



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

Edgar David Embuz Padilla

Universidad Pontificia Bolivariana
Escuela de Ingenierías
Facultad de Ingeniería Industrial
Especialización en Sistemas Integrados de Gestión
Medellín, Colombia
2014

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

Edgar David Embuz Padilla

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Especialista en Sistemas Integrados de Gestión

Director:

PhD (c), MSc, Esp., Ing. Javier Darío Fernández Ledesma

Grupo de Investigación:

Grupo de Investigación en Sistemas Aplicados a la Industria (GISAI)

Universidad Pontificia Bolivariana
Escuela de Ingenierías
Facultad de Ingeniería Industrial
Especialización en Sistemas Integrados de Gestión
Medellín, Colombia
2014

Declaro que este trabajo de grado no ha sido presentado para optar a un título, ya sea en igual forma o variaciones, en ésta o en otra universidad (Art.82.Acuerdo No.116 CD- de Mayo 26 de 2000, Régimen Discente de Formación Avanzada, Universidad Pontificia Bolivariana)

Agradecimientos

Agradezco al PhD (c), MSc, Esp., Ing. Javier Darío Fernández Ledesma, docente asociado a la Universidad Pontificia Bolivariana sede Medellín por la asesoría y vital dirección para el presente trabajo, quien también se desempeña como Coordinador del Grupo de Investigación GISAI, grupo de investigación mediante el cual, como Pasante en Investigación, pude obtener la beca para la realización de mis estudios de especialización. A mis padres quienes me han brindado un apoyo incondicional a lo largo de la vida, mi familia en general quienes siempre han sido parte vital en mí y sobre todo a Dios.

INDICE

Lista de Figuras.....	6
Lista de Tablas.....	7
Lista de Ecuaciones.....	8
Tabla de Contenido.....	9

Lista de Figuras

Figura 1.....	20
Figura 2.....	21
Figura 3.....	22
Figura 4.....	34
Figura 5.....	35
Figura 6.....	37
Figura 7.....	42
Figura 8.....	49
Figura 9.....	50
Figura 10.....	50
Figura 11.....	51
Figura 12.....	52

Lista de Tablas

Tabla 1.....	45
Tabla 2.....	48
Tabla 3.....	55

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1.....	52
Ecuación 2.....	52

Tabla de contenido

1. MARCO TEÓRICO/ESTADO DEL ARTE	13
2. OBJETIVOS	23
3. METODOLOGÍA	24
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1 FASE 1.....	25
4.1.1 SISTEMA REGIONAL DE INNOVACIÓN (SRI).....	25
4.1.1.1 CONCEPTO, PROPIEDADES Y MECANISMOS.....	25
4.1.1.2 AGENTES Y SUS PRINCIPALES ATRIBUTOS.....	28
4.1.1.3 PRINCIPALES NECESIDADES.....	30
4.1.2 MODELADO BASADO EN AGENTES (MBA).....	31
4.1.2.1 FUNDAMENTOS.....	31
4.1.2.2 METODOLOGÍA.....	31
4.1.2.3 APLICACIONES.....	33
4.2 FASE 2.....	38
4.2.1 MBA DESARROLLADO PREVIAMENTE.....	38
4.2.1.1 GENERALIDADES.....	38
4.2.1.2 ESTRUCTURA.....	39
4.2.1.3 PRINCIPALES NECESIDADES.....	42
4.3 FASE 3.....	55
4.3.1 PROPUESTA APLICACIÓN MBA.....	55
4.3.1.1 ALCANCE.....	55
4.3.1.2 JUSTIFICACIÓN.....	55
4.3.1.3 ESTRUCTURA.....	59
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
6. BIBLIOGRAFÍA	64
ANEXOS	70

Resumen

A través del presente trabajo lo que se busca es 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), el cual 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 cómo éstas 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

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" Medellin. 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 Regionales 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, por lo cual, el presente trabajo se convertiría 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 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 el Grupo de Investigación GISAI y GTI pertenecientes a la Universidad Pontificia Bolivariana sede Medellín.

1. MARCO TEÓRICO/ESTADO DEL ARTE

El concepto de Sistema, es un concepto que hoy en día ha invadido todos los campos de la ciencia y penetrado en el pensamiento y el habla populares y en los medios de comunicación y masas (Bertalanffy L. V., 1976), y es muy frecuente que éste posea 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 L. V., 1976) “sistema es un conjunto de elementos en interacción” proponiendo que se compone de un aspecto estructural (informaciones, elementos, red de comunicaciones, límites) y un aspecto funcional, siendo así el elemento central en su propuesta Teoría General de Sistemas (1940), la cual considera que la conceptualización de “sistema” es una innovación¹ 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 se enfocó de forma muy pragmática, selectiva y conceptual, dejando abierta todo el cuestionamiento sobre la integración del concepto hacia todas las disciplinas de forma unificada. Seguidamente, Ervin Lazlo y Stephen Pepper citados en (Lilienfeld, 1984), Ervin Lazlo en su Teoría de Sistemas Naturales considera que los Sistemas Sociales y 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 comportamiento por ser adaptables, todo esto lo complementa Stephen Pepper a través de sus estudios y publicaciones “Las concepciones del mundo”, “Concepto y Calidad”, entre otros denota 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 sistemas son organismos, organizaciones, sociedades o disciplinas científicas

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 por consiguiente llegar a ser considerado como algo pasajero o una técnica reciente, sino más bien ubicarlo en el contexto de la historia de las ideas; como lo dicho (Bertalanffy L. V., 1976), los progresos que ha sufrido la

¹La innovación vista desde James (1979) como crear e introducir soluciones originales a las necesidades existentes y las nuevas que surjan.

Teoría General 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 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 éste 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 emplea la programación lineal y la teoría de los juegos)
- Ingeniería Humana (capacidades, limitaciones fisiológicas y variabilidad de los seres humanos, incluyendo la biomecánica, ingeniería psicológica, factores humanos, etc.)

En los últimos años, muchos campos pertenecientes a la sociedad tales como la biología, psicología, economía, sanidad, dirección de empresas, ciencias políticas entre otros, han manifestado con mucha mayor fuerza la colaboración de la Teoría General de Sistemas, analizado por George J. Klir² en (Bertalanffy, Ashby, & Weinberg, 1978), éste autor explica la necesidad intrínseca en cuanto a la reinterpretación de las bases fundamentales de lo que debe constituir un sistema propiamente dicho y el área donde 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 ha enmarcado en sus inicios desde la ciencia propiamente dicha en campos tradicionales a la explicación exacta del entorno (Bertalanffy L. V., 1976) lo que produjo una gran problemática en cuanto a la explicación, aplicación e interpretación en los campos biológicos, del comportamiento y sociológicos, con características muy puntuales en que son organismos vivos en cambio continuo hasta el punto de poder llegar a considerarse impredecibles, y es así donde se ve la necesidad de la introducción

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

de nuevos modelos conceptuales que permitieran integrar diversas disciplinas evidenciados en (Ashby, 1952), ejemplos como el estudio sobre redes de reacciones químicas (Bradley & Calvin, 1956), estudio sobre el crecimiento de las organizaciones (Haire, 1959) donde aplicaron los principios de la Teoría General de Sistemas propuesta en (Bertalanffy L. V., 1976) complementándola con nuevas aplicaciones totalmente distintas a la visión clásica con grandes resultados.

Estos nuevos modelos que permiten integrar el concepto de un “sistema” con distintas disciplinas le han permitido a la sociedad en general establecer sistemas en gran variedad de ámbitos, vemos que el estudio en la ingeniería humana que contempla factores humanos entre otros (Ackoff, 1959) permite la explicación de relaciones sistémicas dentro de dichos factores humanos, y una necesidad muy particular que hoy en día ha surgido con gran fuerza es el explicar “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 arroja un escenario totalmente nuevo en vista de lo que cubija. Un sistema puede aplicar en el ámbito social (Lilienfeld, 1984) y la innovación entendida como un resultado de las interacciones sociales en búsqueda 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 la “innovación es, ante todo, un fenómeno social, originado en la interacción de actores diversos, cuya dinámica es responsable de la producción y transformación del conocimiento científico y tecnológico en riqueza económica, bienestar social y desarrollo humano” (Robledo & Ceballos, 2008), 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 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 & Lindgaard, Product Innovation, interactive learning and economic performance, 2004), para tal fin se puede iniciar ver con mayor detenimiento toda la relación de diferentes ensayos y estudios realizados en concordancia de 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 de ser un valor primordial y a la vez agregado para la sociedad actual, esto respaldado por (Drucker P. F., 1986) presentando 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 éste concepto ha sido llevado al ámbito de los servicios, y cómo estos deben innovar conforme el entorno de negocios así lo amerite (Metcalf & Miles, 2000) lo que trae grandes beneficios y propone investigación formal de la aplicación de servicios innovadores para fortalecer la economía internamente. En (EUROSTAT & 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 en (Feria, Rodríguez, & 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 sólo 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 con 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 éste 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 dónde se desarrolle, por lo cual, la clasificación de los Sistemas de Innovación se tomará desde (Llisterri & Pietrobelli, 2011) donde éstos 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 & 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, se hará un enfoque primeramente en los Sistemas Nacionales de Innovación y seguidamente en los Sistemas Regionales de Innovación. Uno de los primeros autores a fines de la década de 1980 en investigar formal y rigurosamente los Sistemas Nacionales de Innovación fue Christopher Freeman enfocándola mucho más en economía en su libro “Technology Policy and Economic Policy: Lessons from Japan” (Freeman, 1987) en donde 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”, y rápidamente este concepto desarrolló una gran importancia en cuanto que no sólo 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; están los aportes de (Lundvall, Johnson, Sloth, & Dalum, 2002) en donde los autores 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 que vieron la necesidad latente de tratar de proporcionarle a la sociedad una aproximación del significado de éste concepto debido a que se popularizaba cada vez más pero nadie tenía una total claridad sobre el mismo ya que proponen que este concepto es y será una herramienta fundamental dentro del desarrollo económico de los países, esto lo fundamentaron en que éstos 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). En (Cvetanović & Sredojević, 2012) se resalta 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 públicas como privadas, de cuyas actividades e interacciones se determina la creación y difusión de innovación, y 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 & 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 en los

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

niveles de educación que exista dentro de los países puesto que es un impacto positivo o negativo dependiendo de los niveles alcanzados, esto medido en la producción de conocimiento que se genere y 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”⁴; varios autores coinciden en que éstos se basan en que en un gran porcentaje, los actores que influyen sobre las actividades de innovación poseen una dimensión Nacional (instituciones, cultura y valores) los cuales se encuentran sujetos a variables internas como estrategia, capacidades de los empleados, cultura organizacional, compromiso de la alta dirección, 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.

En (EUROSTAT & OECD, 2005) se determina 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 investigación locales, las grandes empresas, y demás actores, pueden influir en los resultados de las regiones referente a innovación, en donde se propicia contacto con competidores, instituciones públicas de investigación, clientes, proveedores, etc.; en (Leydesdorff & Fritsch, 2006) se establece la necesidad de individualizar sistemas de innovación para cada región en particular y poder analizar de forma mucho más específica la generación de innovación, en donde los agentes (actores del sistema) interactúan efectivamente al tener en cuenta su posición geográfica, el intercambio económico entre ellos y la dinámica de intercambio de conocimientos prevaleciendo temas económicos.

La necesidad de poder visualizar las interacciones entre los diferentes agentes de un sistema ha sido necesidad básica desde que todos los estudios referentes a la temática se han llevado a cabo, (Wymore, 1967) expresa algo muy importante para 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. Esto expresado también en (Lilienfeld, 1984) al citar las técnicas para simular procesos sociales y ambientales por computadoras,

⁴ Lundvall, Bengt Ake, Op. cit.

propuestas por Jay Forrester y muchos otros, y 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 & Ceballos, 2008) en donde se expresa 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 & Tesfatsion, 2014), donde también se puede ver una gran aplicación de modelos de simulación en computadora para temas económicos (Tsfatsion & Judd, 2006) que van muy acorde con los principios en los que se basan para temáticas asociadas a lo social.

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 capaz de resolver hasta cierto punto toda la incertidumbre que éste tipo de procesos poseen, como lo descrito en (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 sobre 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 & 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, Eventos Discretos, Basada en Agentes y Dinámica de Sistemas.

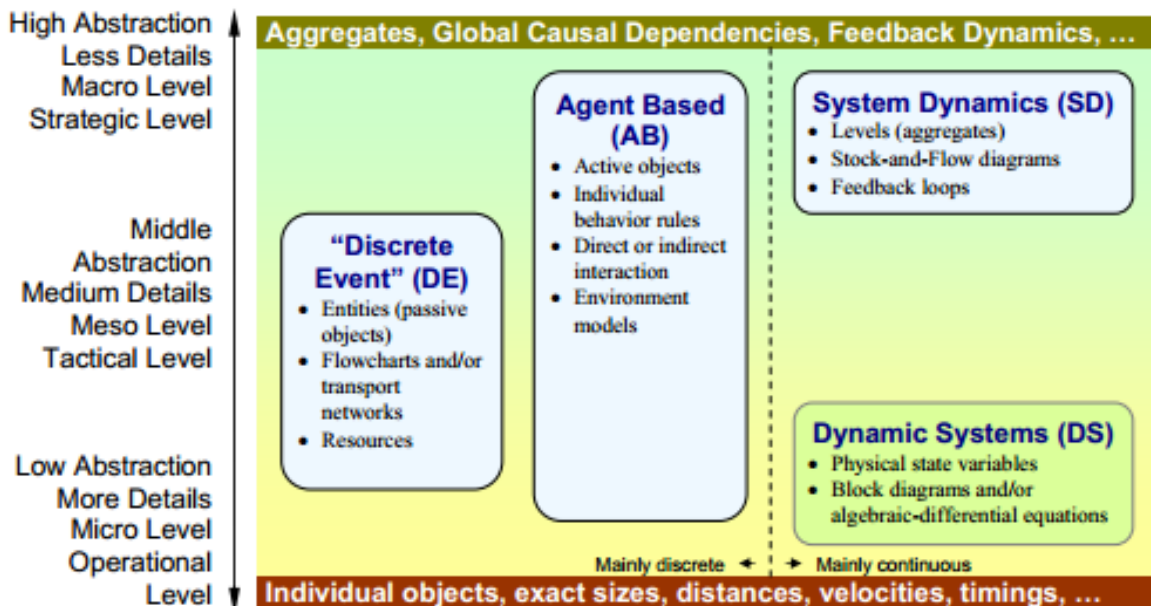


Figura 1: Approaches (Paradigms) in Simulation Modeling on Abstraction Level Scale. Tomado de **(Borshchev & Filippov, 2004)**.

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 la finalidad de este trabajo. Para esto se tiene el trabajo de (Quezada & Canessa, 2010) en donde enfatiza que el enfoque más adecuado es el Modelo Basado en Agentes (MBA), 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 cual significa que son aquellos que emergen del funcionamiento y 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 infra determinación empírica de las teorías sociológicas.
- 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 ser implantadas

Esto abre las puertas de un nuevo entendimiento de las ciencias sociales desde el modelamiento hacia ambientes computacionales, y estamos ante una explicación cuantitativa de aspectos netamente cualitativos, así como las ciencias exactas fueron descritas a través de estudios establecidos, así mismo las ciencias sociales podrían llegar a serlo mediante ésta herramienta.

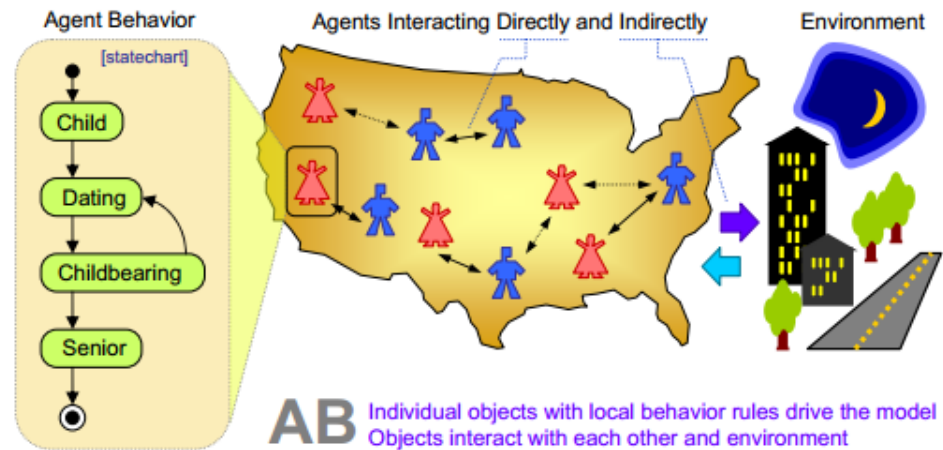


Figura 2: Modelado Basado en Agente (MBA). Software de Simulación AnyLogic⁵. Tomado de **(Borshchev & Filippov, 2004)**.

Retomando la innovación como parte de un proceso social, dentro de la literatura aún existen pocos estudios aplicativos en modelos de simulación basados en agentes que integren ambas temáticas, sin embargo, en los últimos años ésta temática ha tomado fuerza, evidenciado en trabajos aplicativos como “Dinámicas de Conocimiento entre la Industria y Universidades en la Nanotecnología mediante Simulación Basada en Agentes” (Aristizábal, 2013), ejecutando simulaciones de la dinámica existente en Software Netlogo, determinando los agentes pertenecientes al caso estudiado a través de la conceptualización de necesidades puntuales de sistemas nacionales y regionales de innovación, 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. Obteniendo resultados que permitieron determinación de cómo beneficiar el desarrollo de la innovación a través de la interacción de los diferentes agentes.

⁵ Software de Simulación AnyLogic para MBA - <http://www.anylogic.com/>

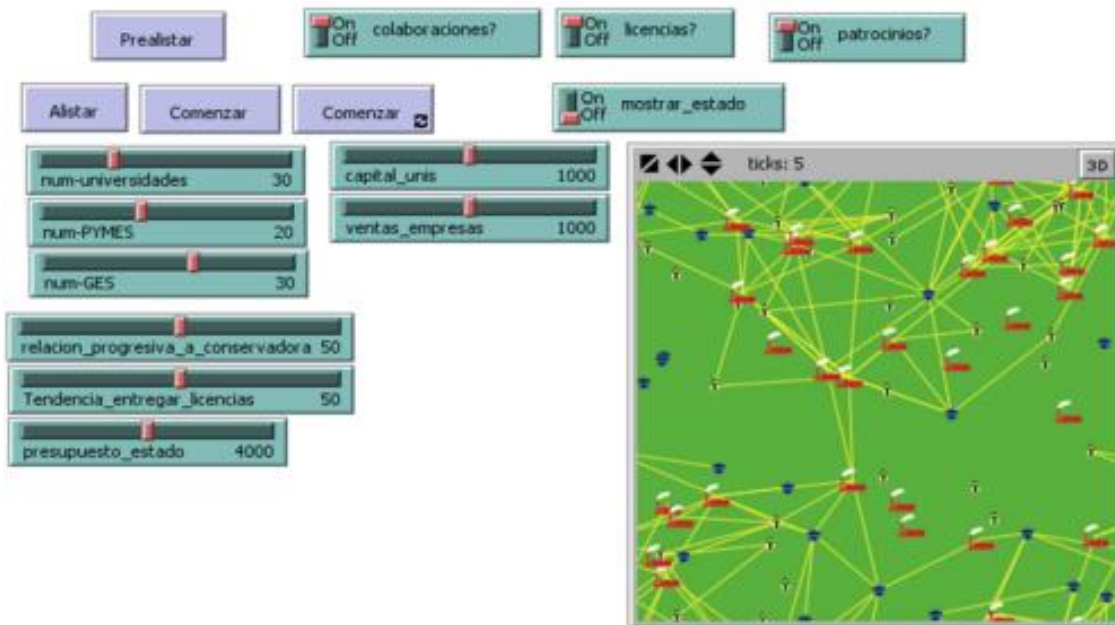


Figura 3: MBA para un Sistema de Innovación en Nanotecnología.
Tomado de (Aristizábal, 2013)

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

2. OBJETIVOS

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 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

3. METODOLOGÍA

FASE 1

Apoyado en el Marco Teórico/Estado del Arte; Revisión bibliográfica sobre:

- Generalidades e importancia de los Sistemas Regionales de Innovación
- Necesidades más importantes de los Sistemas Regionales de Innovación
- Modelos basados en agentes para para el estudio de los fenómenos de innovación

FASE 2

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 3

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, justificación, desarrollo e 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.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 FASE 1

4.1.1 SISTEMA REGIONAL DE INNOVACIÓN (SRI)

4.1.1.1 CONCEPTO, PROPIEDADES Y MECANISMOS

Un Sistema de Innovación (SI) no es más que un conjunto de diversos agentes que de forma integrada e individualmente realizan contribuciones importantes al desarrollo y difusión de innovación en distintos niveles dentro del diario vivir de la sociedad, brindando progreso económico e impactos positivos (Caicedo, 2012), derivando así en esfuerzos gubernamentales para establecer políticas dentro del marco del desarrollo de la innovación; aportes como los hallados en (Metcalf J. , 1998) donde los SI son entendidos como un sistema conformado por instituciones que se encuentran interconectadas para crear, almacenar y transferir conocimiento para definir innovaciones; recordando a (Lundvall, 1992) cuando expresa que “el sistema de innovación se entiende como el conjunto de organizaciones e instituciones que, dentro de un área geográfica concreta, interactúan en el ámbito de la producción, la difusión y la utilización de conocimientos nuevos y económicamente útiles”.

Es en éste punto donde se puede evidenciar a través de la literatura un común denominador para establecer un marco conceptual básico en relación a éste tema, soportado también en (Edquist, 2007) donde se enmarca una conceptualización del sistema de innovación por medio del recorrido conceptual de varios autores expertos en el tema que logran, conjuntamente, determinar aspectos básicos como la interacción de agentes, espacios geográficos y un fin en común referente al desarrollo de la innovación, a su vez, éste tema es interpretado como una herramienta fácil de implementar y prometedora en cuanto al mayor entendimiento de los procesos de innovación y su impacto en la economía, otorgando un marco para estudios empíricos de la innovación en diversos contextos; Grandes aportes del autor como la institución del “Systems of Innovation Research Network” (1994), la cual es una red de investigación enfocada hacia el estudio de los Sistemas de Innovación, su entendimiento, conceptualización, aplicación, etc.

El concepto de Sistema de Innovación podría llegar aplicarse en un contexto en particular (Edquist, 2007), en cuanto a lo geográfico, que es un factor determinante para el objeto de estudio. Se pueden considerar dos grandes focos: Sistema Nacional de Innovación (SNI) y Sistema Regional de Innovación (SRI); retomando un poco de la *Sección “Estado del Arte”* del presente trabajo, vemos diferentes evidencias a lo largo de las décadas en cuanto al estudio de los Sistemas Nacionales de Innovación, su composición, descripción y generalidades en cuanto a su entendimiento en las diversas áreas de estudio que éste toca. Para (Edquist, 2007) el SNI “es aquel sistema constituido por las organizaciones e instituciones de un país que influyen en el desarrollo, difusión y uso de las innovaciones”, esto profundizado en (Navarro, 2002) que sugiere que todas las diferentes características de un país influyen de manera importante sobre los resultados innovadores de las instituciones que conforman dicho sistema, el cual, ha generado un gran interés por parte de investigadores técnicos, de organismos oficiales que lo han tomado como propio, la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), la Comisión Europea, la UNCTAD (United Nations conference on Trade and Development), el Banco Mundial y el FMI (Fondo Monetario Internacional).

Un primer acercamiento a la terminología de Sistemas Regionales de Innovación (SRI) fue introducido por Cooke en 1992 (Cooke, 1992) en donde se realizó una investigación muy específica en cuanto a los Sistemas Nacionales de Innovación (SNI) que venían surgiendo de la necesidad de información y a medida que se fue evolucionando en los estudios, se realizaron de forma empírica, estudios mucho más específicos dentro de ese gran bagaje a nivel macro (nacional) para el desarrollo de las dinámicas a nivel regional (en casos concretos de Japón, Alemania, Francia y Reino Unido), en donde se destaca la importancia que posee el “proceso de aprendizaje a través de la interacción de los agentes que intervienen en el sistema de innovación”, interacción de los diversos agentes que entran en juego para el fin último de potenciar la innovación, esto reforzado en (Lundvall, 1992), resaltando el énfasis de la dinámica y funcionamiento de los Sistemas de Innovación en el proceso de aprendizaje, (Isaksen, 2001) y (Pyka & Scharnhorst, 2009) definen los SRI como “lugares en los que estrecha comunicación entre empresas, estructuras sociales y el entorno institucional puede estimular social y territorialmente el aprendizaje colectivo y la innovación continua”, donde se puede interpretar que todas las interacciones generadas dentro de éstos sistemas denotan un aporte del aprendizaje considerable, en donde éste proceso se genera en un área física mucho más focalizada en las regiones correspondientes, lo cual permite que se realice, de forma mucho más

efectiva, minimizando muchos de los costos asociados debido a la proximidad geográfica de los agentes que intervienen (Boschma, 2005).

No se puede olvidar que también debería existir una proximidad cognitiva, organizacional, social e institucional para que se genere una real y óptima interacción, teniendo en cuenta el compartir normas, valores y leyes (Lundvall, 2007). Esto lleva a concluir que para que un SRI sea exitoso no puede producir innovación de manera aislada. La innovación en sí misma no puede generarse de forma individual, el trabajo en conjunto es básico dentro de lo expuesto por Peter F. Drucker en su artículo “The Discipline of Innovation” publicado en la Revista “Harvard Business Review” (Drucker P. , 2002), donde trata claramente principios básicos para el entendimiento integral del concepto de innovación aplicado dentro de las diversas ramas del conocimiento, resaltando la manera en que la innovación puede ser generada a través de diferentes escenarios:

- ✓ Eventos inesperados
- ✓ Incongruencias
- ✓ Necesidades de los procesos
- ✓ Cambios en la industria y el mercado
- ✓ Cambios demográficos
- ✓ Cambios de percepción
- ✓ Nuevo conocimiento

En general sólo alcanzan un impacto positivo en la producción de innovación si se realiza con conocimiento, se posee una meta clara, se posee espíritu empresarial y de auto superación, pero sobre todo, un trabajo en conjunto entre los distintos actores.

4.1.1.2 AGENTES Y SUS PRINCIPALES ATRIBUTOS

Los agentes que interactúan en un Sistema Nacional o Regional de Innovación, pueden llegar a ser agrupados de diversas formas. En primera instancia, lo propuesto por (Velardiez, 2008) pueden ser clasificados en cuatro subsistemas:

- ✓ Las empresas y las estructuras de mercado:

Usuarías 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 inter-empresariales, la relación con los proveedores y clientes, nivel de internacionalización, estructura de los mercados y 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 donde 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 difundidores del conocimiento
 - Obligación en resistir presión competitiva
 - Son las organizaciones de aprendizaje
- ✓ Las instituciones:
 - Agentes de Investigación
 - Influyentes en creación, desarrollo, transferencia y 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 capacidad de aprendizaje y difusión del conocimiento
 - Mejorar interacciones entre todos los agentes antes citados

Los enfoques presentados para la conceptualización, características y principales atributos para los agentes pertenecientes a los SRI son concebidos bajo estudios técnicos realizados por los diferentes autores, en donde éstos difieren en forma más no en la idea de fondo, esto es, que pueden aplicarse fácilmente al contexto de estudio para una región en particular (Alvarez, 2009) (la cual podría ser en la

región de Antioquia, Colombia) o contexto específico (Edquist, 2007) pues contiene características de adaptabilidad de conceptos.

4.1.1.3 PRINCIPALES NECESIDADES

Para los *agentes*:

- ✓ En cuanto a su proximidad geográfica, cognitiva, organizacional, social, institucional, compartiendo normas, valores y leyes. Este inciso reforzado por (Archibugi, Howells, & Michie, 1999), (Doloreux, 2002) y (Pyka & Scharnhorst, 2009), en donde 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, & Heidenreich, 2004), (Isaksen, 2001), (Lundvall, 2007)

Existe un importante vínculo entre la especialización de la región y el tipo de actividades innovadores que se realicen (Velardiez, 2008). Respaldado por (Tödting & Trippel, 2005) que expresa que para aplicar políticas a nivel regional se deberán tener en cuenta patrones de especialización industrial, influencia del conocimiento en el proceso de innovación y conocimiento táctico, por lo tanto, las regiones no se pueden medir de igual forma.

4.1.2 MODELADO BASADO EN AGENTES (MBA)

4.1.2.1 FUNDAMENTOS

Con base en el Estado del Arte, se realizó una breve introducción sobre el fundamento teórico que soporta el Modelado Basado en Agentes para ésta temática investigativa,

Para los SRI se debe tener muy claro que para la generación de la innovación es vital la interacción entre los agentes que componen dicho sistema en los diversos niveles antes descritos, por lo tanto, el concepto de innovación se debe tomar de naturaleza dinámica y autónoma, otorgándole variabilidad de comportamientos impredecibles a los agentes que entran en interacción, éste comportamiento, debe ser estudiado mediante el Modelado Basado en Agentes que logre la explicación de un comportamiento que puede llegar a considerarse complejo, ya que éste permite aislar los diferentes comportamientos que se puedan llegar a desprender para que de ésta forma pueda existir una base para un estudio focalizado para un comportamiento individual e investigar apropiadamente las causas de los efectos observados; en (González, ¿Sociedades artificiales? Una introducción a la simulación social, 2004) y (González, 2006) se describe una ventaja importante de la aplicación de los Modelos Basados en Agentes para el estudio de interacciones sociales y los resultados de las mismas conforme se desarrollan las actividades, al tener en cuenta que en este tipo de investigación existe una ausencia muy marcada de datos empíricos complejos sobre redes de interacción entre agentes donde pueden llegar a surgir millones de nodos, la simulación puede implementarse para estudiar el impacto de la estructura de dichas redes sobre todos los procesos dinámicos que tienen lugar dentro de ella.

Dentro de las principales necesidades de los SRI se pueden resumir en que se debe tener un nivel de decisión por parte de los agentes con base en los requerimientos básicos para la generación de innovación entre ellos para que exista una verdadera colaboración conjunta que los lleve a ese mismo fin, lo cual es sumamente complejo de estudiar usando herramientas tradicionales de modelación de procesos pertenecientes a las diferentes ramas del conocimiento, tema tratado muy claramente en (Fleming, 2001) donde su premisa fue que podría ser crucial para los agentes observar muchos otros agentes más para que de ésta

forma se puedan encontrar algunos que puedan llegar a tener las características adecuadas en su esfuerzo por innovar.

Éste tipo de investigaciones son muy empíricas, por cuanto se basan en el análisis comportamental de los agentes dentro de un entorno determinado y no es algo que sea fácilmente medible desde las matemáticas como sucede en otros campos del conocimiento como las ciencias exactas; así pues, surge la necesidad de generar estudios sociales mediante métodos como encuestas, lo cual, es fundamental para descubrir tendencias, siendo éste un factor crítico en lo que se busca dentro del MBA (González, 2004), pero esto solo hace parte de una primera instancia de todo el macro estudio que se debe generar, puesto que a pesar que se pueden detectar tendencias, no se puede proporcionar una explicación clara sobre los fenómenos que se detectan (Goldthorpe, 2000) (Hedström, 2005), ya que prosiguiendo con cada paso investigativo podría llegarse a modelar todo este micro universo a través de una relación entre variables, pero lo que no se podría llegar a explicar por qué una variable está relacionada con la otra (Gilbert, 2008), es decir, por qué en la aplicación un agente se relaciona con otro, evidenciando una ausencia total sobre la explicación del fenómeno social que se desea explicar, es aquí donde el MBA se presenta como el punto intermedio que logra determinar tanto la parte de las ciencias exactas como la parte del fenómeno social; en los MBA cada agente puede poseer sus propias creencias, oportunidades, reglas y deseos, y actúan basados en el aprendizaje generado mientras se desarrollan todas las interacciones a través de los mensajes entre ellos (García-Veldecasas, 2011).

4.1.2.2 METODOLOGÍA

El concepto de “Modelaje Basado en Agentes” se contextualizará dentro de esta investigación en el campo de la Simulación, esto es, entendiendo el MBA como una herramienta de simulación que ayuda a realizar estimaciones preliminares que posteriormente favorecerán las decisiones a futuro dentro del campo estudiado (Maguire, McKelvey, Mirabeau, & Öztas, 2006) (Wilensky & Reisman, 1999).

El MBA se puede entender de manera muy sencilla en cuanto se refiere a desarrollar un programa computacional que permite crear pequeñas rutinas que representan los agentes que intervienen (Chaigneau, Canessa, & Quezada, 2012); dichos agentes poseen características inherentes a las necesidades particulares del modelo que se desee desarrollar, las cuales son estipuladas por el

programador según la conveniencia (Berlekamp, Conway, & Guy, 1982) (Vallacher & Nowak, 1997). Definidas las reglas de comportamiento de los agentes se prosigue con la interacción de los mismos para que finalmente se aprecien los comportamientos que emergen de dichas interacciones.

En todo tipo de modelo siempre se deben describir muy bien todas las condiciones iniciales que se tienen, sugieren, se han estudiado, etc., y así lograr una óptima interpretación de los resultados a través de la simulación en la escala del tiempo deseada, visualizando así la manera como se genera la dinámica comportamental creada por la interacción y perturbación mutua entre agentes.

Llevando toda ésta teoría, teniendo presente la aplicación del concepto de Sistema y Sistema de Innovación a las ciencias sociales, este tipo de modelaje explica cómo las conductas de cada individuo conforman los comportamientos grupales o, incluso, de una colectividad.

Finalmente y no menos importante, se deben tener visibles los supuestos en los que se basa la investigación que es base para el MBA.

4.1.2.3 APLICACIONES

Aun cuando ya se tiene claro que la simulación basada en agentes es apropiada para procesos sociales, ésta se ha venido implementado desde tiempo atrás, principalmente en ciencias físicas y naturales, lo se puede ver en trabajos aplicados en las ciencias naturales como “Using stylized agent-based models for population-environment research: A case study from the Galápagos Islands” (Miller, et al., 2010) con base en el Software de Simulación Netlogo⁶, el sustento de la población y todos los impactos que generan las políticas que se implementan en la Isla Isabela perteneciente al Archipiélago de Galápagos en Ecuador.

Existen otras aplicaciones de MBA sumamente revolucionarias e importantes en las ciencias de la salud como “Agent-Based Modeling of Endotoxin-Induced Acute Inflammatory Response in Human Blood Leukocytes” (Dong, Foteinou, Calvano, Lowry, & Androulakis, 2010) en donde aplican un modelo de simulación basado en agentes para realizar su estudio basado en el Software Netlogo apoyado como uno de los más prácticos y potentes que es también usado en la Northwestern

⁶ Software Netlogo es un software de simulación que permite modelar entornos virtuales multi-agentes - <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

University (Sklar, 2007) (para mucha más información sobre el software, revisar cita bibliográfica, en el cual se encontrará la revisión “Software Review Netlogo, a Multi-agent Simulation Environment”) en dónde la autora realiza un repaso acerca de las bondades tan grandes de éste software en una de las revistas más respetadas en el tema, “Artificial Life”.

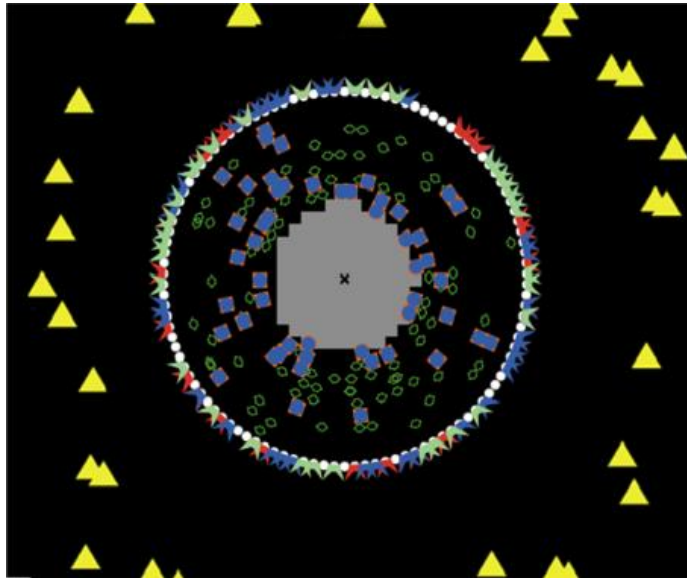


Figura 4: Interacting components/agents involved in the propagation of LPS signaling on macrophages. Tomado de (Dong, Foteinou, Calvano, Lowry, & Androulakis, 2010)

Yellow triangles reflect the extracellular signal (LPS) and white circles represent the plasma membrane. Red polygons refer to the endotoxin (LPS) receptor and blue polygons refer to the TNF- α receptor. Light green polygons correspond to IL-4 receptors and dark green polygons reflect the presence of kinase (IKK). Blue - orange squares represent the inactive (bound) NF- κ B with its inhibitor, IkBa while the grey area refers to the nucleus.

Otro caso de aplicación en ciencias de la salud es “Agent-Based Model of Therapeutic Adipose-Derived Stromal Cell Trafficking during Ischemia Predicts Ability To Roll on P-Selectin” (Bailey, Lawrence, Shang, Katz, & Peirce, 2009) también basado en Software Netlogo y demás softwares estadísticos.

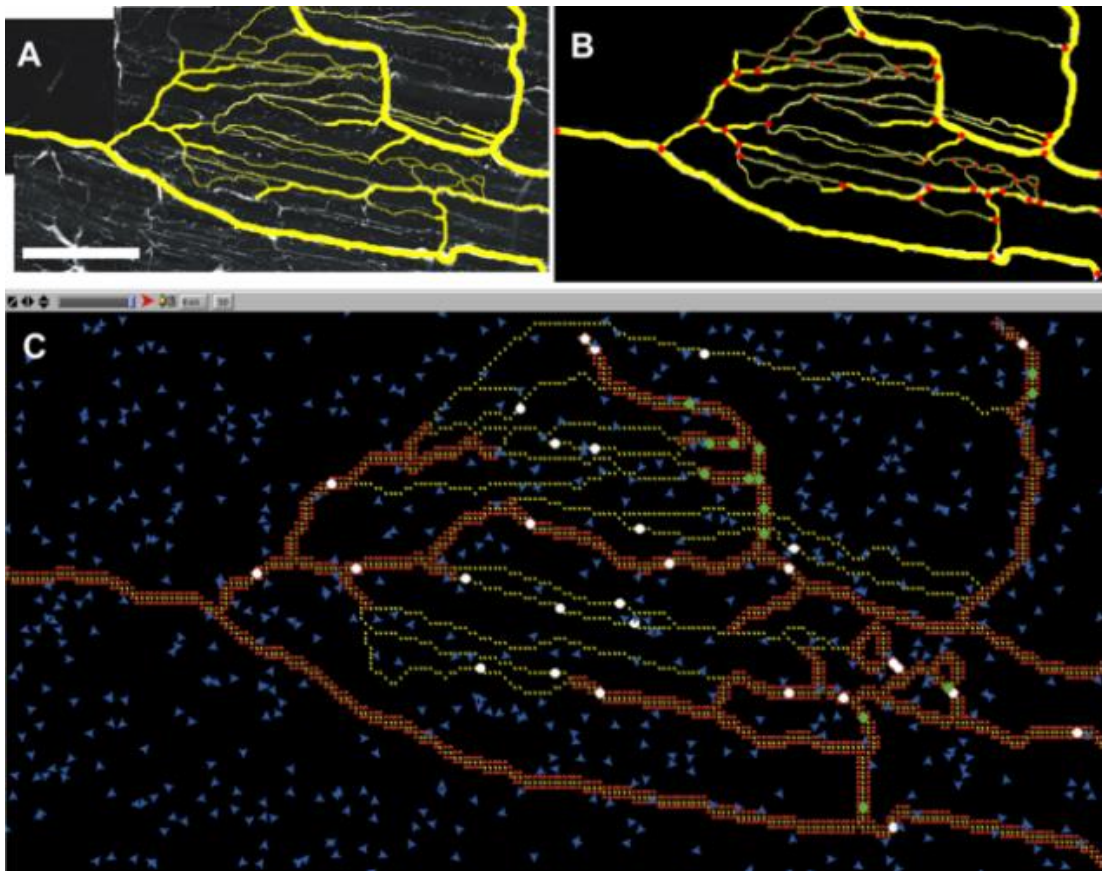


Figura 5: Simulated microvascular network was modeled after mouse skeletal muscle, visualized using confocal microscopy following harvest, using a 20 X objective. Tomado de **(Bailey, Lawrence, Shang, Katz, & Peirce, 2009)** *Confocal microscopy image of mouse spinotrapezius muscle immuno-stained to visualize ECs with BS1-lectin antibody (white). Vascular structures of interest were copied over in yellow in image processing software (ImageJ). Scale bar is 1 mm. (B) The micrograph was manually discretized into nodes, defined as bifurcation points in the microvascular network, and the nodes were connected to form elements. (C) Screen-shot of simulation space. Nodes and elements were manually drawn into the NetLogo simulation space to represent the real microvascular network. Arterioles and venules were characterized on the micrograph based on vessel diameter. Smooth muscle cells are depicted in red lining arterioles and venules. Endothelial cells are depicted in yellow, and tissue macrophages present within the interstitium of the simulation space are depicted in blue.*

A medida que varias aplicaciones en estas ciencias se fueron desarrollando, hoy en día se han llevado a cabo investigaciones que no sólo se basan en estas ciencias, sino que también se pretende estudiar cómo los seres humanos aprenden, este es el caso del Dr. Bell Raj Eapen en “Agent-based model of laser hair removal: A treatment optimization and patient education tool” (Eapen, 2009) donde se aplicó un modelo basado en agentes para la simulación en base al Software Netlogo sobre la depilación con láser y cómo los pacientes poseen nuevas percepciones de aprendizaje respecto al tema, como uno de los productos de la investigación se tiene un modelo amigable, práctico y dinámico en la dirección URL: <http://gulfdactor.net/model/lhr.htm>, donde cualquier persona que esté interesada en saber cómo se desarrollará el procedimiento respecto a sus necesidades individuales, demostrando que por hoy éstos modelos son más aceptados e implementados dentro de la vida diaria de las personas y no sólo se remiten a la ciencia sino también a procesos sociales.

La aplicación de simulación de MBA en el ámbito social se ha evidenciado en trabajos como su uso en reconocimiento del carácter de la persona según características de personalidad muy puntuales con todas las particularidades que ésta trae: El optimista, el calmado, el que se ve influenciado fácilmente por la cólera, el melancólico, el observador y pragmático, el racional, el idealista, y el práctico, todas estas categorías junto con la variabilidad que se desprende del estudio serían los agentes que interactúan en un ambiente, donde cada uno se ve influenciado por el otro y sus decisiones de acercamiento brindan una información muy importante para el reconocimiento de la personalidad, todo los resultados son obtenidos al realizar preguntas a una persona sobre el comportamiento de cada uno de los agentes y con cual se siente más identificado y así poder determinar cuál es la inclinación más probable que tenga en cuanto a su personalidad; todo este estudio se simuló en Software Netlogo, y la investigación se llamó “Agent-based Simulation use in applicant’s character recognition” (Lauberte & Ginters, 2008).

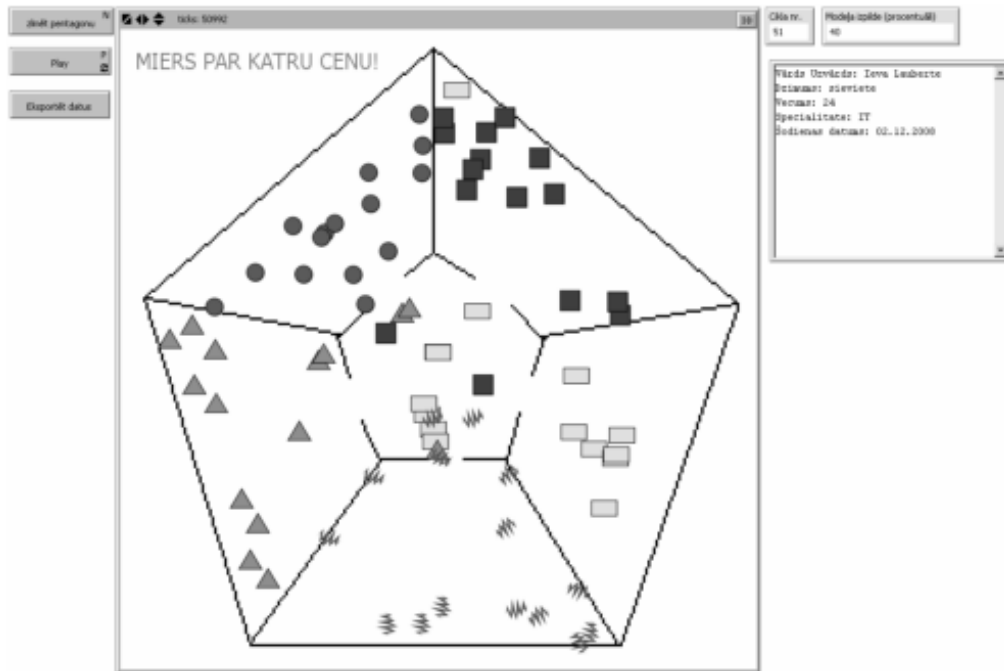


Figura 6: Simulación MBA. Tomado de (Lauberte & Ginters, 2008)

Aún más a fondo, dentro de las aplicaciones en las ciencias sociales, se ven grandes avances desde el estudio de la innovación, este es el caso del estudio realizado en (Zhong & Ozdemir, 2010) publicado dentro de las revistas pertenecientes al “Oxford Journals”, en donde se desarrolló un Modelo Basado en Agentes pertenecientes al proceso de Innovación en dos fases (incluyendo ambas propuestas dentro del trabajo para la innovación: Dimensión de producto en el mercado y dimensión cognitiva), en donde el fin era investigar el efecto de la estructura social en el proceso de innovación enfocado en los niveles de desarrollo de la población, comparando una estructura social con otra en términos de desempeño en un entorno controlado, estudiando así en primera instancia la estructura social propiamente dicha y la interacción existente entre los diferentes agentes y la capacidad de absorción en procesos de aprendizaje de dichos agentes, de donde se desprendieron diversas e importantes conclusiones que han sido base para posteriores estudios. Dichas conclusiones se resumen en que la estructura en la cual los agentes se desenvuelven y su nivel de aprendizaje poseen un efecto curvilíneo de la velocidad con la que se desarrolla la innovación.

4.2 FASE 2

4.2.1 MBA DESARROLLADO PREVIAMENTE

4.2.1.1 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 realizó el trabajo titulado “Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del Sistema Regional de Innovación de Antioquia”, permitiendo visualizar un alcance determinado, a partir de la literatura expresada en (Edquist, 2007) donde el concepto de sistemas puede aplicarse en un contexto en particular.

Es así, como se analiza 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, el cual 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, cuestionamientos, pensamientos y demás suposiciones que se puedan presentar son correctas o al menos pueden considerarse muy probables que lo sean y así evitar los sesgos que éstas puedan provocar. Al incluir una mayor cantidad de variables en el modelo propuesto para el sistema estudiado permitiría tener en cuenta un mayor entendimiento del comportamiento de éste; Todo esto brindaría la oportunidad de desarrollar una discusión de iniciativas mucho más nutrida que pueda mostrar puntos específicos totalmente inesperados del fenómeno.

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

- ✓ Demostrar que las redes de innovación parecen someterse a un ciclo de vida en el cual el número de alianzas crece al principio, alcanzan su máximo y después declinan.
- ✓ 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.

4.2.1.2 ESTRUCTURA

Fundamentos Básicos

Con base en el Estado del Arte de la presente investigación se refuerza que el desarrollo teórico de los Sistemas de Innovación, en particular, los Sistemas Regionales de Innovación, han sido moldeados 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 & Robledo, 2013).

El SRI de Antioquia lleva aproximadamente más de dos décadas creciendo e implementándose a partir de iniciativas locales con una aproximación de carácter *bottom-up*, donde se considera a los agentes claves del proceso como base de su construcción, es 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, & Burn, 2005) en “Proceedings of the joint conference on multi-agent modelling for environmental management” en la ciudad de Bourg-Saint-Maurice (Francia) con su trabajo “Bottom-up approaches to building agent-based models: discussing the need for a platform”, donde brindan una guía para programadores novatos y/o experimentados durante el desarrollo de Modelos Basados en Agentes, en particular, con una aproximación “bottom-up”, a la cual se le realiza una completa revisión de literatura y aplicativa. En los años ochenta, la región de 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 donde se realizara la interacción entre los agentes, que hace parte fundamental para la generación de innovación, recordando así a (Robledo & Ceballos, 2008), (Edquist, 2007).

En los años noventa hubo un cambio significativo en Colombia debido a la reestructuración de la constitución; dentro de dichos cambios se impactó directamente a las regiones otorgándoles cierta autonomía en la toma de atribuciones, decisiones y funciones, para potencializar el desarrollo de capacidades e instituciones, acompañado de 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, lo que impacta directamente en el óptimo desarrollo que la región de Antioquia ha tenido en cuanto a innovación entre sus diferentes componentes del SRI (Listerri & Pietrobelli, 2011).

Contexto SRI y sus agentes: Región Antioquia (Colombia)

Retomando la literatura, autores como (Asheim & 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 co-evolución de la organización productiva y a la ubicación de las instituciones formales e informales en el sistema (Quintero & 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, influencia del conocimiento en el proceso de innovación y conocimiento táctico, recordando a (Tödtling & Trippl, 2005), lo cual es una necesidad inherente en el desarrollo de los SRI.

De esta forma, se debe analizar los SRI con base en la definición antes descrita, en la cual, estos sistemas están compuestos por varios sub-sistemas 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 utilización del conocimiento (Zollo, De Crescenzo, & Ponsiglione, 2011) La idea central
4. Reguladores: Brindar lineamientos y coordinar la red de innovación (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 esto, 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 & Kerexeta, 2012).

Para el caso en específico del SRI de Antioquia en el Modelo que se desarrolló se planteó como supuesto que el principal agente en el sub-sistema 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, traza de los procesos de innovación, 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 sub-sistema del SRI.

A su vez, para éste 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 a nivel internacional (organizaciones internacionales, etc.) para así poder adaptar dichos conocimientos a nivel de la región.

Es así que en el ámbito 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 al aprendizaje por la vía de capacidades y competencias.



Figura 7: Modelo del Sistema Regional de Innovación de Antioquia. Tomado de “Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del Sistema Regional de Innovación de Antioquia”, Grupo de Investigación GTI y GISAI, UPB, Medellín, 2014

Éste SRI se encuentra a su vez sujeto a la adaptabilidad, esto, referente a 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), donde este posee cierta capacidad de respuesta frente a cambios en el entorno mediante mecanismos como el aprendizaje a escala individual o la selección y reemplazo, esto directamente se refiere a los Sistemas Auto-Organizados que cumplen con: Aumento del Orden (Yamins, 2007), autonomía, adaptación (aprendizaje y evolución), robustez, anticipación (cognición) y dinamismo (Perozo, Aguilar, Terán, & Molina, 2012), todas estas propiedades deberán estar sujetas a la adaptabilidad de forma íntegra, a la interacción entre las mismas y reglas establecidas, para que sea posible que el sistema cumpla en su totalidad.

Esto nos lleva al concepto de “agentes inteligentes”, los cuales constituyen el principal componente dentro de un Sistema de Innovación, y 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 ontologías⁷ (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 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 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.

⁷ Colección de conceptos, predicados, secuencias, términos y relaciones entre estos elementos, que son entendibles por una sociedad de agentes

- ✓ 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 & 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 éste 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 multiniveles 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, & Zollo, 2012)

Se diseñó de acuerdo con 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 se buscan datos que soporten el modelo.
3. Formulación del modelo y simulación, en donde se especifica la estructura del modelo, parámetros y 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. Tomado de “Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del Sistema Regional de Innovación de Antioquia”, Grupo de Investigación GTI y GISAI, UPB, Medellín, 2014

Variabes del modelo de SRI	Explicación de la variable	Variabes del modelo de SRI	Explicación de la variable
E_interrelación	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	Exploradores	Es el número de agentes Exploradores (universidades) que va a tener el sistema en la

	sistema medido en patches de distancia, implica un grado de relación geográfica.		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 gráfica 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 5 años, tiempo prudentemente 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 8, 9 y 10.

El modelo cuenta con una interfaz de simulación para el usuario, donde se pueden manipular a voluntad los parámetros antes mencionados. Éstos 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 desde (Doloreux, 2002) se ha establecido que aún no se ha podido determinar, a ciencia cierta, cómo se puede representar gráficamente un SRI.

Tabla 2: Regiones de Antioquia y distribución de Agentes. Tomado de “Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del Sistema Regional de Innovación de Antioquia”, Grupo de Investigación GTI y GISAI, UPB, Medellín, 2014

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%

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, territorios y 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 Aburra, un área pequeña comparada con el resto de territorio. Sin embargo da una muestra real de las dinámicas de redes del departamento.

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.

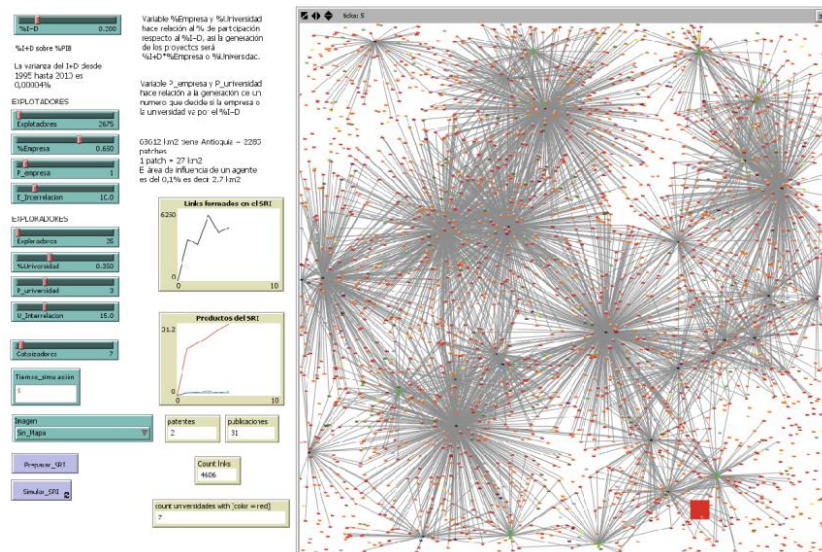


Figura 8: Simulación SRI sin mapa. Tomado de “Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del Sistema Regional de Innovación de Antioquia”, Grupo de Investigación GTI y GISAI, UPB, Medellín, 2014

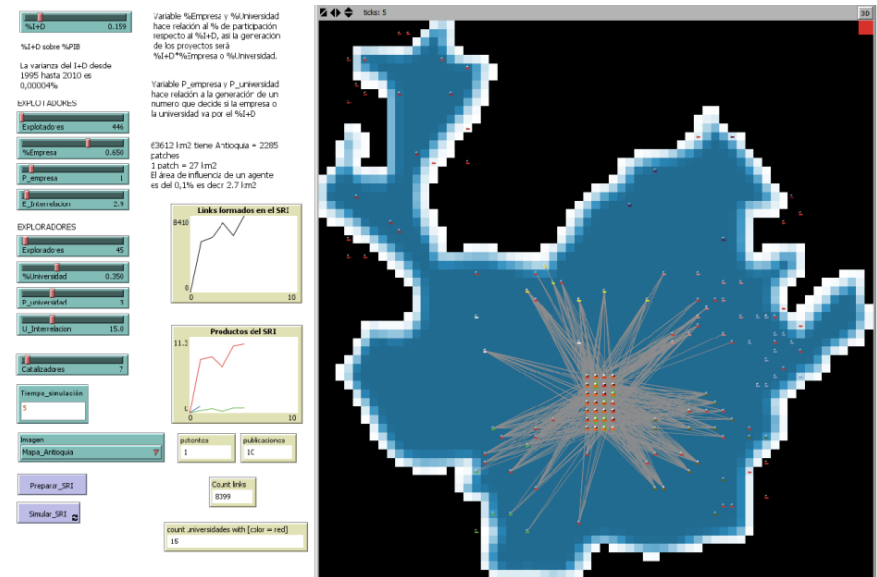


Figura 9: Simulación SRI con mapa de Antioquia. Tomado de “Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del Sistema Regional de Innovación de Antioquia”, Grupo de Investigación GTI y GISAI, UPB, Medellín, 2014

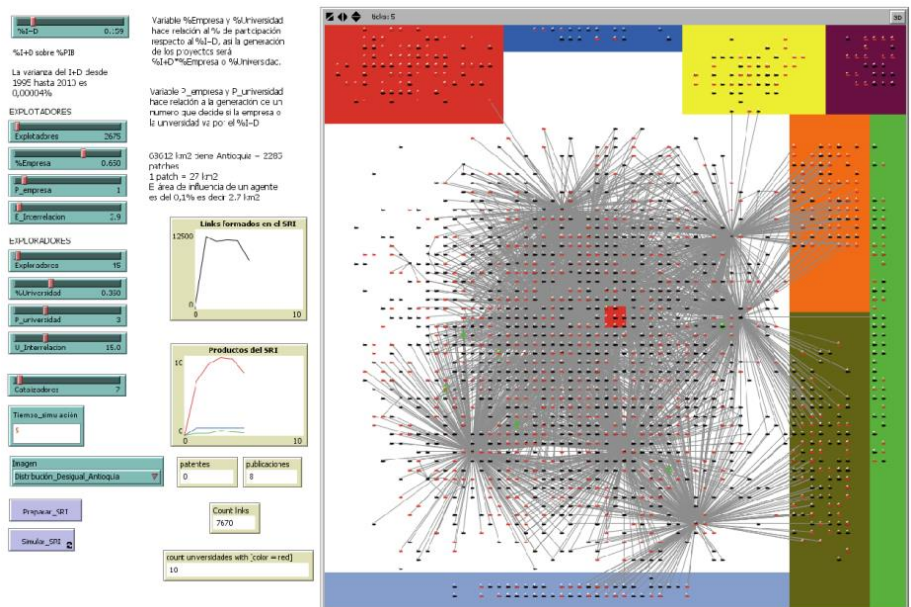


Figura 10: Simulación SRI con Distribución desigual Antioquia. Tomado de “Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del Sistema Regional de Innovación de Antioquia”, Grupo de Investigación GTI y GISAI, UPB, Medellín, 2014

Como se puede observar en las Figuras 8, 9 y 10 se presenta de manera muy visual el comportamiento dinámico y relacional de los SRI que se conceptualiza como una red, aunque la definición formal de una red es útil en el desarrollo matemático de la teoría (como se puede ver en la Figura 11 Definición matemática de red), para esta caso basta con considerar que una red es un conjunto de nodos entre los que existen conexiones, incluso, en un mismo conjunto de nodos se puede definir redes diferentes dependiendo de cómo se hayan definido las conexiones (Aldana, 2014). Como se puede ver en la Figura 12 Diferentes Tipos de Redes, para los fines de la presente investigación simplemente serían los agentes del SRI de Antioquia.

*Una red \mathcal{R} consiste de un conjunto de nodos $\mathcal{V} = \{v_1, v_2, \dots, v_N\}$, y un conjunto de parejas ordenadas $\mathcal{E} = \{(v_i, v_j)\} \subset \mathcal{V} \times \mathcal{V}$. Cada pareja ordenada (v_i, v_j) se llama **conexión dirigida** del nodo v_i al nodo v_j . La red \mathcal{R} se llama **no dirigida** si para cada pareja $(v_i, v_j) \in \mathcal{E}$ también existe la pareja $(v_j, v_i) \in \mathcal{E}$. De lo contrario, la red se denomina **dirigida**. Llamaremos a todos los nodos que estén conectados directamente a un nodo v_i , los **vecinos** de v_i . Finalmente, el número k_i de vecinos del nodo v_i (es decir, el número de conexiones de v_i) se llama la **conectividad** de v_i , y el promedio de estas conectividades, $\langle k \rangle = N^{-1} \sum_{i=1}^N k_i$, es la **conectividad** de la red.*

Figura 11: Definición matemática de red. Tomado de (Aldana, 2014)

Redes sociales	
Sexuales	Dos personas están conectadas si han tenido por lo menos una relación sexual
Actores	Dos actores están conectados si han aparecido en la misma película
Amistades	Dos personas están conectadas si son amigas
Científicos	Dos científicos están conectados si han sido coautores de un artículo
Familiares	Dos personas están conectadas si son familiares cercanos
Enfermedades	Dos personas están conectadas si una contagió de una enfermedad a otra
Redes de información	
Internet	Dos computadoras están conectadas si hay un cable que las conecta
WWW	Dos páginas web están conectadas si hay un hipervínculo de la una con la otra
Palabras	Dos palabras están conectadas si en el diccionario, una aparece en la definición de la otra
Palabras	Dos palabras están conectadas si son sinónimas

Redes biológicas	
Proteicas	Dos proteínas están conectadas si participan en la misma reacción química
Genéticas	Dos genes están conectados si uno regula la expresión del otro
Ecológicas	Dos especies están conectadas si una se come a la otra
Neuronales	Dos neuronas están conectadas si existe una conexión sináptica entre ellas

Figura 12: Diferentes Tipos de Redes. Tomado de (Aldana, 2014)

Seguidamente, teniendo el concepto de red presente, 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. Tomado de “Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del Sistema Regional de Innovación de Antioquia”, Grupo de Investigación GTI y GISAI, UPB, Medellín, 2014

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

Ecuación 2: Coeficiente de clusterización en una red. Tomado de “Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del Sistema Regional de Innovación de Antioquia”, Grupo de Investigación GTI y GISAI, UPB, Medellín, 2014

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).

Propiedades mediante las cuales se puede realizar todo el análisis del SRI con un soporte matemático y estadístico que puede ser profundizado⁸.

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 en donde se requiere un gran esfuerzo para la recolección de datos, visitas de campo, desarrollo de herramientas para todo el estudio, etc., y esto ya es considerado mucho más a profundidad dentro del macro proyecto 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, busca 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 éste 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 sub-región.

4.2.1.3 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 éstas interactúan con las instituciones públicas, entrando también en consideración con el marco legal y regulatorio, y a su vez con las variables de la demanda a suplir de acuerdo con el contexto (Ponsiglione, De Crescenzo, Lanzetta, & Zollo, 2012); Es fundamental establecer prioridades en la promoción de innovación y diseñar políticas claras e implementar una apropiada combinación

⁸ 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”, Grupo de Investigación GTI y GISAI, UPB, Medellín.

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.

El modelo se diseñó de acuerdo con 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 se buscan datos que soporten el modelo.
3. Formulación del modelo y simulación, en donde se especifica la estructura del modelo, parámetros y condiciones iniciales.

Resulta vital identificar estas 3 instancias con suma claridad, desde la perspectiva de la región en específica.

4.3 FASE 3

4.3.1 PROPUESTA APLICACIÓN MBA

4.3.1.1 ALCANCE

Los Sistemas Regionales de Innovación poseen diferentes características en diferentes regiones dependiendo en la especialización industrial que ésta posea (Andersson & Karlsson, 2006) y a su vez, los SRI pueden ser muy diferentes entre regiones con similares estructuras industriales. Es por eso que se define 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.

4.3.1.2 JUSTIFICACIÓN

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

Tabla 3: Principales Necesidades. Elaboración propia.

NECESIDADES S.R.I	NECESIDADES MODELO DESARROLLADO
Para los <i>agentes</i> : En cuanto a su proximidad geográfica, cognitiva, organizacional, social, institucional, compartiendo normas, valores y leyes. Este inciso reforzado por (Archibugi, Howells, & Michie, 1999), (Doloreux, 2002) y (Pyka & Scharnhorst, 2009), en	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 éstas interactúan con las

<p>donde 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.</p> <p>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.</p> <p>(Braczyk, Cooke, & Heidenreich, 2004), (Isaksen, 2001), (Lundvall, 2007)</p> <p>Existe un importante vínculo entre la especialización de la región y el tipo de actividades innovadoras que se realicen (Velardiez, 2008). Respaldado por (Tödting & Trippel, 2005) que expresa que para aplicar políticas a nivel regional se deberán tener en cuenta patrones de especialización industrial, influencia del conocimiento en el proceso de innovación y conocimiento táctico, por lo tanto, las regiones no se pueden medir de igual forma.</p>	<p>instituciones públicas, entrando también en consideración con el marco legal y regulatorio, y a su vez con las variables de la demanda a suplir de acuerdo con el contexto (Ponsiglione, De Crescenzo, Lanzetta, & 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.</p>
---	---

A pesar 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 ésta manera se tenga una visión mucho más global pero sin desmeritar 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 en sí misma 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 desde (Pietrobelli, 2014) en donde 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 poder desarrollar un óptimo Sistema Regional de Innovación y mucho más si ya se tiene un MBA del SRI de Antioquia. Esto se describe en tomar el modelo correspondiente y acompañarlo de políticas establecidas para la transferencia de tecnología, 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 Tabla 3 Principales Necesidades). Posteriormente se debe 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 así 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, colectividad de servicios y colaboradores de gran escala), Tipo de Programa (características principales), Agencia encargada (institución regional o nacional a cargo de la coordinación y la implementación), Palabras Claves, 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 representarte mediante una matriz lo más entendible posible, se comunica, se documenta muy bien, se le realiza la trazabilidad establecida y se debe 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 enfocados hacia el fortalecimiento de la relación universidad – empresa

El control para cada uno de estos programas para asegurar que realmente están generando un gran impacto positivo deberá realizarse desde las cifras de nuevos puestos de trabajo generados, cantidad de inversiones para nuevas empresas creadas, etc.; también se debe considerar al especialización de la región y las políticas más apropiadas de acuerdo con sus especificidades, y finalmente se debe evaluar todos los objetivos propuestos para cada programa para 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 es necesario:

1. Claridad de motivación para la intervención
2. Especialización del programa
3. Establecer objetivos reales y cumplibles
4. Soporte público
5. La importancia de la Triple Hélice: Universidad – Empresa – Estado
6. Compromiso del sector privado
7. Buen uso de los bienes
8. 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 logre cubrir todas las necesidades antes descritas.

4.3.1.3 ESTRUCTURA

Para el MBA del SRI de Antioquia se tomó como referencia para su diseño 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 la revisión de literatura que dé respuesta a las necesidades inherentes del concepto de SRI y el Modelo que ya se ha corrido y 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 debe 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 ya antes se citó.

La aplicación de nuevos conocimientos obtenidos a través de la apertura internacional para incorporar modelos internacionales a nivel regional que aporten nuevas e innovadoras herramientas.

La innovación vista desde 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 para una búsqueda de conocimiento y 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 cuales son 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 que nunca se tomarán en cuenta todas las variables que entran en juego y que ésta 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 determinar si en realidad si se está cumpliendo mínimamente con dichas características.

La inteligencia que deben tener los agentes que interactúan es solo parte del requisito para el modelamiento y su posterior aplicación. Los agentes propiamente dichos deben tener un propósito muy bien descrito, el cual debe ser resultado de investigaciones y trabajo de campo muy bien complementado a través de la implementación de diferentes y diversas herramientas para captar datos relevantes que puedan llevar a concluir sobre el propósito de cada uno de los agentes y éste sea lo más cercano a la realidad vivida dentro de la región.

Posteriormente, estos agentes deben estar situados en el espacio y el tiempo; espacio en cuanto al área física que estarán ocupando, lo cual, es fundamental dentro del estudio que se pretende realizar debido a que está el concepto de “aprendizaje” de los agentes y pueden buscar mayor interacción con agentes que estén físicamente mucho más cercanos y no malgastar recursos necesarios para la generación de innovación, acompañado de un trabajo de campo muy bien estructurado para identificar las distancias y ubicaciones exactas; en segundo lugar, el tiempo; el tiempo es parte vital como paso anterior al modelamiento; se debe tener muy claro cuáles son las condiciones iniciales y el horizonte de tiempo propuesto para todo el estudio que se pretende realizar y cómo dicho horizonte podría responder las interrogantes de investigación propuestas.

Los supuestos que se deben establecer deben ser acordes a una realidad que en el momento se esté viviendo y cómo de esta se pueden desprender situaciones muy probables que sólo necesitan ser simuladas para comprobar su veracidad; de esta forma lo que se busca es hacer uso también de los Métodos Analíticos Tradicionales los cuales complementan muy bien los MBA pues permiten la posibilidad de generar los equilibrios de un sistema y los MBA como tal permiten la

posibilidad de generar los equilibrios, esto es, que cuando se enfrenta a un entorno complejo, con agentes complejos, su interacción también será compleja y el equilibrio de la interacción está muy alejada de todo el modelamiento, pero, al llegar a formular muy bien y de manera muy estructurada un buen MBA lo que se pretende es obtener un modelo que explique cómo dentro de toda la complejidad que rodea el estudio se pueden encontrar puntos concretos que le den equilibrio y que por lo tanto expliquen las interacciones junto con todas las razones y explicaciones que se deriven, tomando en cuenta toda la “robustez” del sistema considerando la diversidad de agentes, su conexión y sus niveles de interacción.

5. 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 financiamiento muy visible, muchas veces se quedan en proyectos debido a que no existe una verdadera comunicación entre los diversos actores, la universidad, perteneciente a Triple Hélice: Universidad – Empresa – Estado, lo que es fundamental para el desarrollo del SRI, pero si no hay colaboración de los 3 a la vez no hay esfuerzo que valga.

- ✓ El papel del micro y macro entorno en donde las interacciones se desarrollan entre los agentes, se ha convertido en un factor importante en el MBA y en el trabajo de simulación, esto es, que un “entorno simple” proporciona agentes simples, pero, “entornos complejos” proporcionan agentes complejos, que generan diversidad de comportamientos, por lo cual se puede realizar un estudio mucho más detallado y proponer maneras de lograr interpretar dicho comportamiento para optimizar los resultados de la generación de innovación

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

- ✓ La propuesta para un método de aplicación de un MBA en los SRI aún está lejos de poder ser considerada como algo totalmente tangible, estandarizada y puntual, debido a que si se establece desde la literatura aún hay muchos conceptos que poseen muchas formas de interpretación y a su vez se encuentra el factor de la “realidad” entendiendo éste 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 que es importante acompañar modelos basados en agentes para aplicaciones en las ciencias sociales desde la argumentación más amena y entendible y no tan matemática y estadística como se realizó para el presente trabajo, para así acercar mucho más 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 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” Tomado de “Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del Sistema Regional de Innovación de Antioquia”, Grupo de Investigación GTI y GISAI, UPB, Medellín, 2014.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Ackoff, R. (1959). Games, Decisions, and Organization. *General Systems*, 145 - 150.
- Aldana, M. (2014). *Instituto de Ciencias Físicas - UNAM*. Recuperado el 28 de 10 de 2014, de Instituto de Ciencias Físicas - UNAM:
<http://www.fis.unam.mx/~max/MyWebPage/notastwocolumn.pdf>
- Alvarez, C. (2009). Los cluster del sistema regional de innovacion antioqueño: mas debilidades que fortalezas en su desempeño. *Tecnológicas*, 187-222.
- Andersson, M., & Karlsson, C. (2006). Regional Innovation Systems in Small and Medium-Sized Regions. En B. Johansson, C. Karlsson, & R. Stough, *The Emerging Digital Economy* (págs. 55-81). Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- Archibugi, D., Howells, J., & Michie, J. (1999). *Innovation Policy in a Global Economy*. 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, Antioquia, Colombia.
- Ashby, W. R. (1952). Can a Mechanical Chess-Player Outplay its Designer. *British Journal of Philosophy of Science*, 44.
- Asheim, B., & Gertler, M. (2005). The Geography of Innovation Regional Innovation Systems. En J. Fagerberg, D. Mowery, & R. Nelson, *The Oxford Handbook of Innovation* (págs. 291-317). Oxford: Oxford University Press.
- Axelrod, R., & Tesfatsion, L. (16 de 04 de 2014). www2.econ.iastate.edu. Recuperado el 05 de 06 de 2014, de www2.econ.iastate.edu/:
<http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/abmread.htm>
- Bailey, A., Lawrence, M., Shang, H., Katz, A., & 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*, 1 - 17.
- Berlekamp, E., Conway, J., & Guy, R. (1982). *Winning ways: For your mathematical plays, volume 2: Games in particular*. London: Academic Press.
- Bertalanffy, L. V. (1976). *Teoría General de los Sistemas*. (J. Almela, Trad.)
- Bertalanffy, L. V., Ashby, W. R., & Weinberg, G. M. (1978). *Tendencias en la Teoría General de Sistemas*. Madrid.

- Borshchev, A., & 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*, 61-74.
- Braczyk, H., Cooke, P., & Heidenreich, M. (2004). *Regional Innovation Systems: The Role of Governances in a Globalized World*. London: Routledge.
- Bradley, D. F., & Calvin, M. (1956). Behavior: Imbalance in a Network of Chemical Transformation. *General Systems*, 56 - 65.
- Caicedo, H. (2012). Análisis del sistema regional de ciencia, tecnología e innovación del Valle del Cauca. *Estudios Gerenciales*, 125-148.
- Chaigneau, S., Canessa, E., & Quezada, A. (2012). Application of agent-based modeling to the study of gender stereotypes. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 238-256.
- Cooke, P. (1992). Regional innovation systems: Competitive regulation in the new Europe. *Geoforum*, 365-382.
- Cvetanović, S., & Sredojević, D. (2012). THE CONCEPT OF NATIONAL INNOVATION SYSTEM . *Economic Themes*, 167 - 185.
- Doloreux, D. (2002). What we should know about Regional Systems of Innovation. *Technology in society*, 243-263.
- Dong, X., Foteinou, P., Calvano, S., Lowry, S., & Androulakis, I. (2010). Agent-Based Modeling of Endotoxin-Induced Acute Inflammatory Response in Human Blood Leukocytes. *Plos One*, 1 - 13.
- Drucker, P. (2002). The Discipline of Innovation . *Harvard Business Review*, 95-102.
- Drucker, P. F. (1986). *Innovation and Entrepreneurship*. Harper Prenalial.
- Eapen, B. (2009). Agent-based model of laser hair removal: A treatment optimization and patient education tool. *Indian Journal of Dermatology, Venereology & Leprology*, 383 - 387.
- Edquist, C. (2007). Systems of Innovation Approaches. Their Emergence and Characteristics. En C. Edquist, *Systems of Innovation: Technologies, Institutions, and Organizations* (págs. 1-35). London and Washington: Pinter.
- EUROSTAT & OECD. (10 de 11 de 2005). Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data, 3rd Edition.
- Feria, M., Rodríguez, M., & Herrera, S. (2012). El Sistema Regional de Innovación en Aguascalientes (México): Entre el Discurso y la Realidad. *Cuadernos de Administración*, 163 - 184.

- Fleming, L. (2001). Recombinant Uncertainty Technological Search. *Management Science*, 117-132.
- Freeman, C. (1982). *Unemployment and Technical Innovation: A Study of Long Waves and Economic Development*. (J. Clark, Ed.) London.
- 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*, 91 - 109.
- Garson, G. (2009). Computerized Simulation in the Social Sciences A Survey and Evaluation. *Simulation & Gaming*, 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., & Kerexeta, G. (2012). Introduction: A Variety of Innovation Topics Approaches. *Cuadernos de Gestión*, 15-25.
- González, S. (2004). ¿Sociedades artificiales? Una introducción a la simulación social. *Revista Internacional de Sociología*, 199-222.
- González, S. (2006). The Role of Dynamic Network in Social Capital: A Simulation Experiment. *Revista de Sociología*, 171-194.
- Haire, M. (1959). *Biological Models and Empirical History of The Growth of Organizations*. New York.
- 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*, 101-120.
- Lauberte, I., & Ginters, E. (2008). Agent-based Simulation in applicant's character recognition. *Annual Proceedings of Vidzeme University of Applied Sciences "ICTE in Regional Development"*, 58 - 64. Valmiera, Latvia.
- Leydesdorff, L., & Fritsch, M. (2006). Measuring the knowledge base of regional innovation systems in Germany in terms of a Triple Helix dynamics. *Research Policy*, 1538 - 1553.
- Lilienfeld, R. (1984). *Teoría de Sistemas Orígenes y Aplicaciones en ciencias sociales*. México D.F: Trillas.

- Llisterri, J. J., & 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*, 95-119.
- Lundvall, B. A., & Lindgaard, J. (2004). *Product Innovation, interactive learning and economic performance*. Elsevier.
- Lundvall, B. A., Johnson, B., Sloth, E., & Dalum, B. (2002). National Systems of Production, Innovation and Competence Building. *Research Policy*, 213 - 231.
- Maguire, S., McKelvey, B., Mirabeau, L., & Öztas, N. (2006). Complexity Science and Organization Studies. En S. Clegg, C. Hardy, T. Lawrence, & W. Nord, *The Sage Handbook of Organization Studies* (págs. 165-214). London: Thousand Oaks.
- Metcalfe, J. (1998). *Evolutionary Economics and Creative Destruction*. London: Routledge.
- Metcalfe, J. S., & Miles, I. (2000). *Innovation Systems in the Service Economy*. Kluwer Academic Publisher.
- Miller, B. W., Breckheimer, I., McCleary, A. L., Guzmán-Ramirez, L., Caplow, S. C., Jones-Smith, J. C., & Walsh, S. J. (2010). Using stylized agent-based models for population-environment research: A case study from the Galápagos Islands. *Population & Environment*, 401 - 426.
- Navarro, M. (2002). El marco conceptual de los Sistemas de Innovación Nacionales y Regionales. *Revista madri+d*(Monografía 4), 87-102.
- Newman, M. (2003). The structure and function of complex networks. *Siam Review*, 167-256.
- Palma, J., & Marín, R. (2008). *Inteligencia Artificial, Técnicas, Métodos y Aplicaciones*. 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., & Molina, H. (2012). An affective model for the multiagent architecture for self-organizing and emergent systems (MASOES). *Revista Técnica de Ingeniería Universidad de Zulia*, 80-90.

- Pietrobelli, C. (2014). *Inter-American Development Bank*. Obtenido de Inter-American Development Bank:
http://issuu.com/idb_publications/docs/technicalnotes_en_8662
- Ponsiglione, C., De Crescenzo, E., Lanzetta, V., & Zollo, G. (2012). The Analysis or Regional Innovation Systems in Europe: the Case or a Region with Medium-Low Innovation Capability. *15th Uddevalla Symposium, Entrepreneurship and Innovation Networks, Portugal*, (págs. 1-23). Faro.
- Pyka, A., & Scharnhorst, A. (2009). *Innovation Networks: New approaches in Modelling and Analyzing*. Berlin: Springer.
- Quezada, A., & Canessa, E. (2010). Modelado basado en Agentes: Una herramienta para completar el análisis de fenómenos sociales. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 226 - 238.
- Quintero, S., & 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*, (págs. 1 - 16). Porto.
- Rixon, A., Moglia, M., & 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., & Ceballos, Y. (2008). Estudio de un proceso de innovación utilizando la dinámica de sistemas. *Cuadernos de Administración*, 127 - 159.
- Schumpeter, J. A. (2006). *Essays on entrepreneurs, innovations, business cycles, and the evolution of capitalism*. Transaction.
- Seki, I., & Barbaros, R. (2011). National Innovation Systems and University Economics Approach for Measuring Competitive Power. *Ege Academic Review*, 407 - 424.
- Sklar, E. (2007). Software Review: Netlogo, a Multi-agent Simulation Environment. *Artificial Life*, 303 - 311.
- Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Irwin: McGrawHill.
- Tesfatsion, L., & Judd, K. (2006). *Handbook of Computational Economics, Volume 2: Agent-Based Computational Economics*. Netherlands: Elsevier.
- Tödting, F., & Trippel, M. (2005). One size fits all?: Towards a differentiated regional innovation policy approach. *Research Policy*, 1203-1219.
- Vallacher, R., & Nowak, A. (1997). The emergence of dynamical social psychology. *Psychological Inquiry*, 73-99.

- 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*, 95-120.
- Weiss, G. (1999). *Multiagent Systems: A modern Approach to Distributed Modern Approach to Artificial Intelligence*. Cambridge: The MIT Press.
- Wilensky, U., & Reisman, K. (1999). Connected science: Learning biology through constructing and testing computational theories - An embodied modeling approach. *International Journal of Complex Systems*, 1-12.
- Wilson, B. (1993). *Sistemas: Conceptos, metodología y aplicaciones*. México: Limusa.
- Wymore, W. (1967). *Mathematical Theory of Systems Engineering: The Elements*. New York.
- 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., & 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*, 1459-1492.
- 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). *ESU European University Network on Entrepreneurship Conference, University of Seville, Spain*, (págs. 1 - 19). Seville.

ANEXOS

ANEXO I – ARTÍCULO PUBLICABLE

**PROPUESTA DE UN MÉTODO PARA LA
APLICACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN
BASADA 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**

Edgar David Embuz Padilla
Universidad Pontificia Bolivariana
sede Medellín
Colombia
edepts@msn.com
Celular: 3008395874
Especialista (c) en Sistemas
Integrados de Gestión

Javier Darío Fernández Ledesma
Universidad Pontificia Bolivariana
sede Medellín
Colombia
javier.fernandez@upb.edu.co
Celular: 3217383163
Director Trabajo de Grado

RESUMEN

A través del presente trabajo lo que se busca es 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), el cual 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 cómo éstas 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

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" Medellin. 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 Regionales 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, por lo cual, el presente trabajo se convertiría 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 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 el Grupo 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 información suministrada por el proyecto al cual pertenece dicha investigación y por último lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos. Esto se describe en las siguientes tres fases del trabajo:

FASE I

Apoiado en gran medida en Estado del Arte; Revisión bibliográfica sobre:

- ✓ Generalidades e importancia de los Sistemas Regionales de Innovación
- ✓ Necesidades más importantes de los Sistemas Regionales de Innovación
- ✓ Modelos basados en agentes para 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, justificación, desarrollo e 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, es un concepto que hoy en día ha invadido todos los campos de la ciencia y penetrado en el pensamiento y el habla populares y en los medios de comunicación y masas (Bertalanffy L. V., 1976), y es muy frecuente que éste posea 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 L. V., 1976) “sistema es un conjunto de elementos en interacción” proponiendo que se compone de un aspecto estructural (informaciones, elementos, red de comunicaciones, límites) y un aspecto funcional, siendo así el elemento central en su propuesta Teoría General de Sistemas (1940), la cual considera que la conceptualización de “sistema” es una innovación⁹ 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 abierta todo el cuestionamiento sobre la integración del concepto hacia todas las disciplinas de forma unificada. Seguidamente, Ervin Lazlo y Stephen Pepper citados en (Lilienfeld, 1984), Ervin Lazlo en su Teoría de Sistemas Naturales considera que los Sistemas Sociales y 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 comportamiento por ser adaptables, todo esto lo complementa Stephen Pepper a través de

⁹La innovación vista desde James (1979) como crear e introducir soluciones originales a las necesidades existentes y las nuevas que surjan

sus estudios y publicaciones “Las concepciones del mundo”, “Concepto y Calidad”, entre otros denota 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 sistemas son organismos, organizaciones, sociedades o disciplinas científicas

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 por consiguiente llegar a ser considerado como algo pasajero o una técnica reciente, sino más bien ubicarlo en el contexto de la historia de las ideas; Como lo dicho en (Bertalanffy L. V., 1976) los progresos que ha sufrido la Teoría General 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 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 éste 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 emplea la programación lineal y la teoría de los juegos)
- ✓ Ingeniería Humana (capacidades, limitaciones fisiológicas y variabilidad de los seres humanos, incluyendo la biomecánica, ingeniería psicológica, factores humanos, etc.)

En los últimos años, muchos campos pertenecientes a la sociedad tales como la biología, psicología, economía, sanidad,

dirección de empresas, ciencias políticas entre otros, han manifestado con mucha mayor fuerza la colaboración de la Teoría General de Sistemas, analizado por George J. Klir¹⁰ en (Bertalanffy, Ashby, & Weinberg, 1978), éste autor explica la necesidad intrínseca en cuanto a la reinterpretación de las bases fundamentales de lo que debe constituir un sistema propiamente dicho y el área donde 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 ha enmarcado en sus inicios desde la ciencia propiamente dicha en campos tradicionales a la explicación exacta del entorno (Bertalanffy L. V., 1976) lo que produjo una gran problemática en cuanto a la explicación, aplicación e interpretación en los campos biológicos, del comportamiento y sociológicos, con características muy puntuales en que son organismos vivos en cambio continuo hasta el punto de poder llegar a considerarse impredecibles, y es así donde se ve la necesidad de la introducción de nuevos modelos conceptuales que permitieran integrar diversas disciplinas evidenciados en (Ashby, 1952), ejemplos como el estudio sobre redes de reacciones químicas (Bradley & Calvin, 1956), estudio sobre el crecimiento de las organizaciones (Haire, 1959) donde aplicaron los principios de la Teoría General de Sistemas propuesta en (Bertalanffy L. V., 1976) complementándola con nuevas aplicaciones totalmente distintas a la visión clásica con grandes resultados.

Estos nuevos modelos que permiten integrar el concepto de un “sistema” con distintas disciplinas le han permitido a la sociedad en general establecer sistemas en gran variedad

¹⁰ School of Advance Technology, State University, of New York at Binghamton

de ámbitos, vemos que el estudio en la ingeniería humana que contempla factores humanos entre otros (Ackoff, 1959) permite la explicación de relaciones sistémicas dentro de dichos factores humanos, y una necesidad muy particular que hoy en día ha surgido con gran fuerza es el explicar “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 arroja un escenario totalmente nuevo en vista de lo que cobija. Un sistema puede aplicar en el ámbito social (Lilienfeld, 1984) y la innovación entendida como un resultado de las interacciones sociales en búsqueda 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 la “innovación es, ante todo, un fenómeno social, originado en la interacción de actores diversos, cuya dinámica es responsable de la producción y transformación del conocimiento científico y tecnológico en riqueza económica, bienestar social y desarrollo humano” (Robledo & Ceballos, 2008), 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 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 & Lindgaard, Product Innovation, interactive learning and economic performance, 2004), para tal fin se puede iniciar ver con mayor detenimiento toda la relación de diferentes ensayos y estudios realizados en concordancia

de 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 de ser un valor primordial y a la vez agregado para la sociedad actual, esto respaldado por (Drucker P. F., 1986) presentando 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 éste concepto ha sido llevado al ámbito de los servicios, y cómo estos deben innovar conforme el entorno de negocios así lo amerite (Metcalf & Miles, 2000) lo que trae grandes beneficios y propone investigación formal de la aplicación de servicios innovadores para fortalecer la economía internamente. En (EUROSTAT & 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 en (Feria, Rodríguez, & 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 sólo 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 con 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 éste 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 al territorio y al ámbito dónde se desarrolle, por lo cual, la clasificación de los Sistemas de Innovación se tomará desde (Listerri & Pietrobelli, 2011) donde éstos son clasificados según su ámbito geográfico en transnacionales, nacionales, regionales y locales; Éstos 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 & 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 a fines de la década de 1980 en investigar formal y rigurosamente los Sistemas Nacionales de Innovación fue Christopher Freeman enfocándola mucho más en economía en su libro "Technology Policy and Economic Policy: Lessons from Japan" (Freeman, 1987) en donde 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", y rápidamente este concepto desarrollo una gran importancia en cuanto que no sólo 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; están los aportes de (Lundvall, Johnson, Sloth, & Dalum, 2002) en donde los autores 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 que vieron la necesidad latente de tratar de proporcionarle a la sociedad una aproximación del significado de éste concepto debido a que se popularizaba cada vez más pero nadie tenía una total claridad sobre el mismo ya que proponen que este concepto es y será una herramienta fundamental dentro del desarrollo económico de los países, esto lo fundamentaron en que éstos 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). En (Cvetanović & Sredojević, 2012) se resalta que la competitividad de un país depende directa e indirectamente en la innovación aplicada a sus políticas y desarrollos económicos y una de los aspectos determinantes es el Sistema Nacional de Innovación que se tenga implementado en el país, teniendo en cuenta instituciones tanto públicas como privadas, de cuyas actividades e interacciones se determina la creación y difusión de innovación, y 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 OECD¹¹ en el trabajo de (Seki & 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 en los niveles

¹¹ Organization for Economic Co-operation and Development - <http://www.oecd.org/>

de educación que exista dentro de los países puesto que es un impacto positivo o negativo dependiendo de los niveles alcanzados, esto medido en la producción de conocimiento que se genere y 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”¹²; varios autores coinciden en que éstos se basan en que en un gran porcentaje, todos los actores que influyen sobre las actividades de innovación poseen una dimensión Nacional (instituciones, cultura y valores) los cuales se encuentran sujetos a variables internas como estrategia, capacidades de los empleados, cultura organizacional, compromiso de la alta dirección, 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.

En (EUROSTAT & OECD, 2005) se determina 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 investigación locales, las grandes empresas, y demás actores, pueden influir en los resultados de las regiones referente a innovación, en donde se propicia contacto con competidores, instituciones públicas de investigación, clientes, proveedores, etc., en (Leydesdorff & Fritsch, 2006) se establece la necesidad de individualizar sistemas de innovación para cada región en particular y poder analizar de forma mucho más específica la generación de innovación, en donde los

¹² Lundvall, Bengt Ake, Op. cit.

agentes (actores del sistema) interactúan efectivamente al tener en cuenta su posición geográfica, el intercambio económico entre ellos y la dinámica de intercambio de conocimientos prevaleciendo temas económicos.

La necesidad de poder visualizar las interacciones entre los diferentes agentes de un sistema ha sido necesidad básica desde que todos los estudios referente a la temática se han llevado a cabo, (Wymore, 1967) expresa algo muy importante en referente a 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. Esto expresado también en (Lilienfeld, 1984) al citar las técnicas para simular procesos sociales y ambientales por computadoras, propuestas por Jay Forrester y muchos otros, y 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 & Ceballos, 2008) en donde se expresa 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 & Tesfatsion, 2014), donde también se puede ver una gran aplicación de modelos de simulación en computadora para temas económicos (Tsfatsion & Judd, 2006) que van muy acorde con los principios en los que se basan para temáticas asociadas a lo social.

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 capaz de resolver hasta cierto punto toda la incertidumbre que éste tipo de procesos poseen, como lo descrito en (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 sobre 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 & 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, Eventos Discretos, Basada en Agentes y Dinámica de Sistemas.

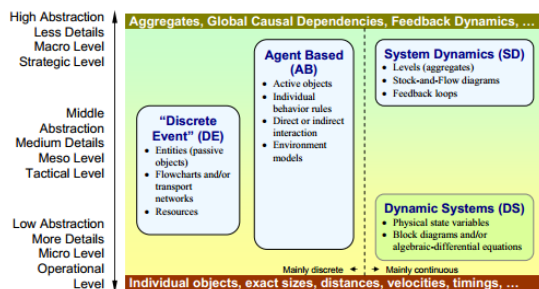


Figura 1: Approaches (Paradigms) in Simulation Modeling on Abstraction Level Scale. Tomado de (Borshchev & Filippov, 2004).

Pero lo que realmente nos 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 & Canessa, 2010) en donde enfatizan que el enfoque más adecuado es el 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 cual significa que son aquellos que emergen del funcionamiento y 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 infra determinación empírica de las teorías sociológicas.
- ✓ 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 ser implantadas

Esto abre las puertas de un nuevo entendimiento de las ciencias sociales desde el modelamiento hacia ambientes computacionales, y estamos ante una explicación cuantitativa de aspectos netamente cualitativos, así como las ciencias exactas fueron descritas a través de estudios establecidos, así mismo las ciencias sociales podrían llegar a serlo mediante ésta herramienta.

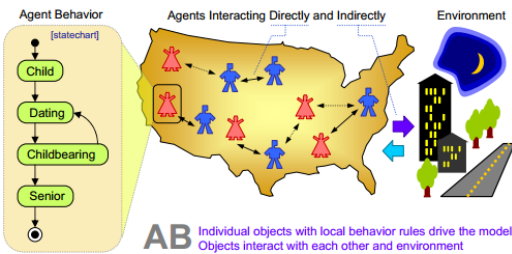


Figura 2: Modelado Basado en Agente (MBA). Software de Simulación AnyLogic¹³. Tomado de (Borshchev & Filippov, 2004).

Retomando la innovación como parte de un proceso social, dentro de la literatura aún existen pocos estudios aplicativos en modelos de simulación basadas en agentes que integren ambas temáticas, sin embargo, en los últimos años ésta temática ha tomado fuerza evidenciado en trabajos aplicativos como “Dinámicas de Conocimiento entre la Industria y Universidades en la Nanotecnología mediante Simulación Basada en Agentes” (Aristizábal, 2013), ejecutando simulaciones de la dinámica existente en Software Netlogo, determinando los agentes pertenecientes al caso estudiado a través de la conceptualización de necesidades puntuales de sistemas nacionales y regionales de innovación, 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. Obteniendo resultados que permitieron determinación de cómo beneficiar el desarrollo de la innovación a través de la interacción de los diferentes agentes.

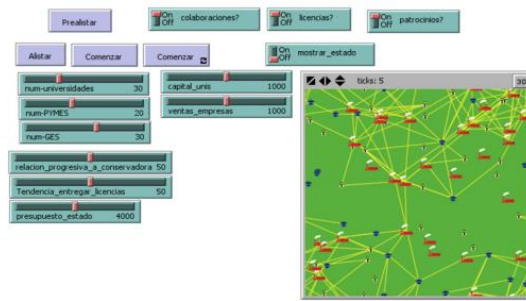


Figura 3: MBA para un Sistema de Innovación en Nanotecnología. Tomado de (Aristizábal, 2013)

Es así como se debe integrar todos los conceptos que hasta el momento se ha citado: sistema, innovación, sistema de innovación, sistema nacional de innovación, sistema regional de innovación, simulación, modelo basado en agentes, y a partir de éstos establecer la necesidad de implementar un modelo de simulación basado en 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, lo propuesto por (Velardiez, 2008) pueden ser clasificados en cuatro subsistemas:

- ✓ Las empresas y las estructuras de mercado:
Usuarías 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, nivel de internacionalización, estructura de los mercados y tipo de demanda, la cultura innovadora, etc.

¹³ Software de Simulación AnyLogic para MBA - <http://www.anylogic.com/>

- ✓ Las actuaciones públicas relacionadas con la innovación y el desarrollo tecnológico:

Establecen el marco general, legal e institucional donde 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 difundidores del conocimiento
 - Obligación en resistir presión competitiva
 - Son las organizaciones de aprendizaje
- ✓ Las instituciones:
 - Agentes de Investigación
 - Influyentes en creación, desarrollo, transferencia y 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 capacidad de aprendizaje y difusión del conocimiento
 - Mejorar interacciones entre todos los agentes antes citados

Los enfoques presentados para la conceptualización, características y principales atributos para los agentes pertenecientes a los SRI son concebidos bajo estudios técnicos realizados por los diferentes autores, en donde éstos difieren en forma más no en la idea de fondo, esto es, que pueden aplicarse fácilmente al contexto de estudio para una región en particular (Alvarez, 2009) (la cual podría ser en la región de Antioquia, Colombia) o contexto específico (Edquist, 2007) pues contiene 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. Este inciso reforzado por (Archibugi, Howells, & Michie, 1999), (Doloreux, 2002) y (Pyka & Scharnhorst, 2009), en donde 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, & Heidenreich, 2004), (Isaksen, 2001), (Lundvall, 2007)

Existe un importante vínculo entre la especialización de la región y el tipo de actividades innovadores que se realicen (Velardiez, 2008). Respaldado por (Tödtling & Trippl, 2005) que expresa que para aplicar políticas a nivel regional se deberán tener en cuenta patrones de especialización industrial, influencia del conocimiento en el proceso de innovación y conocimiento táctico, por lo tanto, las regiones no se pueden medir de igual forma.

Teniendo presente 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 proyecto al cual está sujeta la presente investigación, en donde se podrá establecer sus fundamentos, principales necesidades y por consiguiente se realizará una propuesta de un método de 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 realizó el trabajo titulado “Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del Sistema Regional de Innovación de Antioquia”, lo cual, permite visualizar un alcance determinado, el cual, a partir de la literatura expresada en (Edquist, 2007) donde el concepto de sistemas puede aplicarse en un contexto en particular; Es así, como se analiza el Sistema de Innovación del Departamento de Antioquia (Colombia) y sus dinámicas desde las 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, el cual, 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 estandarizados para el estudio de los Sistemas Regionales de Innovación que permita ver preliminarmente si todas las hipótesis, cuestionamientos, pensamientos y demás suposiciones que se puedan presentar son correctas o al menos pueden considerarse

muy probables que lo sean y así evitar los sesgos que éstas puedan provocar. Al incluir una mayor cantidad de variables en el modelo propuesto para el sistema estudiado permitiría tener en cuenta un mayor entendimiento del comportamiento de éste; Todo esto brindaría la oportunidad de desarrollar una discusión de iniciativas mucho más nutrida que pueda mostrar puntos específicos totalmente inesperados del fenómeno.

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

- ✓ Demostrar que las redes de innovación parecen someterse a un ciclo de vida en el cual el número de alianzas crece al principio, alcanzan su máximo y después declinan.
- ✓ 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

En base al Estado del Arte de la presente investigación se refuerza 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 pensamientos, como la economía del aprendizaje, la teoría de red, la economía evolutiva, la economía de la innovación, entre otras (Quintero & Robledo, 2013).

El SRI de Antioquia lleva aproximadamente más de dos décadas creciendo e implementándose a partir de iniciativas locales con una aproximación de carácter *bottom-up*, donde se considera a los agentes clave del proceso como base de su construcción, es 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, & Burn, 2005) en “Proceedings of the joint conference on multi-agent modelling for environmental management” en la ciudad de Bourg-Saint-Maurice (Francia) con su trabajo “Bottom-up approaches to building agent-based models: discussing the need for a platform”, donde brindan una guía para programadores novatos y/o experimentados durante el desarrollo de Modelos Basados en Agentes, en particular, con una aproximación “bottom-up”, a la cual se le realiza una completa revisión de literatura y aplicativa. En los años ochenta, la región de 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 donde se realizara la interacción entre los agentes, que hace parte fundamental para la generación de innovación, recordando así a (Robledo & Ceballos, 2008), (Edquist, 2007). En los años noventa hubo un cambio significativo en Colombia debido a la reestructuración de la constitución, dentro de dichos cambios se impactó directamente a las regiones otorgándoles cierta autonomía en la toma de atribuciones, decisiones y funciones, esto, con aras de potencializar el desarrollo de capacidades e instituciones acompañado de 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 del SRI (Listerri & Pietrobelli, 2011).

Contexto SRI y sus agentes: Región Antioquia (Colombia)

Retomando la literatura, autores como (Asheim & 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 co-evolución de la organización productiva y a la ubicación de las instituciones formales e informales en el sistema (Quintero & 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, influencia del conocimiento en el proceso de innovación y conocimiento táctico, recordando a (Tödtling & Trippel, 2005), lo cual es una necesidad inherente en el desarrollo de los SRI.

De esta forma, se debe analizar los SRI con base en la definición antes descrita, en la cual, estos sistemas están compuestos por varios sub-sistemas 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 utilización del conocimiento (Zollo, De Crescenzo, & Ponsiglione, 2011)
La idea central
4. Reguladores: Brindar lineamientos y coordinar la red de innovación (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 esto, 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 & Kerexeta, 2012).

Para el caso en específico del SRI de Antioquia en el Modelo que se desarrolló se planteó como supuesto que el principal agente en el sub-sistema 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, traza de los procesos de innovación, 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 sub-sistema del SRI.

A su vez, para éste 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 a nivel internacional (organizaciones internacionales, etc.) para así poder adaptar dichos conocimientos a nivel de la región.

Es así que en el ámbito 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 al aprendizaje por la vía de capacidades y competencias.



Figura 4: Modelo del Sistema Regional de Innovación de Antioquia. Tomado de “Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del Sistema Regional de Innovación de Antioquia”, Grupo de Investigación GTI y GISAI, UPB, Medellín, 2014

Éste SRI se encuentra a su vez sujeto a la adaptabilidad, esto, referente a 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), donde este posee cierta capacidad de respuesta frente a cambios en el entorno mediante mecanismos como el aprendizaje a escala individual o la selección y reemplazo, esto directamente se refiere a los Sistemas Auto-Organizados que cumplen con: Aumento del Orden (Yamins, 2007), autonomía, adaptación (aprendizaje y evolución), robustez, anticipación (cognición) y dinamismo (Perozo,

Aguilar, Terán, & Molina, 2012), todas estas propiedades deberán estar sujetas a la adaptabilidad de forma íntegra, a la interacción entre las mismas y reglas establecidas, todo esto, para que sea posible que el sistema cumpla en su totalidad.

Esto nos lleva al concepto de “agentes inteligentes”, los cuales son el principal componente dentro de un Sistema de Innovación, y 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 ontologías¹⁴ (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 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 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),

¹⁴ Colección de conceptos, predicados, secuencias, términos y relaciones entre estos elementos, que son entendibles por una sociedad de agentes

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 & 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

En base al concepto de Sistema Adaptativo Complejo (SAC) y todo lo que éste 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 multiniveles 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, & Zollo, 2012)

Se diseñó de acuerdo con 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 se buscan datos que soporten el modelo.
3. Formulación del modelo y simulación, en donde se especifica la estructura del modelo, parámetros y 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 parches 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_Interrelacion	Es la longitud del vínculo de una Universidad (agente explorador) con otros agentes del sistema medido en parches 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 gráfica 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 5 años, tiempo prudentemente 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, donde se pueden

manipular a voluntad los parámetros antes mencionados. Éstos 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 desde (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, territorios y 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 Aburra, 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. Tomado de “Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del Sistema Regional de Innovación de Antioquia”, Grupo de Investigación GTI y GISAI, UPB, Medellín, 2014

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.

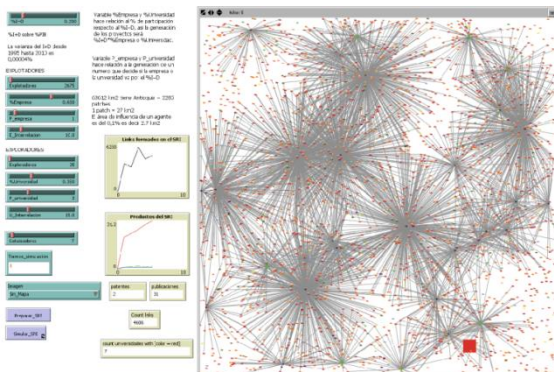


Figura 5: Simulación SRI sin mapa. Tomado de “Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del Sistema

Regional de Innovación de Antioquia”, Grupo de Investigación GTI y GISAI, UPB, Medellín, 2014

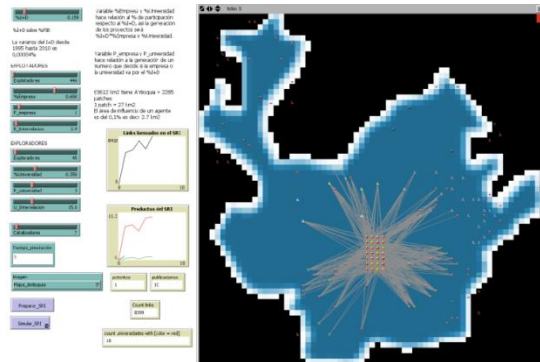


Figura 6: Simulación SRI con mapa de Antioquia. Tomado de “Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del Sistema Regional de Innovación de Antioquia”, Grupo de Investigación GTI y GISAI, UPB, Medellín, 2014

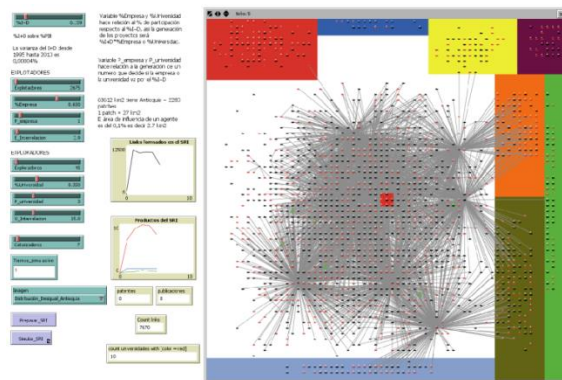


Figura 7: Simulación SRI con Distribución desigual Antioquia. Tomado de “Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del Sistema Regional de Innovación de Antioquia”, Grupo de Investigación GTI y GISAI, UPB, Medellín, 2014

Como se puede observar en las Figuras 5, 6 y 7 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 puede definir redes diferentes dependiendo de cómo se hayan definido las conexiones (Aldana, 2014).

Seguidamente, teniendo el concepto de red presente, 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).

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

Ecuación 1: Clusterización en una red.

Tomado de “Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del Sistema Regional de Innovación de Antioquia”, Grupo de Investigación GTI y GISAI, UPB, Medellín, 2014

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

Ecuación 2: Coeficiente de clusterización en una red. Tomado de “Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del Sistema Regional de Innovación de Antioquia”, Grupo de Investigación GTI y GISAI, UPB, Medellín, 2014

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).

Propiedades mediante las cuales se puede realizar todo el análisis del SRI con un soporte

matemático y estadístico que puede ser profundizado¹⁵

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 en donde se requiere un gran esfuerzo para la recolección de datos, visitas de campo, desarrollo de herramientas para todo el estudio, etc., y esto ya es considerado mucho más a profundidad dentro del macro proyecto 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, busca 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 éste 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 sub-región.

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

¹⁵ 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”, Grupo de Investigación GTI y GISAI, UPB, Medellín.

investigación y de las diversas formas en que éstas interactúan con las instituciones públicas, entrando también en consideración con el marco legal y regulatorio, y a su vez con las variables de la demanda a suplir de acuerdo con el contexto (Ponsiglione, De Crescenzo, Lanzetta, & 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 estableceres 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 con 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 se buscan datos que soporten el modelo.
3. Formulación del modelo y simulación, en donde se especifica la estructura del modelo, parámetros y condiciones iniciales.

Resulta vital identificar estas 3 instancias con suma claridad, desde la perspectiva de la región en específica.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

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

ALCANCE

Los Sistemas Regionales de Innovación poseen diferentes características en diferentes regiones dependiendo en la especialización industrial que ésta posea (Andersson & 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 al MBA para el SRI de Antioquia desarrollado, se pueden encontrar varios puntos en común que solo el conocimiento empírico y científico pueden lograr de forma óptima, ésta es la razón por la cual se limitó el estudio a soportar desde el Estado del Arte, estudios anteriores, revisión bibliográfico, necesidades inherentes al concepto de SRI y todo lo que éste conlleva, y claro está, de todas las necesidades que el MBA desarrollado posee para lograr enmarcar un análisis totalmente objetivo con miras hacia proponer un método de aplicación del mismo de forma eficaz que logre establecer un estándar fácilmente comprensible para el lector.

NECESIDADES S.R.I	NECESIDADES MODELO DESARROLLADO
Para los <i>agentes</i> : En cuanto a su proximidad geográfica, cognitiva, organizacional, social, institucional, compartiendo normas, valores y leyes. Este inciso reforzado por (Archibugi, Howells, & Michie, 1999), (Doloreux, 2002) y (Pyka & Scharnhorst, 2009), en donde todos los autores coinciden en su apreciación respecto a la necesidad inherente a la proximidad	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 éstas interactúan con las instituciones públicas,

<p>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.</p>	<p>entrando también en consideración con el marco legal y regulatorio, y a su vez con las variables de la demanda a suplir de acuerdo con el contexto (Ponsiglione, De Crescenzo, Lanzetta, & 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.</p>
<p>Existencia de instituciones necesarias para el óptimo desarrollo.</p>	
<p>Instituciones adecuadas para emprender la innovación.</p>	
<p>Que las diversas interacciones conduzcan a transferencia del conocimiento.</p>	
<p>Estimulación interna de las instituciones para generación de conocimiento.</p>	
<p>(Braczyk, Cooke, & Heidenreich, 2004), (Isaksen, 2001), (Lundvall, 2007)</p>	
<p>Existe un importante vínculo entre la especialización de la región y el tipo de actividades innovadoras que se realicen (Velardiez, 2008). Respaldado por (Tödtling & Trippl, 2005) que expresa que para aplicar políticas a nivel regional se deberán tener en cuenta patrones de especialización industrial, influencia del conocimiento en el proceso de innovación y conocimiento táctico, por lo tanto, las regiones no se pueden medir de igual forma.</p>	

Tabla 3: Principales Necesidades. Elaboración propia

A pesar 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 ésta manera se tenga una visión mucho más global pero sin desmeritar 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 en sí misma 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 desde (Pietrobelli, 2014) en donde 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 poder desarrollar un óptimo Sistema Regional de Innovación y mucho más si ya se tiene un MBA del SRI de Antioquia. Esto se describe en tomar el modelo correspondiente y acompañarlo de políticas establecidas para la transferencia de tecnología, 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 Tabla 3 Principales Necesidades). Posteriormente se debe 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 así desarrollar los programas que soporten en SRI con la siguiente estructura: Título del Programa, Política (que incluya el desarrollo regional y el desarrollo empresarial), Política General (compromiso de los actores, colectividad de servicios y colaboradores de

gran escala), Tipo de Programa (características principales), Agencia encargada (institución regional o nacional a cargo de la coordinación y la implementación), Palabras Claves, 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 representarte mediante una matriz lo más entendible posible, se comunica, se documenta muy bien, se le realiza la trazabilidad establecida y se debe 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 para asegurar que realmente están generando un gran impacto positivo deberá realizarse desde las cifras de nuevos puestos de trabajo generados, cantidad de inversiones para nuevas empresas creadas, etc.; también se debe considerar al especialización de la región y las políticas más apropiadas de acuerdo con sus especificidades, y finalmente se debe evaluar todos los objetivos propuestos para cada programa para 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 es necesario:

1. Claridad de motivación para la intervención
2. Especialización del programa
3. Establecer objetivos reales y cumplibles
4. Soporte público
5. La importancia de la Triple Hélice: Universidad – Empresa – Estado
6. Compromiso del sector privado
7. Buen uso de los bienes
8. 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 logre cubrir todas las necesidades antes descritas.

ESTRUCTURA

Para el MBA del SRI de Antioquia se tomó como referencia para su diseño la metodología propuesta por (Stermán, 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 corrido y 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 debe 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 ya antes lo habíamos citado.

La aplicación de nuevos conocimientos obtenidos a través de la apertura internacional para incorporar modelos internacionales a nivel regional que aporten nuevas e innovadoras herramientas.

La innovación vista desde 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 para una búsqueda de conocimiento y 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 cuales son 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 que

nunca se tomarán en cuenta todas las variables que entran en juego y que ésta 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 determinar si en realidad si se está cumpliendo mínimamente con dichas características.

La inteligencia que deben tener los agentes que interactúan es solo parte del requisito para el modelamiento y su posterior aplicación, los agentes propiamente dichos deben tener un propósito muy bien descrito, el cual, debe ser resultado de investigaciones y trabajo de campo muy bien complementados a través de la implementación de diferentes y diversas herramientas mediante las cuales se logre captar datos relevantes que puedan llevar a concluir sobre el propósito de cada uno de los agentes y éste sea lo más cercano a la realidad vivida dentro de la región. Posteriormente, estos agentes deben estar situados en el espacio y el tiempo, espacio en cuanto al área física que estarán ocupando, lo cual, es fundamental dentro del estudio que se pretende realizar debido a que está el concepto de “aprendizaje” de los agentes y pueden buscar mayor interacción con agentes que estén físicamente mucho más cercanos y no malgastar recursos necesarios para la generación de innovación, todo esto debe ser acompañado también por un trabajo de campo muy bien estructurado para identificar las distancias y ubicaciones exactas; en segundo lugar, el tiempo, el tiempo es parte vital como paso anterior al modelamiento, se debe tener muy claro las condiciones iniciales y el horizonte de tiempo propuesto para todo el estudio que se pretende realizar y cómo dicho horizonte podría responder las interrogantes de investigación propuestas. Los supuestos que se deben establecer deben ser acordes a una realidad que en el momento se esté viviendo y cómo de esta se pueden desprender situaciones muy probables que

sólo necesitan ser simuladas para comprobar su veracidad; de esta forma lo que se busca es hacer uso también de los Métodos Analíticos Tradicionales los cuales complementan muy bien los MBA pues permiten la posibilidad de generar los equilibrios de un sistema y los MBA como tal permiten la posibilidad de generar los equilibrios, esto es, que cuando se enfrenta a un entorno complejo, con agentes complejos, su interacción también será compleja y el equilibrio de la interacción está muy alejada de todo el modelamiento, pero, al llegar a formular muy bien y de manera muy estructurada un buen MBA lo que se pretende es obtener un modelo que explique cómo dentro de toda la complejidad que rodea el estudio se pueden encontrar puntos concretos que le den equilibrio y que por lo tanto expliquen las interacciones junto con todas las razones y explicaciones que se deriven, tomando en cuenta toda la “robustez” del sistema considerando la diversidad de agentes, su conexión y sus niveles de interacción.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo de políticas nacionales y regionales siempre estarán sujetas al factor humano que muchas veces ese 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 financiamiento muy visible, muchas veces se quedan en proyectos debido a que no existe una verdadera comunicación entre los diversos actores, la universidad, perteneciente a Triple Hélice: Universidad – Empresa – Estado, es fundamental para el desarrollo del SRI, pero si no hay colaboración de los 3 a la vez no hay esfuerzo que valga.

El papel del micro y macro entorno en donde se desarrolla todas las interacciones entre los agentes se ha convertido en un factor importante en el MBA y en el trabajo de

simulación, esto es, que un “entorno simple” proporciona agentes simples, pero, “entornos complejos” proporcionan agentes complejos que generan diversidad de comportamiento por lo cual se puede realizar un estudio mucho más detallado y proponer maneras de lograr interpretar dicho comportamiento para optimizar los resultados de la generación de innovación

Respecto al punto de vista territorial, vemos que para la región de Antioquia, su producción en un 69% respecto a innovación se encuentra focalizada en la subregión del Valle de Aburrá, y lo que se busca con este trabajo es precisamente determinar cómo suplir las necesidades del SRI de forma equitativa, proponiendo programas y la forma cómo 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, estandarizada y puntual, esto debido a que si 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” entendiendo éste 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 que es importante acompañar modelos basados en agentes para aplicaciones en las ciencias sociales desde la argumentación más amena y entendible y no tan matemática y estadística como se realizó para el presente trabajo, para así acercar mucho más 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 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” Tomado de “Análisis de las dinámicas, estructuras y relaciones de los agentes del Sistema Regional de Innovación de Antioquia”, Grupo de Investigación GTI y GISAI, UPB, Medellín, 2014.

REFERENCIAS

- [1] Ackoff, R. (1959). Games, Decisions, and Organization. *General Systems*, 145 - 150.
- [2] Aldana, M. (2014). *Instituto de Ciencias Físicas - UNAM*. Recuperado el 28 de 10 de 2014, de Instituto de Ciencias Físicas - UNAM: <http://www.fis.unam.mx/~max/MyWebPage/notastwocolumn.pdf>
- [3] Alvarez, C. (2009). Los cluster del sistema regional de innovacion antioqueño: mas debilidades que fortalezas en su desempeño. *Tecnológicas*, 187-222.
- [4] Andersson, M., & Karlsson, C. (2006). Regional Innovation Systems in Small and Medium-Sized Regions. En B. Johansson, C. Karlsson, & R. Stough, *The Emerging Digital Economy* (págs. 55-81). Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- [5] Archibugi, D., Howells, J., & Michie, J. (1999). *Innovation Policy in a Global Economy*. Cambridge University Press.
- [6] 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, Antioquia, Colombia.
- [7] Ashby, W. R. (1952). Can a Mechanical Chess-Player Outplay its Designer. *British Journal of Philosophy of Science*, 44.
- [8] Asheim, B., & Gertler, M. (2005). The Geography of Innovation Regional Innovation Systems. En J. Fagerberg, D. Mowery, & R. Nelson, *The Oxford Handbook of Innovation* (págs. 291-317). Oxford: Oxford University Press.
- [9] Axelrod, R., & Tesfatsion, L. (16 de 04 de 2014). www2.econ.iastate.edu. Recuperado el 05 de 06 de 2014, de www2.econ.iastate.edu/: <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/bmread.htm>
- [10] Bailey, A., Lawrence, M., Shang, H., Katz, A., & 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*, 1 - 17.
- [11] Berlekamp, E., Conway, J., & Guy, R. (1982). *Winning ways: For your mathematical plays, volume 2: Games in particular*. London: Academic Press.
- [12] Bertalanffy, L. V. (1976). *Teoría General de los Sistemas*. (J. Almela, Trad.)
- [13] Bertalanffy, L. V., Ashby, W. R., & Weinberg, G. M. (1978). *Tendencias*

- en la Teoría General de Sistemas. Madrid.
- [14] Borshchev, A., & 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.
- [15] Boschma, R. (2005). Proximity and Innovation: A Critical Assessment. *Regional Studies*, 61-74.
- [16] Braczyk, H., Cooke, P., & Heidenreich, M. (2004). *Regional Innovation Systems: The Role of Governances in a Globalized World*. London: Routledge.
- [17] Bradley, D. F., & Calvin, M. (1956). Behavior: Imbalance in a Network of Chemical Transformation. *General Systems*, 56 - 65.
- [18] Caicedo, H. (2012). Análisis del sistema regional de ciencia, tecnología e innovación del Valle del Cauca. *Estudios Gerenciales*, 125-148.
- [19] Chaigneau, S., Canessa, E., & Quezada, A. (2012). Application of agent-based modeling to the study of gender stereotypes. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 238-256.
- [20] Cooke, P. (1992). Regional innovation systems: Competitive regulation in the new Europe. *Geoforum*, 365-382.
- [21] Cvetanović, S., & Sredojević, D. (2012). THE CONCEPT OF NATIONAL INNOVATION SYSTEM . *Economic Themes*, 167 - 185.
- [22] Doloreux, D. (2002). What we should know about Regional Systems of Innovation. *Technology in society*, 243-263.
- [23] Dong, X., Foteinou, P., Calvano, S., Lowry, S., & Androulakis, I. (2010). Agent-Based Modeling of Endotoxin-Induced Acute Inflammatory Response in Human Blood Leukocytes. *Plos One*, 1 - 13.
- [24] Drucker, P. (2002). The Discipline of Innovation . *Harvard Business Review*, 95-102.
- [25] Drucker, P. F. (1986). *Innovation and Entrepreneurship*. Harper Prenal.
- [26] Eapen, B. (2009). Agent-based model of laser hair removal: A treatment optimization and patient education tool. *Indian Journal of Dermatology, Venereology & Leprology*, 383 - 387.
- [27] Edquist, C. (2007). Systems of Innovation Approaches. Their Emergence and Characteristics. En C. Edquist, *Systems of Innovation: Technologies, Institutions, and Organizations* (págs. 1-35). London and Washington: Pinter.
- [28] EUROSTAT & OECD. (10 de 11 de 2005). Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data, 3rd Edition.
- [29] Feria, M., Rodríguez, M., & Herrera, S. (2012). El Sistema Regional de Innovación en Aguascalientes (México): Entre el Discurso y la Realidad. *Cuadernos de Administración*, 163 - 184.
- [30] Fleming, L. (2001). Recombinant Uncertainty Technological Search. *Management Science*, 117-132.
- [31] Freeman, C. (1982). *Unemployment and Technical Innovation: A Study of Long Waves and Economic Development*. (J. Clark, Ed.) London.
- [32] Freeman, C. (1987). *Technology Policy and Economic Policy: Lessons from Japan*. London: Pinter.
- [33] García-Veldecasas, J. (2011). La simulación basada en agentes: una nueva forma de explorar los fenómenos sociales. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, 91 - 109.
- [34] Garson, G. (2009). Computerized Simulation in the Social Sciences A Survey and Evaluation. *Simulation & Gaming*, 267 - 279.

- [35] Gigch, J. P. (2004). *Teoría General de Sistemas*. México: Trillas.
- [36] Gilbert, N. (2008). *Agent-Based Models (Quantitative Applications in the Social Sciences)*. London: Sage Publications.
- [37] Goldthorpe, J. H. (2000). *On Sociology: Numbers, Narratives, and the Integration of Research and Theory*. Oxford: Oxford University Press.
- [38] Gómez, M., & Kerexeta, G. (2012). Introduction: A Variety of Innovation Topics Approaches. *Cuadernos de Gestión*, 15-25.
- [39] González, S. (2004). ¿Sociedades artificiales? Una introducción a la simulación social. *Revista Internacional de Sociología*, 199-222.
- [40] González, S. (2006). The Role of Dynamic Network in Social Capital: A Simulation Experiment. *Revista de Sociología*, 171-194.
- [41] Haire, M. (1959). *Biological Models and Empirical History of The Growth of Organizations*. New York.
- [42] Hedström, P. (2005). *Dissecting the Social*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [43] Isaksen, A. (2001). Building Regional Innovation Systems: Is Endogenous Industrial Development Possible in the Global Economy? *Canadian Journal of Regional Science*, 101-120.
- [44] Lauberte, I., & Ginters, E. (2008). Agent-based Simulation in applicant's character recognition. *Annual Proceedings of Vidzeme University of Applied Sciences "ICTE in Regional Development"*, 58 - 64. Valmiera, Latvia.
- [45] Leydesdorff, L., & Fritsch, M. (2006). Measuring the knowledge base of regional innovation systems in Germany in terms of a Triple Helix dynamics. *Research Policy*, 1538 - 1553.
- [46] Lilienfeld, R. (1984). *Teoría de Sistemas Orígenes y Aplicaciones en ciencias sociales*. México D.F: Trillas.
- [47] Llisterri, J. J., & Pietrobelli, C. (2011). *Los Sistemas Regionales de Innovación en América Latina*. Washington D.C: Publicaciones Banco Interamericano de Desarrollo.
- [48] Lundvall, B. A. (1992). *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. London: Pinter.
- [49] Lundvall, B. A. (2007). National Innovation Systems - Analytical Concept and Development Tool. *Industry and Innovation*, 95-119.
- [50] Lundvall, B. A., & Lindgaard, J. (2004). *Product Innovation, interactive learning and economic performance*. Elsevier.
- [51] Lundvall, B. A., Johnson, B., Sloth, E., & Dalum, B. (2002). National Systems of Production, Innovation and Competence Building. *Research Policy*, 213 - 231.
- [52] Maguire, S., McKelvey, B., Mirabeau, L., & Öztas, N. (2006). Complexity Science and Organization Studies. En S. Clegg, C. Hardy, T. Lawrence, & W. Nord, *The Sage Handbook of Organization Studies* (págs. 165-214). London: Thousand Oaks.
- [53] Metcalfe, J. (1998). *Evolutionary Economics and Creative Destruction*. London: Routledge.
- [54] Metcalfe, J. S., & Miles, I. (2000). *Innovation Systems in the Service Economy*. Kluwer Academic Publisher.
- [55] Miller, B. W., Breckheimer, I., McCleary, A. L., Guzmán-Ramirez, L., Caplow, S. C., Jones-Smith, J. C., & Walsh, S. J. (2010). Using stylized agent-based models for population-environment research: A case study from the Galápagos Islands. *Population & Environment*, 401 - 426.
- [56] Navarro, M. (2002). El marco conceptual de los Sistemas de

- Innovación Nacionales y Regionales. *Revista madri+d*(Monografía 4), 87-102.
- [57] Newman, M. (2003). The structure and function of complex networks. *Siam Review*, 167-256.
- [58] Palma, J., & Marín, R. (2008). *Inteligencia Artificial, Técnicas, Métodos y Aplicaciones*. McGrawHill.
- [59] 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.
- [60] Perozo, N., Aguilar, J., Terán, O., & Molina, H. (2012). An affective model for the multiagent architecture for self-organizing and emergent systems (MASOES). *Revista Técnica de Ingeniería Universidad de Zulia*, 80-90.
- [61] Pietrobelli, C. (2014). *Inter-American Development Bank*. Obtenido de Inter-American Development Bank: http://issuu.com/idb_publications/docs/technicalnotes_en_8662
- [62] Ponsiglione, C., De Crescenzo, E., Lanzetta, V., & 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, Portugal*, (págs. 1-23). Faro.
- [63] Pyka, A., & Scharnhorst, A. (2009). *Innovation Networks: New approaches in Modelling and Analyzing*. Berlin: Springer.
- [64] Quezada, A., & Canessa, E. (2010). Modelado basado en Agentes: Una herramienta para completar el análisis de fenómenos sociales. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 226 - 238.
- [65] Quintero, S., & 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*, (págs. 1 - 16). Porto.
- [66] Rixon, A., Moglia, M., & 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.
- [67] Robledo, J., & Ceballos, Y. (2008). Estudio de un proceso de innovación utilizando la dinámica de sistemas. *Cuadernos de Administración*, 127 - 159.
- [68] Schumpeter, J. A. (2006). *Essays on entrepreneurs, innovations, business cycles, and the evolution of capitalism*. Transaction.
- [69] Seki, I., & Barbaros, R. (2011). National Innovation Systems and University Economics Approach for Measuring Competitive Power. *Ege Academic Review*, 407 - 424.
- [70] Sklar, E. (2007). Software Review: Netlogo, a Multi-agent Simulation Environment. *Artificial Life*, 303 - 311.
- [71] Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Irwin: McGrawHill.
- [72] Tesfatsion, L., & Judd, K. (2006). *Handbook of Computational Economics, Volume 2: Agent-Based Computational Economics*. Netherlands: Elsevier.
- [73] Tödtling, F., & Trippel, M. (2005). One size fits all?: Towards a differentiated regional innovation policy approach. *Research Policy*, 1203-1219.

- [74] Vallacher, R., & Nowak, A. (1997). The emergence of dynamical social psychology. *Psychological Inquiry*, 73-99.
- [75] 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*, 95-120.
- [76] Weiss, G. (1999). *Multiagent Systems: A modern Approach to Distributed Modern Approach to Artificial Intelligence*. Cambridge: The MIT Press.
- [77] Wilensky, U., & Reisman, K. (1999). Connected science: Learning biology through constructing and testing computational theories - An embodied modeling approach. *International Journal of Complex Systems*, 1-12.
- [78] Wilson, B. (1993). *Sistemas: Conceptos, metodología y aplicaciones*. México: Limusa.
- [79] Wymore, W. (1967). *Mathematical Theory of Systems Engineering: The Elements*. New York.
- [80] 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.
- [81] Zhong, X., & 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*, 1459-1492.
- [82] Zollo, G., De Crescenzo, E., & 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, Spain*, (págs. 1 - 19). Seville.

ANEXO II – ANTEPROYECTO TRABAJO DE GRADO

Especialización en Sistemas Integrados de Gestión (SIG)

Formulación de Proyecto de Grado

“PROPUESTA DE UN MÉTODO PARA LA APLICACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES DEL SISTEMA REGIONAL DE INNOVACIÓN”

Participantes			
Datos del estudiante			
Nombre	Edgar David Embuz Padilla		
Correo electrónico	edepts@msn.com	ID	000078622
Fecha terminación de cursos	Diciembre 2014		
Datos del Director			
Nombre	Javier Darío Fernández Ledesma – Director GISAI		
Correo electrónico	javier.fernandez@upb.edu.co		
Título(s)	PhD (c), MSc., Esp., Ing.		
Facultad/Institución/Empresa	Facultad de Ingeniería Industrial / UPB – Medellín		
Datos del Grupo de Investigación			
Nombre	GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN SISTEMAS APLICADOS A LA INDUSTRIA – GISAI		
Facultad	Ingeniería Industrial – UPB – Medellín		
Línea(s) de Investigación	1. Producción y optimización industrial 2. Administración y gestión industrial 3. Productividad y competitividad industrial		



Escuela de Ingenierías
Facultad de Ingeniería Industrial
Medellín, 2014

Formato de Formulación de Proyectos de Grado - Versión 1.1

1. “PROPUESTA DE UN MÉTODO PARA LA APLICACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES DEL SISTEMA REGIONAL DE INNOVACIÓN”

2. Resumen

2.1 Resumen:

A través del presente trabajo lo que se busca es 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), el cual 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 cómo éstas deben ser suplidas paso a paso a través de la estructura del Modelo de Simulación en su aplicación.

2.2 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" Medellin. 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.

3. Palabras clave

3.1 Palabras Clave:

Sistema Regional de Innovación, Simulación, Método, Modelo Basado en Agentes

3.2 Keywords:

Regional Innovation System, Simulation, Method, Agent Based Model

4. Planteamiento del Problema y Justificación

La problemática se centra en la ausencia de un Método de Aplicación del Modelo de Simulación Basado en Agentes del Sistema Regionales 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, por lo cual, el presente trabajo se convertiría en un insumo faltante.

5. Objetivos

5.1 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.

5.2 Objetivos Específicos

- Establecer las generalidades y 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

6. Alcance

6.1 Relación y aporte a la comunidad (Empresarial, Académica, Social)

- Generación de un nuevo 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 el

Grupo de Investigación GISAI y GTI pertenecientes a la Universidad Pontificia Bolivariana sede Medellín.

6.2 Productos esperados

- Propuesta de un Método de aplicación para un Modelo de Simulación Basado en Agentes.
- Artículo publicable.

7. Revisión de literatura

El concepto de Sistema, es un concepto que hoy en día ha invadido todos los campos de la ciencia y penetrado en el pensamiento y el habla populares y en los medios de comunicación y masas (Bertalanffy L. V., 1976), y es muy frecuente que éste posea 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 L. V., 1976) “sistema es un conjunto de elementos en interacción” proponiendo que se compone de un aspecto estructural (informaciones, elementos, red de comunicaciones, límites) y un aspecto funcional, siendo así el elemento central en su propuesta Teoría General de Sistemas (1940), la cual considera que la conceptualización de “sistema” es una innovación¹⁶ 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 abierta todo el cuestionamiento sobre la integración del concepto hacia todas las disciplinas de forma unificada. Seguidamente, Ervin Lazlo y Stephen Pepper citados en (Lilienfeld, 1984), Ervin Lazlo en su Teoría de Sistemas Naturales considera que los Sistemas Sociales y 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 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 denota 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

¹⁶La innovación vista desde James (1979) como crear e introducir soluciones originales a las necesidades existentes y las nuevas que surjan

mediante su interacción con el medio sin importar si estos sistemas son organismos, organizaciones, sociedades o disciplinas científicas

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 por consiguiente llegar a ser considerado como algo pasajero o una técnica reciente, sino más bien ubicarlo en el contexto de la historia de las ideas; Como lo dicho en (Bertalanffy L. V., 1976) los progresos que ha sufrido la Teoría General 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 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 éste 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 emplea la programación lineal y la teoría de los juegos)
- Ingeniería Humana (capacidades, limitaciones fisiológicas y variabilidad de los seres humanos, incluyendo la biomecánica, ingeniería psicológica, factores humanos, etc.)

En los últimos años, muchos campos pertenecientes a la sociedad tales como la biología, psicología, economía, sanidad, dirección de empresas, ciencias políticas entre otros, han manifestado con mucha mayor fuerza la colaboración de la Teoría General de Sistemas, analizado por George J. Klir¹⁷ en (Bertalanffy, Ashby, & Weinberg, 1978), éste autor explica la necesidad intrínseca en cuanto a la reinterpretación de las bases fundamentales de lo que debe constituir un sistema propiamente dicho y el área donde 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

¹⁷ School of Advance Technology, State University, of New York at Binghamton

para cada caso. La Teoría de Sistemas se ha enmarcado en sus inicios desde la ciencia propiamente dicha en campos tradicionales a la explicación exacta del entorno (Bertalanffy L. V., 1976) lo que produjo una gran problemática en cuanto a la explicación, aplicación e interpretación en los campos biológicos, del comportamiento y sociológicos, con características muy puntuales en que son organismos vivos en cambio continuo hasta el punto de poder llegar a considerarse impredecibles, y es así donde se ve la necesidad de la introducción de nuevos modelos conceptuales que permitieran integrar diversas disciplinas evidenciados en (Ashby, 1952), ejemplos como el estudio sobre redes de reacciones químicas (Bradley & Calvin, 1956), estudio sobre el crecimiento de las organizaciones (Haire, 1959) donde aplicaron los principios de la Teoría General de Sistemas propuesta en (Bertalanffy L. V., 1976) complementándola con nuevas aplicaciones totalmente distintas a la visión clásica con grandes resultados.

Estos nuevos modelos que permiten integrar el concepto de un “sistema” con distintas disciplinas le han permitido a la sociedad en general establecer sistemas en gran variedad de ámbitos, vemos que el estudio en la ingeniería humana que contempla factores humanos entre otros (Ackoff, 1959) permite la explicación de relaciones sistémicas dentro de dichos factores humanos, y una necesidad muy particular que hoy en día ha surgido con gran fuerza es el explicar “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 arroja un escenario totalmente nuevo en vista de lo que cobija. Un sistema puede aplicar en el ámbito social (Lilienfeld, 1984) y la innovación entendida como un resultado de las interacciones sociales en búsqueda 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 la “innovación es, ante todo, un fenómeno social, originado en la interacción de actores diversos, cuya dinámica es responsable de la producción y transformación del conocimiento científico y tecnológico en riqueza económica, bienestar social y desarrollo humano” (Robledo & Ceballos, 2008), 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 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 & Lindgaard, Product Innovation, interactive learning and economic performance, 2004), para tal fin se puede iniciar ver con mayor detenimiento toda la relación de diferentes ensayos y estudios realizados en concordancia de 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 de ser un valor primordial y a la vez agregado para la sociedad actual, esto respaldado por (Drucker P. F., 1986) presentando 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 éste concepto ha sido llevado al ámbito de los servicios, y cómo estos deben innovar conforme el entorno de negocios así lo amerite (Metcalf & Miles, 2000) lo que trae grandes beneficios y propone investigación formal de la aplicación de servicios innovadores para fortalecer la economía internamente. En (EUROSTAT & 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 en (Feria, Rodríguez, & 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 sólo 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 con 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 éste 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 al territorio y al ámbito dónde se desarrolle, por lo cual, la clasificación de los Sistemas de Innovación se tomará desde (Llisteri & Pietrobelli, 2011) donde éstos son clasificados según su ámbito geográfico en transnacionales, nacionales, regionales y locales; Éstos 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 & 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 a fines de la década de 1980 en investigar formal y rigurosamente los Sistemas Nacionales de Innovación fue Christopher Freeman enfocándola mucho más en economía en su libro “Technology Policy and Economic Policy: Lessons from Japan” (Freeman, 1987) en donde 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”, y rápidamente este concepto desarrollo una gran importancia en cuanto que no sólo 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; están los aportes de (Lundvall, Johnson, Sloth, & Dalum, 2002) en donde los autores 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 que vieron la necesidad latente de tratar de proporcionarle a la sociedad una aproximación del significado de éste concepto debido a que se popularizaba cada vez más pero nadie tenía una total claridad sobre el mismo ya que proponen que este concepto es y será una herramienta fundamental dentro del desarrollo económico de los países, esto lo fundamentaron en que éstos 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). En (Cvetanović & Sredojević, 2012) se resalta que la competitividad de un país depende directa e indirectamente en la innovación aplicada a sus políticas y desarrollos económicos y una de los aspectos determinantes es el Sistema Nacional de Innovación que se tenga implementado en el país, teniendo en cuenta instituciones tanto públicas como privadas, de cuyas actividades e interacciones se determina la creación y difusión de innovación, y 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 OECD¹⁸ en el trabajo de (Seki & 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 en los niveles de educación que exista dentro de los países puesto que es un impacto positivo o negativo dependiendo de los niveles alcanzados, esto medido en la producción de conocimiento que se genere y 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”¹⁹; varios autores coinciden en que éstos se basan en que en un gran porcentaje, todos los actores que influyen sobre las actividades de innovación poseen una dimensión Nacional (instituciones, cultura y valores) los cuales se encuentran sujetos a variables internas como estrategia, capacidades de los empleados, cultura organizacional, compromiso de la alta dirección, 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.

En (EUROSTAT & OECD, 2005) se determina 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 investigación locales, las grandes empresas, y demás actores, pueden influir en los resultados de las regiones referente a innovación, en donde se propicia contacto con competidores, instituciones públicas de investigación, clientes, proveedores, etc., en (Leydesdorff & Fritsch, 2006) se establece la necesidad de individualizar sistemas de innovación para cada región en particular y poder analizar de forma mucho más específica la generación de innovación, en donde los agentes (actores del sistema) interactúan efectivamente al tener en cuenta su posición geográfica, el intercambio económico entre ellos y la dinámica de intercambio de conocimientos prevaleciendo temas económicos.

La necesidad de poder visualizar las interacciones entre los diferentes agentes de un sistema ha sido necesidad básica desde que todos los estudios referente a la

¹⁸ Organisation for Economic Co-operation and Development - <http://www.oecd.org/>

¹⁹ Lundvall, Bengt Ake, Op. cit.

temática se han llevado a cabo, (Wymore, 1967) expresa algo muy importante en cuanto a 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. Esto expresado también en (Lilienfeld, 1984) al citar las técnicas para simular procesos sociales y ambientales por computadoras, propuestas por Jay Forrester y muchos otros, y 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 & Ceballos, 2008) en donde se expresa 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 & Tesfatsion, 2014), donde también se puede ver una gran aplicación de modelos de simulación en computadora para temas económicos (Tesfatsion & Judd, 2006) que van muy acorde con los principios en los que se basan para temáticas asociadas a lo social.

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 capaz de resolver hasta cierto punto toda la incertidumbre que éste tipo de procesos poseen, como lo descrito en (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 sobre 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 & 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, Eventos Discretos, Basada en Agentes y Dinámica de Sistemas.

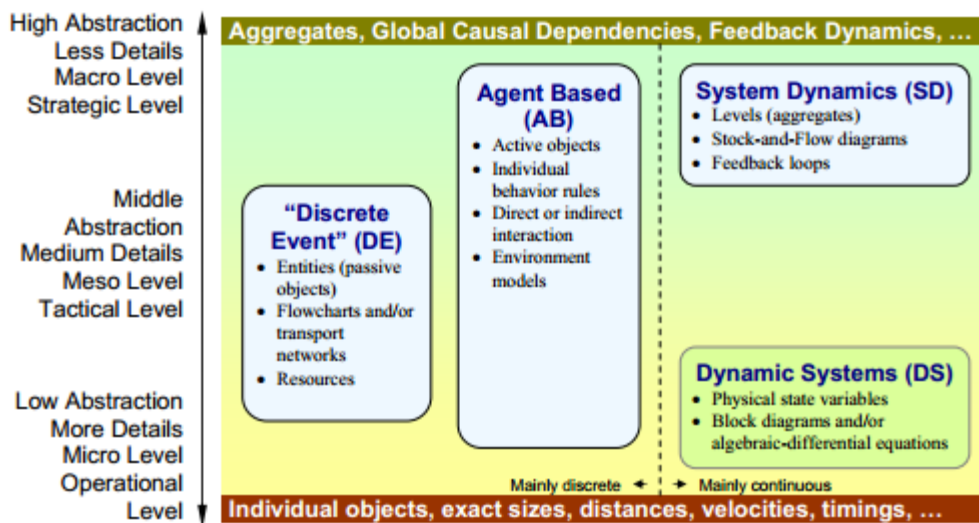


Figura 1: Approaches (Paradigms) in Simulation Modeling on Abstraction Level Scale. Tomado de (Borshchev & Filippov, 2004).

Pero lo que realmente nos 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 & Canessa, 2010) en donde enfatizan que el enfoque más adecuado es el 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 cual significa que son aquellos que emergen del funcionamiento y 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 infra determinación empírica de las teorías sociológicas.
- 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 ser implantadas

Esto abre las puertas de un nuevo entendimiento de las ciencias sociales desde el modelamiento hacia ambientes computacionales, y estamos ante una explicación cuantitativa de aspectos netamente cualitativos, así como las ciencias exactas fueron descritas a través de estudios establecidos, así mismo las ciencias sociales podrían llegar a serlo mediante ésta herramienta.

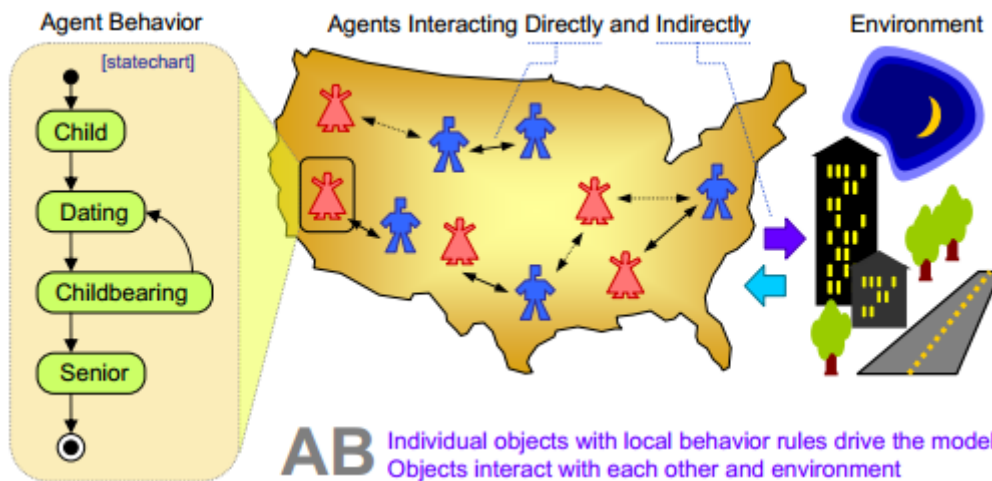


Figura 2: Modelado Basado en Agente (MBA). Software de Simulación AnyLogic20. Tomado de (Borshchev & Filippov, 2004).

Aun cuando ya se tiene claro la simulación basada en agentes es apropiada para procesos sociales, ésta se ha venido implementado desde hace un tiempo atrás, principalmente en ciencias físicas y naturales, lo se puede ver en trabajos aplicados en las ciencias naturales como “Using stylized agent-based models for population-environment research: A case study from the Galápagos Islands” (Miller, et al., 2010) en base al Software de Simulación Netlogo21, el sustento de la población y todos los impactos que generan las políticas que se implementan en la Isla Isabela perteneciente al Archipiélago de Galápagos en Ecuador.

Existen otras aplicaciones de MBA sumamente revolucionarias e importantes en las ciencias de la salud como “Agent-Based Modeling of Endotoxin-Induced Acute Inflammatory Response in Human Blood Leukocytes” (Dong, Foteinou, Calvano, Lowry, & Androulakis, 2010) en donde aplican un modelo de simulación basado en agentes para realizar su estudio basado en el Software Netlogo apoyado como uno de los más prácticos y potentes que es también usado en la Northwestern

²⁰ Software de Simulación AnyLogic para MBA - <http://www.anylogic.com/>

²¹ Software Netlogo es un software de simulación que permite modelar entornos virtuales multi-agentes - <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

University (Sklar, 2007) (para mucha más información sobre el software revisar cita bibliográfica, en el cual se encontrará la revisión “Software Review Netlogo, a Multi-agent Simulation Environment”) en dónde la autora realiza un repaso acerca de las bondades tan grandes de éste software en una de las revistas más respetadas en el tema, “Artificial Life”.

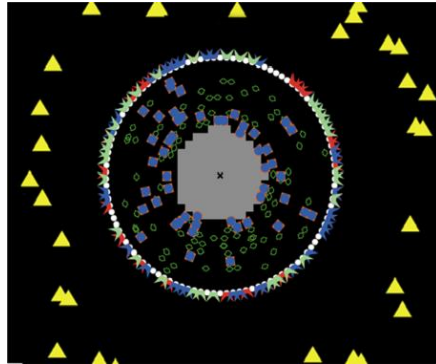


Figura 3: Interacting components/agents involved in the propagation of LPS signaling on macrophages. Tomado de (Dong, Foteinou, Calvano, Lowry, & Androulakis, 2010)

Yellow triangles reflect the extracellular signal (LPS) and white circles represent the plasma membrane. Red polygons refer to the endotoxin (LPS) receptor and blue polygons refer to the TNF- α receptor. Light green polygons correspond to IL-4 receptors and dark green polygons reflect the presence of kinase (IKK). Blue - orange squares represent the inactive (bound) NF- κ B with its inhibitor, I κ Ba while the grey area refers to the nucleus.

Otro caso de aplicación en ciencias de la salud es “Agent-Based Model of Therapeutic Adipose-Derived Stromal Cell Trafficking during Ischemia Predicts Ability To Roll on P-Selectin” (Bailey, Lawrence, Shang, Katz, & Peirce, 2009) también basado en Software Netlogo y demás softwares estadísticos.

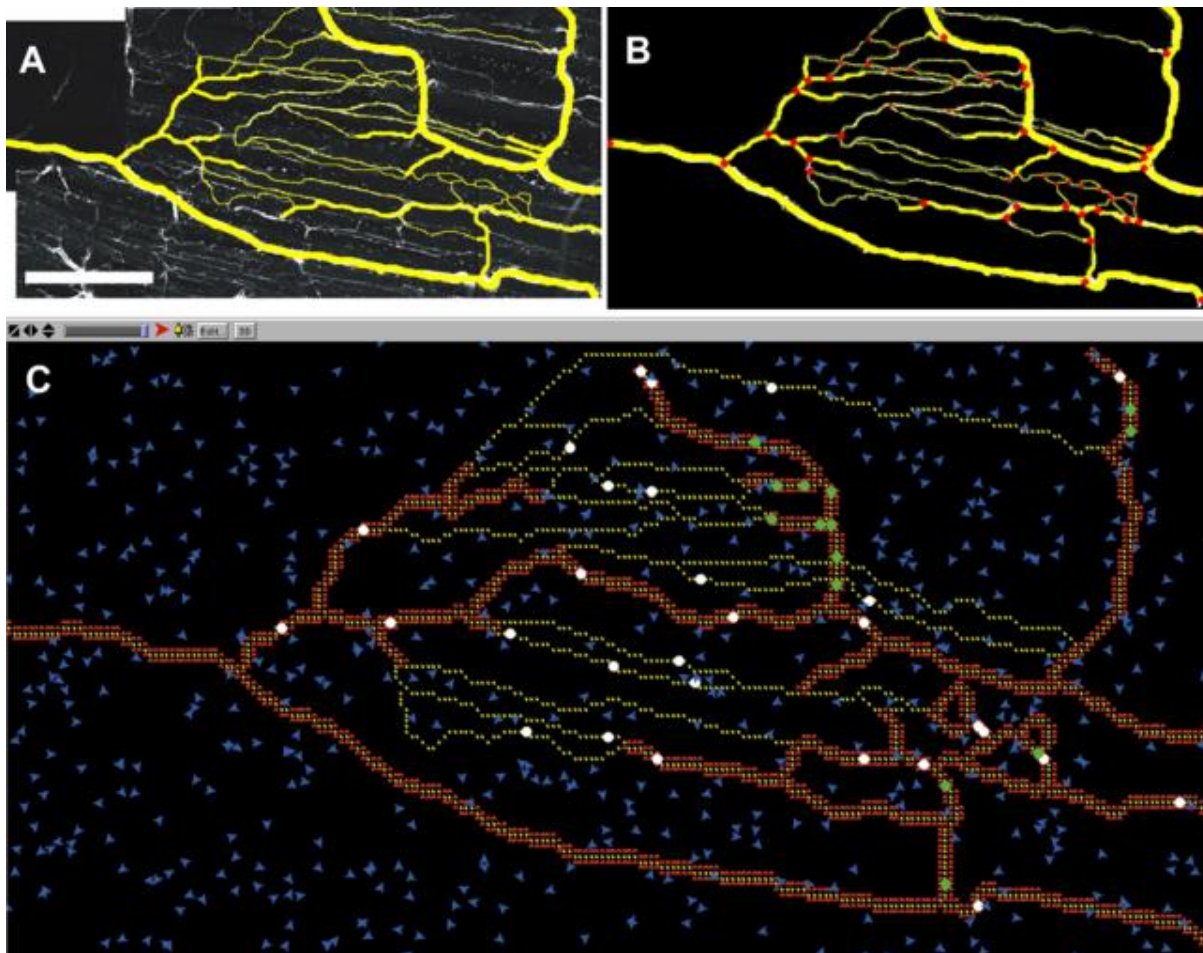


Figure 4: Simulated microvascular network was modeled after mouse skeletal muscle, visualized using confocal microscopy following harvest, using a 20 X objective. Tomado de (Bailey, Lawrence, Shang, Katz, & Peirce, 2009)

(A) Confocal microscopy image of mouse spinotrapezius muscle immuno-stained to visualize ECs with BS1-lectin antibody (white). Vascular structures of interest were copied over in yellow in image processing software (ImageJ). Scale bar is 1 mm. (B) The micrograph was manually discretized into nodes, defined as bifurcation points in the microvascular network, and the nodes were connected to form elements. (C) Screen-shot of simulation space. Nodes and elements were manually drawn into the NetLogo simulation space to represent the real microvascular network. Arterioles and venules were characterized on the micrograph based on vessel diameter. Smooth muscle cells are depicted in red lining arterioles and venules. Endothelial cells are depicted in yellow, and tissue macrophages present within the interstitium of the simulation space are depicted in blue.

A medida que varias aplicaciones en estas ciencias se fueron desarrollando, hoy en día se han llevado a cabo investigaciones que no sólo se basan en estas ciencias, sino que también se pretende estudiar cómo los seres humanos aprenden, este es el caso del Dr. Bell Raj Eapen en “Agent-based model of laser hair removal: A treatment optimization and patient education tool” (Eapen, 2009) donde se aplicó un modelo basado en agentes para la simulación en base al Software Netlogo sobre la depilación con láser y cómo los pacientes poseen nuevas percepciones de aprendizaje respecto al tema, como uno de los productos de la investigación se tiene un modelo amigable, práctico y dinámico en la dirección URL: <http://gulfdactor.net/model/lhr.htm>, donde cualquier persona que esté interesada en saber cómo se desarrollará el procedimiento respecto a sus necesidades individuales, demostrando que por hoy éstos modelos son más aceptados e implementados dentro de la vida diaria de las personas y no sólo se remiten a la ciencia sino también a procesos sociales.

La aplicación de simulación de MBA en el ámbito social se ha evidenciado en trabajos como su uso en reconocimiento del carácter de la persona según características de personalidad muy puntuales con todas las particularidades que ésta trae: El optimista, el calmado, el que se ve influenciado fácilmente por la cólera, el melancólico, el observador y pragmático, el racional, el idealista, y el práctico, todas estas categorías junto con la variabilidad que se desprende del estudio serían los agentes que interactúan en un ambiente, donde cada uno se ve influenciado por el otro y sus decisiones de acercamiento brindan una información muy importante para el reconocimiento de la personalidad, todo los resultados son obtenidos al realizar preguntas a una persona sobre el comportamiento de cada uno de los agentes y con cual se siente más identificado y así poder determinar cuál es la inclinación más probable que tenga en cuanto a su personalidad; todo este estudio se simuló en Software Netlogo, y la investigación se llamó “Agent-based Simulation use in applicant’s character recognition” (Lauberte & Ginters, 2008).

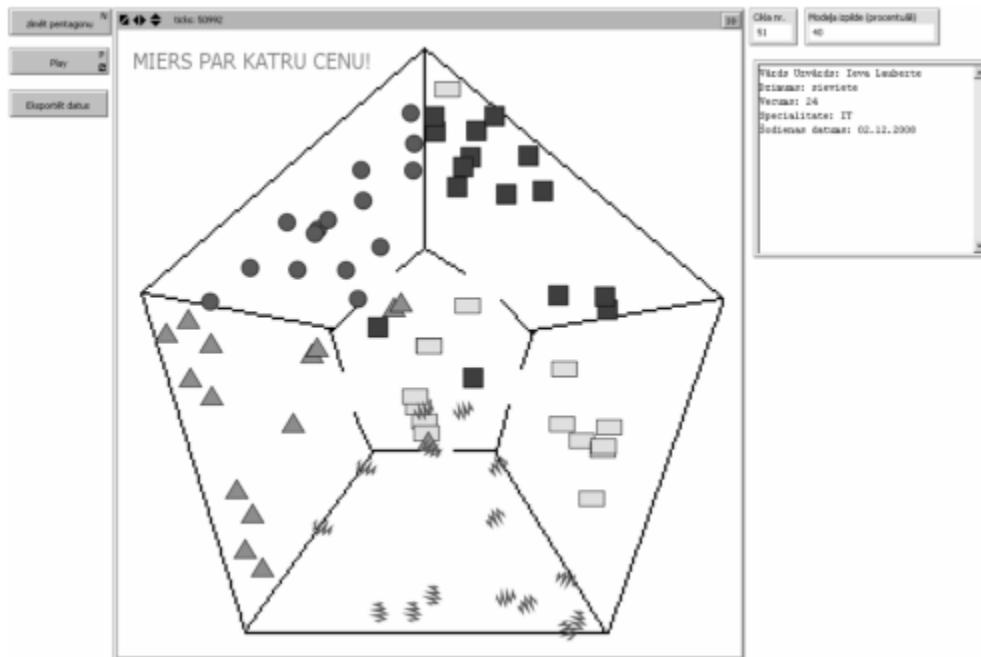


Figura 5: Simulācija MBA. Tomado de (Lauberte & Ginters, 2008)

Retomando la innovación como parte de un proceso social, dentro de la literatura aún existen pocos estudios aplicativos en modelos de simulación basadas en agentes que integren ambas temáticas, sin embargo, en los últimos años ésta temática ha tomado fuerza evidenciado en trabajos aplicativos como “Dinámicas de Conocimiento entre la Industria y Universidades en la Nanotecnología mediante Simulación Basada en Agentes” (Aristizábal, 2013), ejecutando simulaciones de la dinámica existente en Software Netlogo, determinando los agentes pertenecientes al caso estudiado a través de la conceptualización de necesidades puntuales de sistemas nacionales y regionales de innovación, 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. Obteniendo resultados que permitieron determinación de cómo beneficiar el desarrollo de la innovación a través de la interacción de los diferentes agentes.

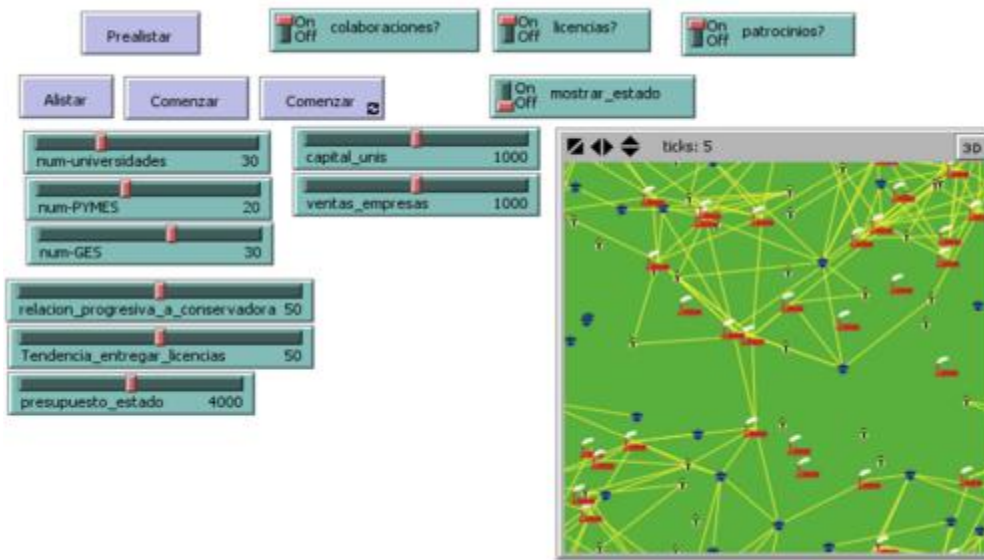


Figura 6: MBA para un Sistema de Innovación en Nanotecnología. Tomado de (Aristizábal, 2013)

Es así como se debe integrar todos los conceptos que hasta el momento se ha citado: sistema, innovación, sistema de innovación, sistema nacional de innovación, sistema regional de innovación, simulación, modelo basado en agentes, y a partir de éstos establecer la necesidad de implementar un modelo de simulación basado en agentes del sistema regional de innovación, lo cual se ha estado desarrollando 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, y conforme se realice la investigación poder proponer un método práctico y efectivo mediante el cual se pueda llegar aplicar dicho modelo en los agentes del SRI con un alcance determinado.

8. Metodología preliminar

FASE 1

Revisión bibliográfica sobre:

- Generalidades e importancia de los Sistemas Regionales de Innovación
- Necesidades más importantes de los Sistemas Regionales de Innovación

- Modelos basados en agentes para para el estudio de los fenómenos de innovación

FASE 2

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 3

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, justificación, desarrollo e 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.

9. Presupuesto y Recursos necesarios

RECURSO	Participación (en pesos)				Implica desembolso	
	Estudiante	UPB	Externo	Donación	Si	No
Bibliografía		\$ 60.000				X
Papelería	\$ 100.000					X
Telecomunicaciones	\$ 60.000					X
Equipos	\$ 130.000					X
Transporte	\$ 270.000					X
Visitas	\$ 150.000					X
Trabajo Estudiante (Postgrado, 390 horas)	\$ 9.750.000					X
Trabajo Director		\$ 350.000			X	
SUBTOTAL	\$ 10.460.000	\$ 410.000				
Imprevistos (10%)	\$ 11.506.000	\$ 451.000				
TOTAL	\$ 11.506.000	\$ 451.000				
GRAN TOTAL	\$ 11.957.000					

10. Cronograma

ACTIVIDAD	JULIO		AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				TOTAL HORAS
	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA																			30
FASE 1																			
Sistema Regional de Innovación (SRI)																			
1. Concepto, propiedades y mecanismos																			20
2. Agentes del SRI																			20
3. Principales necesidades del SRI																			20
Modelado Basado en Agentes (MBA)																			
1. Fundamentos																			20
2. Metodología del MBA																			20
3. Aplicaciones																			
FASE 2																			
MBA desarrollado previamente																			
1. Generalidades																			40
2. Estructura																			40
3. Necesidades																			60
FASE 3																			
Propuesta de aplicación MBA																			
1. Alcance																			40
2. Justificación																			40
3. Estructura																			40
Total Proyecto																		390	
Número de estudiantes																		1	
Total por estudiante																		390	

11. Propiedad Intelectual y Destinación del proyecto

Proyecto adscrito al macro Proyecto “Análisis de la Estructura, relaciones y dinámicas de agentes de los Sistemas Regionales de Innovación” liderado por el Grupo de Investigación GISAI y GTI pertenecientes a la Universidad Pontificia Bolivariana sede Medellín.

12. Concepto ético

- Se tendrá un manejo apropiado de la información respetando la producción de conocimiento de los diferentes autores revisados.
- La honestidad y trascendencia de la información suministrada es veraz y comprobable.
- Bajo ningún concepto se tendrá un impacto social negativo conforme a los resultados de la investigación.

13. Bibliografía

- Ackoff, R. (1959). Games, Decisions, and Organization. *General Systems*, 145 - 150.
- Aristizabal, 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, Antioquia, Colombia.
- Ashby, W. R. (1952). Can a Mechanical Chess-Player Outplay its Designer. *British Journal of Philosophy of Science*, 44.
- Axelrod, R., & Tesfatsion, L. (16 de 04 de 2014). www2.econ.iastate.edu. Recuperado el 05 de 06 de 2014, de www2.econ.iastate.edu/http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/abmread.htm
- Bailey, A., Lawrence, M., Shang, H., Katz, A., & 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*, 1 - 17.
- Bertalanffy, L. V. (1976). *Teoría General de los Sistemas*. (J. Almela, Trad.)
- Bertalanffy, L. V., Ashby, W. R., & Weinberg, G. M. (1978). *Tendencias en la Teoría General de Sistemas*. Madrid.
- Borshchev, A., & 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.
- Bradley, D. F., & Calvin, M. (1956). Behavior: Imbalance in a Network of Chemical Transformation. *General Systems*, 56 - 65.
- Cvetanović, S., & Sredojević, D. (2012). THE CONCEPT OF NATIONAL INNOVATION SYSTEM . *Economic Themes*, 167 - 185.
- Dong, X., Foteinou, P., Calvano, S., Lowry, S., & Androulakis, I. (2010). Agent-Based Modeling of Endotoxin-Induced Acute Inflammatory Response in Human Blood Leukocytes. *Plos One*, 1 - 13.
- Drucker, P. F. (1986). *Innovation and Entrepreneurship*. 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*, 383 - 387.
- EUROSTAT & OECD. (10 de 11 de 2005). *Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data*, 3rd Edition.

- Feria, M., Rodríguez, M., & Herrera, S. (2012). El Sistema Regional de Innovación en Aguascalientes (México): Entre el Discurso y la Realidad. Cuadernos de Administración, 163 - 184.
- Freeman, C. (1982). Unemployment and Technical Innovation: A Study of Long Waves and Economic Development. (J. Clark, Ed.) London.
- 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, 91 - 109.
- Garson, G. (2009). Computerized Simulation in the Social Sciences A Survey and Evaluation. Simulation & Gaming, 267 - 279.
- Gigch, J. P. (2004). Teoría General de Sistemas. México: Trillas.
- Haire, M. (1959). Biological Models and Empirical History of The Growth of Organizations. New York.
- Lauberte, I., & Ginters, E. (2008). Agent-based Simulation in applicant's character recognition. Annual Proceedings of Vidzeme University of Applied Sciences "ICTE in Regional Development", 58 - 64. Valmiera, Latvia.
- Leydesdorff, L., & Fritsch, M. (2006). Measuring the knowledge base of regional innovation systems in Germany in terms of a Triple Helix dynamics. Research Policy, 1538 - 1553.
- Lilienfeld, R. (1984). Teoría de Sistemas Orígenes y Aplicaciones en ciencias sociales. México D.F: Trillas.
- Llisteri, J. J., & Pietrobelli, C. (2011). Los Sistemas Regionales de Innovación en América Latina. Washington D.C: 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., & Lindgaard, J. (2004). Product Innovation, interactive learning and economic performance. Elsevier.
- Lundvall, B. A., Johnson, B., Sloth, E., & Dalum, B. (2002). National Systems of Production, Innovation and Competence Building. Research Policy, 213 - 231.
- Metcalfe, J. S., & Miles, I. (2000). Innovation Systems in the Service Economy. Kluwer Academic Publisher.
- Miller, B. W., Breckheimer, I., McCleary, A. L., Guzmán-Ramírez, L., Caplow, S. C., Jones-Smith, J. C., y otros. (2010). Using stylized agent-based models for population-environment research: A case study from the Galápagos Islands. Population & Environment, 401 - 426.

- Quezada, A., & Canessa, E. (2010). Modelado basado en Agentes: Una herramienta para completar el análisis de fenómenos sociales. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 226 - 238.
- Robledo, J., & Ceballos, Y. (2008). Estudio de un proceso de innovación utilizando la dinámica de sistemas. *Cuadernos de Administración*, 127 - 159.
- Schumpeter, J. A. (2006). *Essays on entrepreneurs, innovations, business cycles, and the evolution of capitalism*. Transaction.
- Seki, I., & Barbaros, R. (2011). National Innovation Systems and University Economics Approach for Measuring Competitive Power. *Ege Academic Review*, 407 - 424.
- Sklar, E. (2007). Software Review: Netlogo, a Multi-agent Simulation Environment. *Artificial Life*, 303 - 311.
- Tesfatsion, L., & Judd, K. (2006). *Handbook of Computational Economics, Volume 2: Agent-Based Computational Economics*. Netherlands: Elsevier.
- Wilson, B. (1993). *Sistemas: Conceptos, metodología y aplicaciones*. México: Limusa.
- Wymore, W. (1967). *Mathematical Theory of Systems Engineering: The Elements*. New York.