SRI CON MAPA DE ANTIOQUIA. FUENTE: "ANÁLISIS DE LAS DINÁMICAS, ESTRUCTURAS Y RELACIONES DE LOS AGENTES DEL SISTEMA REGIONAL DE INNOVACIÓN DE ANTIOQUIA", GRUPOS DE INVESTIGACIÓN GTI Y GISAI (2014), UPB, MEDELLÍN

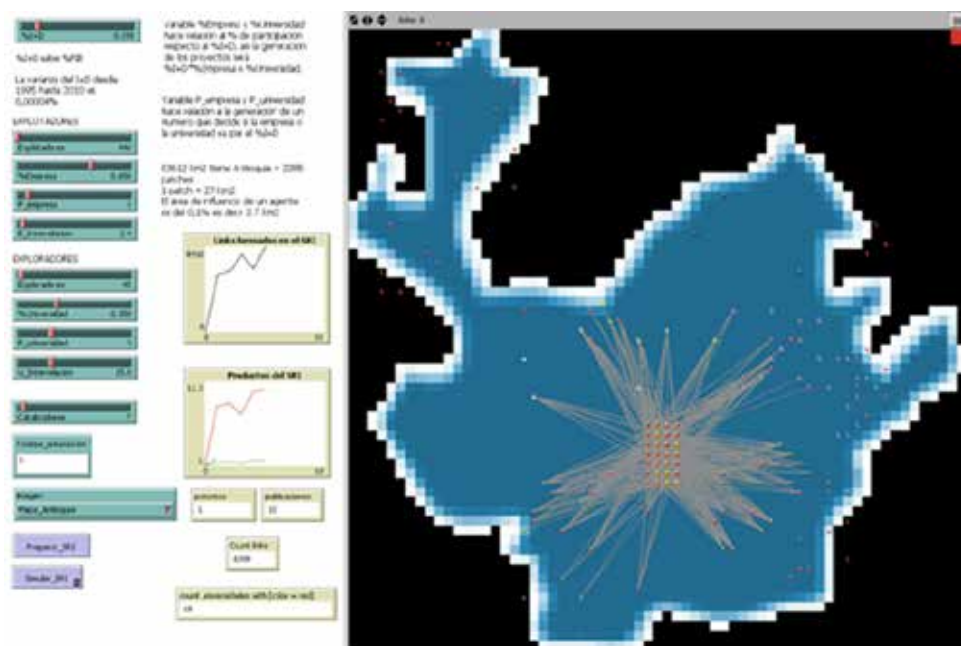
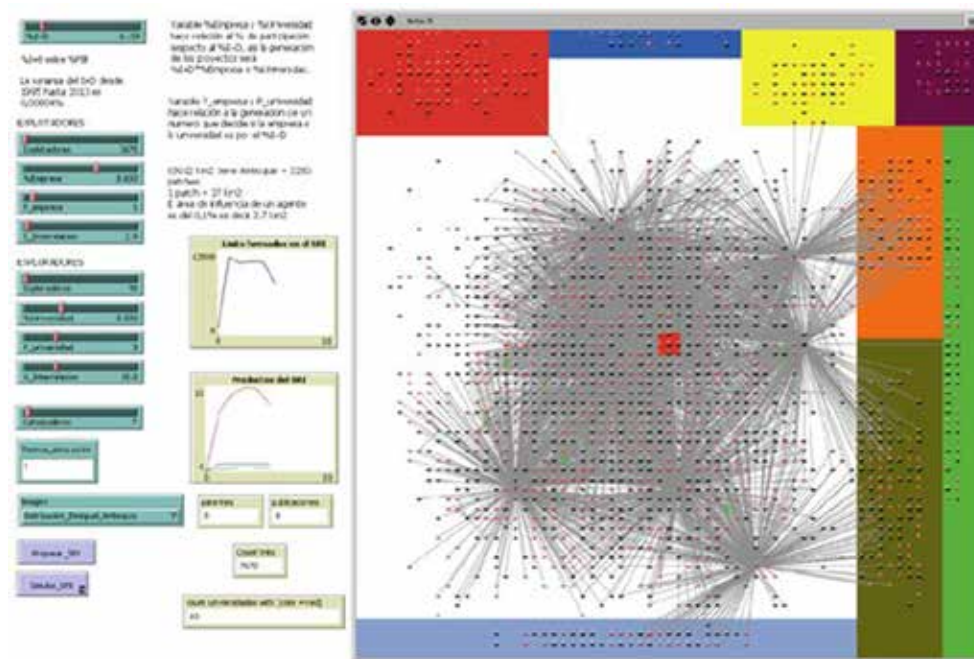


FIGURA 7. SIMULACIÓN SRI CON DISTRIBUCIÓN DESIGUAL ANTIOQUIA. FUENTE: "ANÁLISIS DE LAS DINÁMICAS, ESTRUCTURAS Y RELACIONES DE LOS AGENTES DEL SISTEMA REGIONAL DE INNOVACIÓN DE ANTIOQUIA", GRUPOS DE INVESTIGACIÓN GTI Y GISAI (2014), UPB, MEDELLÍN



Como se puede observar en las figuras 8, 9 y 10, se presenta de manera muy visual cómo el comportamiento dinámico y relacional de los SRI se conceptualiza como una red. Aunque la definición formal de una red es útil en el desarrollo matemático de la teoría, para este caso basta con considerar que una red es un montón de nodos entre los que existen conexiones; incluso, en un mismo conjunto de nodos se pueden definir redes diferentes dependiendo de cómo se hayan definido las conexiones (Aldana, 2014).

Teniendo presente el concepto de red, se debe realizar el análisis de la misma. El análisis de redes utiliza propiedades particulares para estudiar su comportamiento como coeficiente de clusterización de red y grados de distribución de la red, que permiten determinar cuán conectada es la red de agentes en el SRI (Newman, 2003).

$$C_i = \frac{\text{Numero de triángulos conectados al vértice } i}{\text{Numero de tripletas centradas en el vértice } i}$$

Ecuación 1. Clusterización en una red. Fuente: "Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del sistema regional de innovación de Antioquia", grupos de investigación GTI y GISAI (2014), UPB, Medellín.

$$C = \frac{1}{n} \sum C_i$$

Ecuación 2. Coeficiente de clusterización en una red. Fuente: "Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del sistema regional de innovación de Antioquia", grupos de investigación GTI y GISAI (2014), UPB, Medellín.

Otra propiedad para estudiar las redes es la dada por los grados de distribución, que consiste en describir en forma de histograma qué cantidad de vértices tienen los agentes del sistema, evidenciando su nivel de conectividad (Newman, 2003). Mediante estas propiedades se puede realizar todo el análisis del SRI con un soporte matemático y estadístico que puede ser profundizado⁵.

Es así como el modelo queda abierto para su aplicación, tomando en consideración el entorno y las características fundamentales de los agentes del SRI de Antioquia, para los que se requiere un gran esfuerzo en relación con la recolección de datos, las visitas de campo, el desarrollo de herramientas para todo el estudio, etc., y esto ya es considerado mucho más a profundidad dentro del macroproyecto al cual está sujeto. Para el alcance de la presente investigación solo es necesario comprender su estructura en general, sus necesidades, cómo se concibió y desarrolló.

Información fundamental es que a través del modelo de simulación se puede observar que el SRI en Antioquia responde a una agrupación compleja de agentes que, a través del tiempo, buscan agrupaciones de otros agentes para cooperar en el sistema, aprendiendo mediante reglas a transformar este espacio. De esta forma se puede evidenciar que el SRI en Antioquia responde a las características de un sistema adaptativo complejo, abarcando así la ciencia de la complejidad como medio para entender las comunidades inmersas en los diversos SRI. En este sistema hay mayor cantidad de redes centralizadas en Medellín, esto se debe principalmente a que un vasto porcentaje de los agentes regionales, aproximadamente 69% (subregión Valle de Aburrá), se encuentran en dicha subregión.

5 Todo el análisis matemático y estadístico profundo y extensivo se puede visualizar consultando directamente el trabajo "Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del sistema regional de innovación de Antioquia", grupos de investigación GTI y GISAI, UPB, Medellín.

Principales necesidades

La idea central en la literatura sobre sistemas regionales de innovación es que el rendimiento de la economía depende directamente de las capacidades de innovación de las entidades e instituciones de investigación y de las diversas formas en que estas interactúan con las instituciones públicas, tomando también en consideración el marco legal y regulatorio, y a su vez las variables de la demanda a suplir de acuerdo al contexto (Ponsiglione, De Crescenzo, Lanzetta y Zollo, 2012). Es fundamental establecer prioridades en la promoción de innovación y diseñar políticas claras e implementar una apropiada combinación de herramientas que soporten la definición de dichas prioridades; es de suma importancia establecer cómo es producido el conocimiento, el tipo de conocimiento que es producido y cómo se organiza la interacción entre los agentes.

Como el modelo se diseñó de acuerdo a la metodología propuesta por Sterman (2000):

1. Articulación del problema, respondiendo preguntas como ¿cuáles son las variables y conceptos clave? y facilitando la delimitación del horizonte de tiempo para el modelo y también conociendo el comportamiento histórico de las variables y conceptos clave
2. Formulación de la hipótesis, utilizando modos y modelos de referencia, y búsqueda de datos que soporten el modelo
3. Formulación del modelo y simulación, en donde se especifican la estructura del modelo, los parámetros y las condiciones iniciales,

resulta vital identificar estas tres instancias con suma claridad, desde la perspectiva de la región específica.



Análisis de resultados

Fase III – Estudio y análisis de toda la información obtenida. Propuesta de aplicación MBA

Alcance

Los sistemas regionales de innovación poseen diferentes características en diferentes regiones, dependiendo de la especialización industrial que esta posea (Andersson y Karlsson, 2006); y a su vez, los SRI pueden ser muy diferentes entre regiones, con similares estructuras industriales. Es por eso que se define anteriormente el alcance centrando todo en la región de Antioquia, Colombia, en donde no se puede generalizar e implementar toda la investigación ya aplicada de forma genérica.

Justificación

De acuerdo con todo el análisis desde la literatura y el MBA para el SRI de Antioquia, se pueden encontrar varios aspectos en común que solo el conocimiento empírico y científico puede desarrollar de forma óptima. Esta es la razón por la cual se limitó el estudio a soportar desde el estado del arte los estudios anteriores, la revisión bibliográfica, las necesidades inherentes al concepto de SRI y todo lo que este conlleva, y claro está, todas las necesidades que el MBA ha desarrollado, para lograr enmarcar un análisis totalmente objetivo con miras hacia el planteamiento de un método de aplicación del mismo de forma eficaz, que logre establecer un estándar fácilmente comprensible para el lector.

TABLA 3. PRINCIPALES NECESIDADES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

NECESIDADES DEL SRI	NECESIDADES DEL MODELO DESARROLLADO
<p>Para los <i>agentes</i>: En cuanto a su proximidad geográfica, cognitiva, organizacional, social, institucional, compartiendo normas, valores y leyes. Este inciso es reforzado por Archibugi, Howells y Michie (1999), Doloreux (2002) y Pyka y Scharnhorst (2009). Todos ellos coinciden en su apreciación respecto a la necesidad inherente a la proximidad geográfica que aporta grandes ventajas en términos de búsqueda de socios, aglomeraciones de empresas en distritos industriales que minimizan los costos de implementación de las estrategias propuestas dentro del SRI, compartiendo conocimiento táctico, etc.</p> <p>Existencia de instituciones necesarias para el óptimo desarrollo. Instituciones adecuadas para emprender la innovación.</p> <p>Que las diversas interacciones conduzcan a la transferencia del conocimiento.</p> <p>Estimulación interna de las instituciones para generar conocimiento (Braczyk, Cooke y Heidenreich, 2004), (Isaksen, 2001), (Lundvall, 2007).</p> <p>Existe un importante vínculo entre la especialización de la región y el tipo de actividades innovadores que se realicen (Velardiez, 2008). Tödtling y Trippl (2005) respaldan esta idea cuando expresan que para aplicar políticas a nivel regional se deberán tener en cuenta los patrones de especialización industrial, la influencia del conocimiento en el proceso de innovación y el conocimiento táctico; por lo tanto, las regiones no se pueden medir de igual forma.</p>	<p>La idea central en la literatura sobre sistemas regionales de innovación es que el rendimiento de la economía depende directamente de las capacidades de innovación de las entidades e instituciones de investigación y de las diversas formas en que estas interactúan con las instituciones públicas, tomando también en consideración el marco legal y regulatorio, y a su vez las variables de la demanda a suplir de acuerdo al contexto (Ponsiglione, De Crescenzo, Lanzetta y Zollo, 2012). Es fundamental establecer prioridades en la promoción de la innovación y diseñar políticas claras e implementar una apropiada combinación de herramientas que soporten la definición de dichas prioridades; es de suma importancia establecer cómo es producido el conocimiento, el tipo de conocimiento que es producido y cómo se organiza la interacción entre los agentes.</p>



A pesar de que se tiene un gran componente de revisión e información, se deseó resumir los puntos clave en la tabla 3, principales necesidades, para que de esta manera se tenga una visión mucho más global pero sin demeritar todo lo que hasta el momento se ha venido agregando conforme la investigación ha ido avanzando.

En un primer momento se debe reconocer que la esencia de los agentes que interactúan en un SRI no se encuentra inmersa en sí mismo, sino más bien en el entorno en que se desarrollen. Es por eso que, según Pietrobelli (2014), se realiza una revisión internacional realmente exhaustiva de las buenas prácticas de programas que promuevan los sistemas regionales de innovación, se pueden dar pautas a los gobiernos regionales sobre cómo desarrollar un óptimo sistema regional de innovación, y mucho más si ya se tiene un MBA del SRI de Antioquia. Este proceso implica tomar el modelo correspondiente y acompañarlo de políticas establecidas para la transferencia de tecnología, la creación de clústeres, fortalecer la relación universidad-empresa desde todos los ámbitos y programas con un enfoque claramente territorial. Es aquí donde vamos encontrando puntos en común de las necesidades a satisfacer tanto para los SRI propiamente dichos como para el modelo desarrollado (ver la tabla 3, principales necesidades).

Posteriormente se deben asegurar fuentes de información para todos los actores, por ejemplo *The Economic Commission for Latin America and the Caribbean (UN-ECLAC) Science and Technology for Development (CYTDES)*, *Erawatch*, las páginas del Inter-American Development Bank (IADB) y el World Bank, y de esta manera desarrollar los programas que soporten el SRI con la siguiente estructura: título del programa, política (que incluya el desarrollo regional y el desarrollo empresarial), política general (compromiso de los actores, la colectividad de servicios y los colaboradores de gran escala), tipo de programa (características principales), agencia encargada (institución regional o nacional a cargo de la coordinación y la implementación), palabras clave, característica principal (un breve resumen del programa),

fortalezas y debilidades del programa, descripción completa del programa, objetivo general, objetivos específicos, grupos focales, modo de funcionamiento y selección de los beneficiarios, duración, financiamiento, costos asociados, presupuesto general especificando cada fuente de financiamiento para cada actividad/etapa/fase, resultados, evaluación, *link* (si aplica para página web); todos estos incisos pueden representarse mediante una matriz lo más entendible posible, se comunican, se documentan muy bien, se les realiza la trazabilidad establecida y se deben regir dentro de los lineamientos del gobierno regional.

Pueden aplicarse diferentes tipos de programas:

- Programas para transferencia de tecnología
- Programas con un claro foco en el territorio
- Programas para conformar clústeres y desarrollarlos
- Programas enfocadas hacia el fortalecimiento de la relación universidad-empresa

El control para cada uno de estos programas, con el fin de asegurar que realmente están generando un gran impacto positivo, deberá realizarse desde las cifras de nuevos puestos de trabajo generados, la cantidad de inversiones para nuevas empresas creadas, etc.; también se deben considerar al especialización de la región y las políticas más apropiadas de acuerdo a sus especificidades, y finalmente se deben evaluar todos los objetivos propuestos para cada programa, con el propósito de que su desarrollo sea íntegro y efectivo y no solo cumpla con ciertas partes, porque de lo contrario no sería sostenible en el tiempo.

Para el establecimiento de programas dentro del entorno regional son necesarios:

1. La claridad en la motivación para la intervención
2. La especialización del programa
3. El establecimiento de objetivos reales y cumplibles
4. El soporte público
5. La importancia de la triple hélice: universidad-empresa-Estado
6. El compromiso del sector privado
7. El buen uso de los bienes
8. La intermediación de clústeres



Asegurando un entorno saludable se tiene una alta probabilidad de que al implementar un SRI se logre impactar positivamente la generación de innovación. Pero esto no basta, no es suficiente para asegurar que si se toma el MBA del SRI de Antioquia se logren cubrir todas las necesidades antes descritas.

Estructura

Para el diseño del MBA del SRI de Antioquia se tomó como referencia la metodología propuesta por Sterman (2000), compuesta por tres instancias. Lo que se busca en este momento de la investigación es tomar todo lo desarrollado e implementar ciertos pasos luego de una exhaustiva revisión de literatura que dé respuesta a las necesidades inherentes del concepto de SRI y el modelo que ya se ha trabajado, así como entregar un derrotero en el cual se particularicen todas las necesidades entrecruzadas.

Con base en todo lo visto hasta el momento, en este punto de la investigación se determinan los parámetros que se deben cumplir para implementar el modelo:

- Estructuras espacio-temporales
- Múltiples estados estables
- Bifurcaciones
- Determinar muy bien las dinámicas de interacción entre un agente y el entorno para que de esta forma se pueda originar una estructura o funcionalidad emergente
- Agrupamiento de especialistas
- Al implementar es de resaltar un patrón conocido que muestra las propiedades deseadas emergentes (los patrones proporcionan efectivas soluciones reutilizables a problemas recurrentes)

Se deben tener muy bien identificados los agentes reguladores, explotadores, exploradores y catalizadores, revisándole a cada uno si está integrado a un programa, lo cual es muy importante, como antes lo habíamos mencionado.

Resulta importante, además, la aplicación de nuevos conocimientos obtenidos a través de la aper-

tura internacional para incorporar modelos internacionales a nivel regional, que aporten nuevas e innovadoras herramientas.

La innovación, vista desde la perspectiva de James (1979) como crear e introducir soluciones originales a las necesidades existentes y las nuevas que surjan, debe ser el pilar que permita enfocar los esfuerzos hacia una búsqueda de conocimiento y que haga que la generación de utilidades para todos los actores se derive de este esfuerzo.

Se deben implementar estudios apoyados por el gobierno regional, enfocados hacia las temáticas especializadas que existen para la región de Antioquia en específico y así poder llegar a explotar las mayores capacidades y ventajas que se poseen.

Es de resaltar que cuando se incorpora una ayuda tecnológica como un *software* (el cual se pudo observar en el MBA del SRI de Antioquia) es inherente a la simulación el hecho de que nunca se tomarán en cuenta todas las variables que entran en juego y de que esta herramienta le aporta "inteligencia" a todos los agentes; pero antes de esto, se debe analizar muy bien cómo y por qué se les están otorgando ciertas características y rasgos, y se debe determinar si en realidad se está cumpliendo mínimamente con dichas características.

Conclusiones y recomendaciones

El desarrollo de políticas nacionales y regionales siempre estará sujeto al factor humano, que muchas veces es el impedimento primordial para asegurar el avance hacia nuevas realidades propuestas desde la academia. Muchos de estos tipos de investigaciones, a pesar de que poseen un fundamento y un financiamiento muy visibles, muchas veces se quedan en proyectos debido a que no existe una verdadera comunicación entre los diversos actores. La universidad, perteneciente a la triple hélice: universidad-empresa-Estado es fundamental para el desarrollo del SRI, pero si no hay colaboración de los tres a la vez no hay esfuerzo que valga.



Con relación al punto de vista territorial, vemos que la producción de la región de Antioquia con respecto a la innovación se encuentra focalizada, con un 69%, en la subregión del Valle de Aburrá. Lo que se busca con este trabajo es precisamente determinar cómo suplir las necesidades del SRI de forma equitativa, proponiendo programas y la manera en que estos deben ser gestionados y estar sujetos siempre al seguimiento.

La propuesta para un método de aplicación para un MBA de los SRI aún está lejos de poder ser considerada como algo totalmente tangible, estandarizado y puntual, debido a que si lo establecemos desde la literatura aún hay muchos conceptos que poseen muchas formas de interpretación, y a su vez se encuentra el factor de la "realidad", entendido este como que a pesar de que se puedan brindar lineamientos fuertemente argumentados, nada es posible sin una verdadera gestión del conocimiento, un apoyo íntegro en programas que sustenten el SRI, un entendimiento transparente y sincero por parte de los gobiernos regionales que prioricen sobre lo que realmente importa. Así pues, el camino está trazado y se recomienda acompañar modelos basados en agentes para aplicaciones en las ciencias sociales desde una argumentación más amena y entendible y no tan matemática y estadística, como la que se desarrolló en el presente trabajo, para así acercar mucho más a la academia con el diario vivir y que se entienda que existe la necesidad de que el público en general tenga más interacción con estas temáticas.

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. De igual forma se recomienda realizar modelos que permitan conocer los fenómenos emergentes en los SRI, como los patrones de compartición

del conocimiento y sus procedimientos localizados de búsqueda y exploración, la integración y especialización de redes localizadas y el consiguiente alineamiento de los modos de gobernanza, así como la dependencia de las trayectorias históricas de sus procesos de innovación. (GTI y GISAI, 2014, p.xx)

Referencias

- Ackoff, R. (1959). Games, Decisions, and Organization. *General Systems*, 4, 145-150.
- Aldana, M. (2014). *Redes Complejas: Estructura, Dinámica y Evolución*. Recuperado de <http://www.fis.unam.mx/~max/MyWebPage/notastwocolumn.pdf>.
- Álvarez, C. (2009). Los clúster del sistema regional de innovación antioqueño: más debilidades que fortalezas en su desempeño. *Tecno Lógicas*, (23), 187-222.
- Andersson, M., y Karlsson, C. (2006). Regional Innovation Systems in Small and Medium-Sized Regions. En B. Johansson, C. Karlsson y R. Stough, *The Emerging Digital Economy* (pp.55-81). Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- Archibugi, D., Howells, J., y Michie, J. (1999). Innovation Policy in a Global Economy. Cambridge: Cambridge University Press.
- Aristizábal, A. (2013). *Dinámicas de conocimiento entre la industria y universidades en la nanotecnología mediante simulación basada en agentes*. Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de magíster en Ingeniería Administrativa. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Ashby, W. R. (1952). Can a Mechanical Chess-Player Outplay its Designer. *British Journal of Philosophy of Science*, (3), 44-57.
- Asheim, B., y Gertler, M. (2005). The Geography of Innovation Regional Innovation Systems. En J. Fagerberg, D. Mowery y R. Nelson, *The Oxford Handbook of Innovation* (pp.291-317). Oxford: Oxford University Press.



- Axelrod, R., y Tesfatsion, L. (2014, 16 de abril). *On-Line Guide for Newcomers to Agent-Based Modeling in the Social Sciences*. Recuperado de <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/abmread.htm>.
- Bailey, A., Lawrence, M., Shang, H., Katz, A., y Peirce, S. (2009). Agent-Based Model of Therapeutic Adipose-Derived Stromal Cell Trafficking during Ischemia Predicts Ability To Roll on P-Selectin. *Plos Computational Biology*, 5 (2), 1-17.
- Bertalanffy, L. V. (1976). Teoría general de los sistemas. Ciudad: Fondo de Cultura Económica de España. Bertalanffy, L. V., Ashby, W. R., y Weinberg, G. M. (1978). Tendencias en la teoría general de sistemas. Madrid: Editorial.
- Borshchev, A., y Filippov, A. (2004). From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools. *The 22nd International Conference of the System Dynamics Society*. Oxford, England.
- Boschma, R. (2005). Proximity and Innovation: A Critical Assessment. *Regional Studies*, 39, 61-74.
- Braczyk, H., Cooke, P., y Heidenreich, M. (2004). *Regional Innovation Systems: The Role of Governances in a Globalized World*. London: Routledge.
- Bradley, D. F., y Calvin, M. (1956). Behavior: Imbalance in a Network of Chemical Transformation. *General Systems*, vol.(núm.), 56 - 65.
- Caicedo, H. (2012). Análisis del sistema regional de ciencia, tecnología e innovación del Valle del Cauca. *Estudios Gerenciales*, 28, 125-148.
- Cooke, P. (1992). Regional innovation systems: Competitive regulation in the new Europe. *Geoforum*, 23(3), 365-382.
- Cvetanović, S., y Sredojević, D. (2012). The Concept of National Innovation System. *Economic Themes*, vol.(núm.), 167-185.
- Doloreux, D. (2002). What we should know about Regional Systems of Innovation. *Technology in society*, 24(3), 243-263.
- Dong, X., Foteinou, P., Calvano, S., Lowry, S., y Androulakis, I. (2010). Agent-Based Modeling of Endotoxin-Induced Acute Inflammatory Response in Human Blood Leukocytes. *Plos One*, 5(2), 1-13.
- Drucker, P. (2002). The Discipline of Innovation. *Harvard Business Review*, 80(8), 95-102.
- Drucker, P. F. (1986). *Innovation and Entrepreneurship*. New York: Harper Prenal.
- Eapen, B. (2009). Agent-based model of laser hair removal: A treatment optimization and patient education tool. *Indian Journal of Dermatology, Venereology & Leprology*, 75(4), 383-387.
- Edquist, C. (2007). Systems of Innovation Approaches. Their Emergence and Characteristics. En C. Edquist, *Systems of Innovation: Technologies, Institutions, and Organizations* (pp.1-35). London and Washington: Pinter.
- EUROSTAT & OECD. (2005). *Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data*. Ciudad: Editorial.
- Feria, M., Rodríguez, M., y Herrera, S. (2012). El sistema regional de innovación en Aguascalientes (México): Entre el discurso y la realidad. *Cuadernos de Administración*, 25(45), 163-184.
- Fleming, L. (2001). Recombinant Uncertainty Technological Search. *Management Science*, 47(1), 117-132.
- Freeman, C. (1982). *Unemployment and Technical Innovation: A Study of Long Waves and Economic Development*. London: Greenwood Press.
- Freeman, C. (1987). *Technology Policy and Economic Policy: Lessons from Japan*. London: Pinter.
- García-Veldecasas, J. (2011). La simulación basada en agentes: una nueva forma de explorar los fenómenos sociales. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, 136, 91-109.
- Garson, G. (2009). *Computerized Simulation in the Social Sciences A Survey and Evaluation. Simulation & Gaming*, 40(2), 267-279.
- Gigch, J. P. (2004). *Teoría general de sistemas*. México: Trillas.
- Gilbert, N. (2008). *Agent-Based Models (Quantitative Applications in the Social Sciences)*. London: Sage Publications.
- Goldthorpe, J. H. (2000). *On Sociology: Numbers, Narratives, and the Integration of Research and Theory*. Oxford: Oxford University Press.



- Gómez, M., y Kerexeta, G. (2012). Introduction: A Variety of Innovation Topics Approaches. *Cuadernos de Gestión*, 12, 15-25.
- González, S. (2004). ¿Sociedades artificiales? Una introducción a la simulación social. *Revista Internacional de Sociología*, (39), 199-222.
- González, S. (2006). *The Role of Dynamic Network in Social Capital: A Simulation Experiment*. *Revista de Sociología*, (80), 171-194.
- Haire, M. (1959). *Biological Models and Empirical History of The Growth of Organizations*. New York: Editorial.
- Hedström, P. (2005). *Dissecting the Social*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Isaksen, A. (2001). Building Regional Innovation Systems: Is Endogenous Industrial Development Possible in the Global Economy? *Canadian Journal of Regional Science*, 1, 101-120.
- Lauberte, I., y Ginters, E. (2008). *Annual Proceedings of Vidzeme University of Applied Sciences "ICTE in Regional Development"*. Valmiera: Vidzeme University of Applied Sciences, Socio-technical Systems Engineering Institute.
- Leydesdorff, L., y Fritsch, M. (2006). Measuring the knowledge base of regional innovation systems in Germany in terms of a Triple Helix dynamics. *Research Policy*, 35(10), 1538-1553.
- Lilienfeld, R. (1984). *Teoría de sistemas, orígenes y aplicaciones en ciencias sociales*. México D.F.: Trillas.
- Llisterri, J. J., y Pietrobelli, C. (2011). Los sistemas regionales de innovación en América Latina. Washington D.C.: Publicaciones Banco Interamericano de Desarrollo.
- Lundvall, B. A. (1992). *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. London: Pinter.
- Lundvall, B. A. (2007). National Innovation Systems - Analytical Concept and Development Tool. *Industry and Innovation*, 14(1), 95-119.
- Lundvall, B. A., y Lindgaard, J. (2004). *Product Innovation, interactive learning and economic performance*. Filadelfia: Elsevier.
- Lundvall, B. A., Johnson, B., Sloth, E., y Dalum, B. (2002). National Systems of Production, Innovation and Competence Building. *Research Policy*, 31(2), 213-231.
- Metcalf, J. (1998). *Evolutionary Economics and Creative Destruction*. London: Routledge.
- Metcalf, J. S., y Miles, I. (2000). *Innovation Systems in the Service Economy*. Boston: Kluwer Academic Publisher.
- Miller, B. W., Breckheimer, I., McCleary, A. L., Guzmán-Ramírez, L., Caplow, S. C., Jones-Smith, J. C., y Walsh, S. J. (2010). Using stylized agent-based models for population-environment research: A case study from the Galápagos Islands. *Population & Environment*, 31, 401-426.
- Navarro, M. (2002). El marco conceptual de los sistemas de innovación nacionales y regionales. *Revista Madrid, (Monografía 4)*, 87-102.
- Newman, M. (2003). The structure and function of complex networks. *Siam Review*, 45, 167-256.
- Palma, J., y Marín, R. (2008). *Inteligencia Artificial, Técnicas, Métodos y Aplicaciones*. Ciudad: McGrawHill.
- Perozo, N. (2011). *Modelado multiagente para sistemas emergentes y auto-organizados*. Tesis doctoral presentada en cotutela ante la Universidad de Los Andes y la Universidad Paul Sabatier como requisito para optar al título de Doctor, Mérida.
- Perozo, N., Aguilar, J., Terán, O., y Molina, H. (2012). An affective model for the multiagent architecture for self-organizing and emergent systems (MASOES). *Revista Técnica de Ingeniería Universidad de Zulia*, 35(1), 80-90.
- Ponsiglione, C., De Crescenzo, E., Lanzetta, V., y Zollo, G. (2012). *The Analysis of Regional Innovation Systems in Europe: the Case of a Region with Medium-Low Innovation Capability*. 15th Uddevalla Symposium, Entrepreneurship and Innovation Networks. Faro, Portugal.
- Pyka, A., y Scharnhorst, A. (2009). *Innovation Networks: New approaches in Modelling and Analyzing*. Berlin: Springer.
- Quezada, A., y Canessa, E. (2010). Modelado basado en agentes: Una herramienta para completar el análisis de fenómenos sociales. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 28(2), 226-238.
- Quintero, S., y Robledo, J. (2013). *El aprendizaje como propiedad emergente en los sistemas regionales de innovación*. xv Congresso da Associação Latino-Iberoamericana de Gestão de Tecnologia, ALTEC. Porto.



- Rixon, A., Moglia, M., y Burn, S. (2005). *Bottom-up approaches to building agent-based models: discussing the need for a platform*. Proceedings of the Joint Conference on Multi-agent Modelling for Environmental Management. Bourg-Saint-Maurice, France.
- Robledo, J., y Ceballos, Y. (2008). Estudio de un proceso de innovación utilizando la dinámica de sistemas. *Cuadernos de Administración*, 21(35), 127-159.
- Schumpeter, J. A. (2006). *Essays on entrepreneurs, innovations, business cycles, and the evolution of capitalism*. Ciudad: Transaction.
- Seki, I., y Barbaros, R. (2011). National Innovation Systems and University Economics Approach for Measuring Competitive Power. *Ege Academic Review*, vol.(núm.), 407-424.
- Sklar, E. (2007). Software Review: Netlogo, a Multi-agent Simulation Environment. *Artificial Life*, 13(3), 303-311.
- Sterman, J. (200). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Irwin: McGrawHill.
- Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Irwin: McGrawHill.
- Tesfatsion, L., y Judd, K. (2006). *Handbook of Computational Economics, Volume 2: Agent-Based Computational Economics*. Netherlands: Elsevier.
- Tödtling, F., y Trippel, M. (2005). One size fits all?: Towards a differentiated regional innovation policy approach. *Research Policy*, 34(8), 1203-1219.
- Velardiez, M. (2008). Política tecnológica y agentes del sistema regional de innovación. Impacto del V PM de I+D de la UE en las regiones españolas. *Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*, (60), 95-120.
- Weiss, G. (1999). *Multiagent Systems: A modern Approach to Distributed Modern Approach to Artificial Intelligence*. Cambridge: The MIT Press.
- Wilson, B. (1993). *Sistemas: Conceptos, metodología y aplicaciones*. México: Limusa.
- Wymore, W. (1967). *Mathematical Theory of Systems Engineering: The Elements*. New York: Editorial.
- Yamins, D. (2007). *A Theory of Local-to-Global Algorithms for One-Dimensional Spatial Multi-Agent Systems*. A dissertation presented to the School of Engineering and Applied Sciences in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in the subject of Applied Mathematics, Cambridge.
- Zhong, X., y Ozdemir, S. (2010). Structure, learning, and the speed of innovation: A two-phase model of collective innovation using Agent Based Modeling. *Industrial and Corporate Change*, 19(5), 1459-1492.
- Zollo, G., De Crescenzo, E., y Ponsiglione, C. (2011). *A gap analysis or Regional Innovation Systems (RIS) with medium-low innovative capabilities: The Case of Campania region (Italy)*. ESU European University Network on Entrepreneurship Conference, University of Seville. Seville, Spain.

