

# ANÁLISIS CIENCIOMÉTRICO DE MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE INNOVACIÓN

Joao Aguirre Ramírez  
Mateo Ramírez Sossa

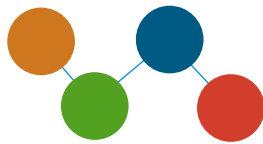
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

CANADA

COLOMBIA

ITALY

# ANÁLISIS CIENCIOMÉTRICO DE MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE INNOVACIÓN



Joao Aguirre Ramírez  
Mateo Ramírez Sossa



Aguirre Ramirez, José

Análisis cuantitativo de modelación y simulación de sistemas de innovación / José Aguirre Ramírez, Mateo Ramírez Sossa. --1a ed. -- Medellín : Instituto Tecnológico Metropolitano, 2014.

134 p. -- (Investigación científica)

Incluye referencias bibliográficas

ISBN 978-958-8743-61-5

1. Sistemas de innovación – Publicaciones - Análisis cuantitativo 2. Sistemas de innovación – Modelación y simulación 3. Cuantimetría 4. Recuperación de información 5. Productividad científica I. Ramírez Sossa, Mateo II. Tít. III. Serie

303.483 SCDD 21 ed.

Catalogación en la publicación - Biblioteca ITM

Análisis cuantitativo de modelación y simulación de sistemas de innovación

© Instituto Tecnológico Metropolitano

Edición: septiembre 2014

ISBN: 978-958-8743-61-5

Hechos todos los depósitos legales

Publicación electrónica para consulta gratuita

Autores

JOAO AGUIRRE RAMÍREZ

MATEO RAMÍREZ SOSSA

Rectora

LUZ MARIELA SORZA ZAPATA

Directora Editorial

SILVIA INÉS JIMÉNEZ GÓMEZ

Comité Editorial

HUMBERTO ALEJANDRO ROSALES VALVUENA, MSc.

SILVIA INÉS JIMÉNEZ GÓMEZ, MSc.

MARGARITA ROSA DÍAZ BENJUMEA, MSc.

YOLANDA ÁLVAREZ RÍOS, MSc.

VIVIANA DÍAZ DÍAZ, Secretaria Técnica

Corrección de textos

LILA MARÍA CORTÉS FONNEGRA

Diseño y Diagramación

ALFONSO TOBÓN BOTERO

Editado en Medellín, Colombia

Instituto Tecnológico Metropolitano

Calle 73 No. 76A 354

Tel.: (574) 440 5197 • Fax: 440 5382

www.itm.edu.co

Las opiniones, originales y citas del texto son de la responsabilidad del autor. El ITM salva cualquier obligación derivada del libro que se publica. Por lo tanto, ella recaerá única y exclusivamente sobre el autor.

Esta publicación es resultado del proyecto de Investigación *«Identificación, evaluación y valoración de herramientas para modelar y simular dinámicas sociales asociadas a los sistemas de innovación»*, realizado con el apoyo financiero y recursos del INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO ITM, en colaboración con la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. El proyecto fue dirigido por Joao Aguirre y contó con la asesoría de doctor Jorge Robledo Velásquez.

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra o su difusión telemática sin citar la fuente



## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	11
PRÓLOGO .....	12
INTRODUCCIÓN.....	14
<b>CAPÍTULO 1: MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>16</b>
1.1 Modelo .....	16
1.2 Sistema .....	18
1.3 Sistemas de innovación .....	19
1.4 Agentes – Actores .....	21
1.5 Dinámicas sociales .....	22
1.6 Sistemas complejos .....	24
1.7 Instituciones .....	24
<b>CAPÍTULO 2: SIMULACIÓN .....</b>	<b>27</b>
2.1 Definición de simulación .....	28
2.2 Ventajas de la simulación.....	30
2.3 Desventajas de la simulación.....	31
2.4 Características .....	32
2.5 Variables en simulación .....	32
2.6 Análisis cuantitativo de simulación aplicado a sistemas de innovación .....	34
<b>CAPÍTULO 3: MODELADO .....</b>	<b>42</b>
3.1 Ventajas del modelado.....	43
3.2 Desventajas del modelado.....	43
3.3 Análisis cuantitativo del modelado .....	44
<b>CAPÍTULO 4: HERRAMIENTAS PARA SIMULAR Y MODELAR.....</b>	<b>48</b>
4.1 Modelos matemáticos .....	50
4.2 Dinámica de sistemas.....	56
4.2.1 Análisis cuantitativo de la dinámica de sistemas para los sistemas de innovación .....	58
4.3 Modelación Basada en Agentes (MBA) .....	65
4.3.1 Análisis cuantitativo de las publicaciones de modelación basada en agentes para los sistemas de innovación .....	67
4.4 Sistemas Complejos Adaptativos.....	69

4.4.1	Análisis cuantitativo de Sistemas Complejos Adaptativos.....	70
4.5	Redes Complejas.....	71
4.5.1	Análisis cuantitativo de las redes complejas para los sistemas de innovación .....	73
4.6	Redes Neuronales Artificiales (RNA) .....	74
4.7	Autómatas Celulares (AC) .....	76
4.7.1	Análisis cuantitativo de autómatas celulares para los sistemas de innovación .....	77
4.8	Inteligencia de Enjambres.....	78
4.8.1	Análisis cuantitativo de Inteligencia de Enjambres para los sistemas de innovación .....	80
4.9	Lógica difusa .....	81
4.9.1	Análisis cuantitativo de la lógica difusa para los sistemas de innovación .....	82
4.10	Calibración, verificación y validación de sistemas .....	84
<b>CAPÍTULO 5: SOFTWARE PARA MODELAR Y SIMULAR.....</b>		<b>87</b>
5.1	Software R .....	87
5.2	Netlogo.....	88
CONCLUSIONES.....		92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		94
ANEXOS.....		128



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Diferencias entre modelo, modelado y simulación.....	27
Figura 2.	Tendencia de publicación (1978-2012) .....	30
Figura 3.	Etapas para el desarrollo de un modelo de simulación .....	29
Figura 4.	Tendencia de publicación en simulación.....	37
Figura 5.	Redes de colaboración y autores referentes .....	39
Figura 6.	Redes de colaboración .....	40
Figura 7.	Tendencia de publicación de simulación en revistas indexadas .....	41
Figura 8.	Tendencia de citaciones de publicaciones relacionadas con simulación en ciencias .....	41
Figura 9.	Tendencia de citaciones de publicaciones relacionadas con simulación en ciencias sociales .....	41
Figura 10.	Tendencia de publicación de modelado .....	44
Figura 11.	Diagrama de flujo para la extracción de información relevante de bases de datos científicas.....	49
Figura 12.	Tendencia de publicación de dinámica de sistemas en los sistemas de innovación (1994-2012) .....	58
Figura 13.	Redes de coautoría y autores referentes en dinámica de sistemas aplicados a los sistemas de innovación.....	63
Figura 14.	Redes de trabajo entre países .....	64
Figura 15.	Tendencia de publicación (1997-2013) .....	68
Figura 16.	Tendencia de publicación (1997-2012) .....	78
Figura 17.	Tendencia de publicación en journal de mayor impacto en los cuales se utilizó software R.....	88
Figura 18.	Tendencia de publicaciones en las cuales se utiliza Netlogo.....	89
Figura 19.	Palabras claves relacionadas .....	189



## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.	Evolución cronológica de tópicos en relación .....	37
Tabla 3.	Organizaciones líderes en publicación de patentes de modelación .....	45
Tabla 4.	Publicaciones destacadas con las Keywords: Innovation systems.....	59
Tabla 5.	Ecuaciones de búsqueda para el análisis de la evolución de la dinámica de sistemas en sistemas de innovación.....	61
Tabla 6.	Tópicos relacionados en torno a dinámica de sistemas .....	62
Tabla 7.	Organizaciones referentes en dinámica de sistemas en sistemas de innovación .....	64
Tabla 8.	Tópicos relacionados con la MBA en sistemas de innovación.....	69
Tabla 9.	Palabras claves relacionadas .....	71
Tabla 10.	Países líderes en publicaciones académicas .....	71
Tabla 11.	Palabras claves relacionadas .....	74
Tabla 12.	Ecuación de búsqueda para Inteligencia de Enjambres .....	81
Tabla 13.	Ecuación de búsqueda para lógica difusa .....	83
Tabla 14.	Publicaciones en las cuales se utilizó Netlogo para la simulación en ciencias Sociales.....	91





## ANEXOS

1. Ecuación de búsqueda para analizar la evolución del concepto de simulación en los sistemas de innovación.
2. Ecuaciones de búsqueda para el análisis de la evolución del modelado basado en agentes para los sistemas de innovación.
3. Ecuaciones de búsqueda utilizadas para el análisis de las redes neuronales aplicados a los sistemas de innovación.
4. Ecuaciones de búsqueda para los análisis del concepto de redes complejas aplicados a los sistemas de innovación.
5. Ecuaciones de búsqueda para analizar la evolución del concepto de inteligencia de enjambres aplicados a los sistemas de innovación.



## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecemos al INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO por su apoyo financiero y acceso a recursos, poniendo a nuestra disposición equipos de cómputo, acceso a bases de datos académicas, tales como Scopus, Science Direct, Springer y software especializado como Vantage Point y Goldfire; herramientas que fueron fundamentales para la búsqueda de información y el desarrollo de los diferentes análisis realizados a lo largo de la presente publicación.

Agradecemos también a la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas por la gestión de recursos; a los integrantes del grupo de investigación en CTS+i, especialmente su línea de investigación en Gestión Tecnológica del ITM. A los integrantes del semillero de Inteligencia Estratégica, los cuales nos brindaron un apoyo primordial anímico y técnico, de forma desinteresada en el momento de la creación de este libro. Por último, y muy importante, a nuestras familias, las cuales han sido y serán pilares fundamentales para el apoyo en el emprendimiento de cualquier actividad que realicemos.

Igualmente, nuestra gratitud a la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, representada por el líder del grupo de investigación en Gestión Tecnológica de dicha universidad, el profesor Jorge Robledo Velásquez, el cual con sus invaluable consejos y aportes a lo largo de este proyecto de investigación ha contribuido al desarrollo del presente proyecto de investigación.



## PRÓLOGO

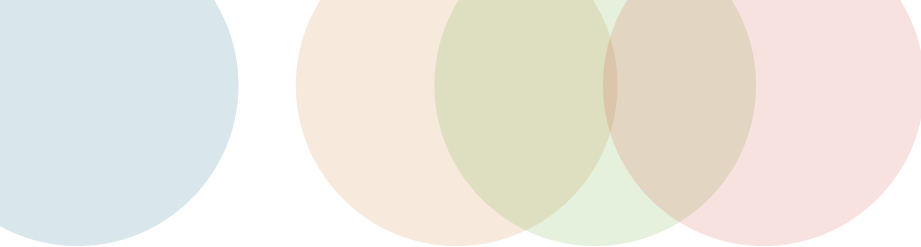
El libro *Análisis cuantitativo de modelación y simulación de sistemas de innovación*, de Joao Aguirre, Mateo Ramírez y Jorge Robledo, que se ofrece al lector en versión electrónica, constituye una verdadera novedad editorial en el ámbito académico universitario colombiano. Consiste en una amplia y completa introducción a modo de investigación que ha cambiado las formas tradicionales de hacer ciencia, gracias al crecimiento prodigioso en las cuatro últimas décadas de la capacidad de cómputo, que permite en la actualidad manipular y analizar entre ellos cientos de millones de datos y de relaciones en corto tiempo, posibilitando un uso amplio de métodos numéricos en casi todas las disciplinas científicas, y permitiéndoles a los investigadores estudiar la realidad natural y sociocultural como sistemas complejos. Este modo de aproximarse al conocimiento de la realidad disputa con los métodos tradicionales de la inducción y la deducción, tal como explica Axelrod (1997) al describir el valor de la simulación:

La simulación es una tercera manera de hacer ciencia. Como la deducción, comienza con un conjunto de supuestos explícitos. Pero a diferencia de ella, no demuestra teoremas sino que genera información simulada que puede ser analizada inductivamente. A diferencia de la inducción típica, no obstante, la información simulada proviene de un conjunto de reglas rigurosamente especificadas antes que de una medición directa del mundo real. Mientras la inducción puede ser usada para encontrar patrones en la información y la deducción puede ser usada para encontrar las consecuencias de los supuestos, la simulación modelada puede ser usada para ayudar a la intuición.

La simulación modelada por computadora permite la reproducción fiel de muchas situaciones particulares de una manera creativa e imaginativa, tal como lo exige la complejidad de la realidad, y por tanto este método de investigación viene a complementar y a enriquecer a los métodos inductivos y deductivos.

En la introducción de su libro, los autores le ofrecen al lector las definiciones conceptuales necesarias para comenzar a entender y a practicar el método, y describen de manera detallada las diversas variedades y posibilidades de aplicación de la simulación modelada.

Por su diversidad y versatilidad este libro puede ser de utilidad tanto para el experto como para el lego, y de su lectura se beneficiarán el estudiante universitario de pregrado



y de posgrado que se enfrenta al reto de desarrollar una tesis, así como los docentes que requieren transmitir ingentes cantidades de información sobre los diversos métodos de investigación en cursos de pocas semanas.

Con esta nueva obra, el Fondo Editorial ITM entrega a la comunidad académica una novedosa herramienta de aprendizaje y enseñanza, y contribuye con ella a llenar un vacío significativo de la literatura científica en nuestro medio cultural.

Gabriel Cataño

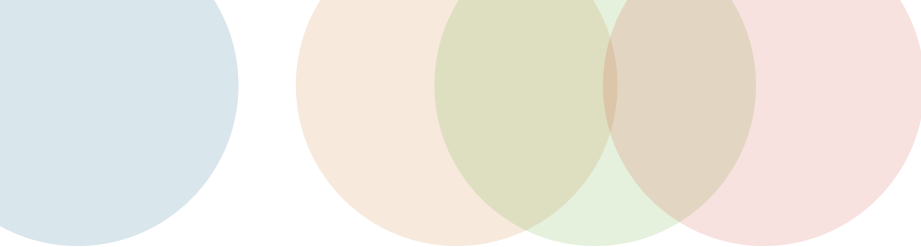


## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de innovación son redes de interacción entre un conjunto de actores heterogéneos que producen innovaciones en cualquier nivel de agregación posible (sectorial, regional, nacional, supranacional), y de los cuales emerge un comportamiento complejo. Debido a la importancia que presentan estos sistemas para el desarrollo económico de las regiones, naciones y sectores, y al acelerado crecimiento de capacidades y técnicas para el procesamiento de datos, la simulación modelada constituye el método más apropiado para estudiarlos. Diferentes académicos se han dado a la tarea de extraer características de estos sistemas con el fin de realizar análisis profundos y poder comprender algunos factores relevantes en el andamiaje de estos, con la finalidad de plantear modelos que representen cercanías con la realidad, dando lugar a múltiples investigaciones en los que emplean técnicas diseñadas para otros fines, extraídas de campos tales como la biología e incluso, de la ingeniería. Se trata entonces de comprender el funcionamiento de la realidad como una serie de sistemas complejos.

En el primer capítulo, se brinda una serie de definiciones y conceptos necesarios para el correcto entendimiento de la temática alrededor de los conceptos de simulación y modelado de sistemas de innovación. En el segundo capítulo, se define la simulación en un contexto general, luego, se enuncian las ventajas y desventajas que esta acarrea; también se realiza un análisis cuantitativo con el fin de determinar cómo ha evolucionado este concepto para su aplicación en los sistemas de innovación.





En el tercer capítulo, se aborda el concepto del modelado, comenzado con una definición en un contexto general e identificando una serie de ventajas y desventajas que han sido planteadas por los diferentes autores; se realiza, asimismo, un análisis cuantitativo para determinar la evolución e interacción de este concepto para el caso de los sistemas de innovación.

En el cuarto capítulo, se define una serie de herramientas para la simulación y el modelado de diferentes tipos de sistemas; estos conceptos se trabajan en conjunto porque en la literatura académica los autores han aplicado de forma casi indistinguible estos dos conceptos, trazando una línea muy delgada entre las técnicas analizadas en este capítulo. En las técnicas que se relacionan con el análisis de sistemas de innovación, se realiza un análisis cuantitativo, identificando las redes de autores, el trabajo conjunto entre países, las principales publicaciones científicas indexadas en las cuales se hallan los trabajos relacionados con estos tópicos y, finalmente, se analizan las palabras clave relacionadas con las investigaciones realizadas con las diferentes herramientas, con el objeto de identificar en torno a qué temáticas giran los esfuerzos realizados en las publicaciones encontradas para el análisis de los sistemas de investigación.

En el quinto capítulo, se exponen las virtudes de algunas herramientas de software disponibles de forma gratuita en la web, para la simulación y modelado de diferentes tipos de sistemas; además se realiza un análisis cuantitativo de las publicaciones en las que se han utilizado estas herramientas para la investigación de fenómenos relacionados con las ciencias sociales.

Para finalizar, se exponen las conclusiones de la presente investigación, partiendo de los resultados obtenidos en la revisión cuantitativa de los diferentes temas abordados, con la finalidad de brindar un panorama que cuente con una claridad metodológica y conceptual que sea referente para adelantar futuras investigaciones relacionadas con la simulación y modelación en sistemas de innovación en cualquier nivel de agregación.



## **CAPÍTULO 1**

### **MARCO CONCEPTUAL**

Para analizar el modelado y simulación de un sistema de innovación, se deben tener presentes una serie de conceptos previos, que si bien son de otros campos del conocimiento, como matemáticas o las ciencias computacionales, son fundamentales para el entendimiento de las técnicas presentadas en capítulos posteriores. Por lo tanto, a continuación se presentan los conocimientos, partiendo desde el nivel conceptual micro hasta el macro.

#### **1. 1 Modelo**

Morgan y Knuuttila (2012) plantean que alrededor del siglo XX, con la palabra «modelo», usualmente se ha hecho referencia a objetos concretos, algunas veces llamados modelos mecánicos, que son construidos con la intención de comprender entidades teóricas sin observar. Desde que los objetos llamados modelos en ciencias se han multiplicado, por ejemplo con objetos en tres dimensiones, diagramas, ecuaciones matemáticas, programas de computadores, organismos y poblaciones en laboratorios, se ha vuelto difusa la definición concreta de este concepto.

Debido a las discusiones de modelos en la filosofía de la ciencia, se han presentado una variedad de teorías formales y aspiraciones prácticas que han tenido fines conflictivos. Por esto, a partir de los enfoques prácticos y cognitivos de los modelos en el ámbito científico han surgido intentos de establecer un marco formal de qué son los modelos científicos.

Desde el punto de vista sintáctico y semántico de los modelos, prevalece el enfoque modelo-teórico, el cual apunta hacia un mismo tipo. Por esto la filosofía general de la ciencia ha tendido a minimizar los modelos relativos a teorías, para concebirlos mejor como herramientas heurísticas, interpretación de teorías o significados de predicciones. Actualmente esta situación ha cambiado, pues los modelos tienden a ocupar un rol central epistemológico en la práctica de diferentes ciencias.

Por otro lado, se encuentra que el término «modelo» en el campo de la economía, fue introducido en 1930 por los primeros practicantes de la econométrica; a pesar de que los objetos que ahora son llamados modelos fueron usados y desarrollados antes de 1930, por ejemplo Marshall (1890). Solo después de 1950 el concepto de «modelo» ha sido reconocido para su utilización en ciencias económicas; ambos trabajos, estadísticos y empíricos, fueron utilizados en econometría para la construcción de teorías usando matemáticas y en el desarrollo de políticas.

Desde otra perspectiva, Gibbard y Varian (1978) plantean un modelo como una historia con una estructura específica. La estructura de este es proporcionada de una forma lógica y matemática por medio de una serie de postulados, para lo cual su forma estructurada proporciona un sistema sin interpretar, pues el término «modelo» es aplicado a estructuras solitarias, mientras que en economía siempre hay un elemento de interpretación, dado a que los modelos siempre cuentan una historia.

Couclelis (2002) define un modelo como una representación abstracta y parcial de algunos aspectos del mundo, sumado a la propuesta de Egenhofer y Golledge (1998) los cuales proporcionan la posibilidad de analizar datos y ser manipulados para comprender el pasado, definir el presente y considerar posibilidades para el futuro. Así mismo en la obra (Leventhal y Green, 2006) se define como una representación matemática de un objeto físico, el cual es usado para predecir su comportamiento. Esta representación puede ser una ecuación o un conjunto de datos para ser usado en una ecuación. Además, los modelos pueden ser comprendidos como representaciones individuales de los diseños o retratos de un conjunto del diseño, donde los ingenieros se apoyan en estas características para predecir una salida, partiendo de ciertas entradas para analizar el comportamiento de variables de salida.

Desde el campo de los sistemas geográficos de información, Joly (1988) plantea una propuesta conceptual donde un modelo puede ser entendido como «una representación simplificada de la realidad en la que se intentan comprender algunas de sus propiedades propias del sistema». Aunque la realidad no se puede reducir a ningún modelo, sin modelos no se podría entender la realidad, según afirma Medina (2011).

Velten (2009) sostiene que un mundo complejo puede ser descrito y analizado por modelos que sean apropiados y que se aproximen a la descripción de la realidad, destacando que los mejores modelos son aquellos que siendo simples sirven para la comprensión de sistemas complejos y la resolución de problemas de diferente índole, pues la complejidad en un sistema no debe convertirse en un obstáculo para el análisis del mismo; argumento con el cual coinciden Padmore, Schuetze y Gibson (1998a),



dato que este tipo de modelos son utilizados para la discusión en la realización de políticas. Por otro lado, Axelrod (1997) le resta importancia a la simplicidad, añadiendo la precisión como una característica clave para todo modelo. Adicionalmente (Padmore et al., 1998a) proponen la flexibilidad, pues por sus características estos modelos deben ser lo suficientemente maleables para la comprensión de la estructura de diferentes sectores, en diferentes lugares y diferentes tiempos

## 1.2 Sistema

Hall y Fagen (1956) admiten los múltiples significados que ha tenido este concepto, por lo cual definen un sistema como una serie de objetos vecinos con unas relaciones entre los objetos y sus atributos. Conscientes de los vacíos que puede dejar esta definición, aclaran que esta no pretende abarcar un sentido matemático y filosófico, por lo que definen «objetos» como el componente más simple del sistema, abarcando objetos abstractos como variables matemáticas, ecuaciones, reglas y leyes, entre otros.

También se refieren al concepto «relación» como aquel que mantiene el sistema unido, por esto consideran que la «relación» es la que crea la noción de sistema, pues es imposible que existan objetos sin relación alguna dentro de un mismo sistema, con lo cual ya se comenzaba a dar forma al concepto de complejidad. En cuanto al concepto de «atributos», estos son planteados como las propiedades de los objetos, por lo cual para el estudio de un sistema se deben conocer los objetos que lo conforman y las relaciones que existen entre ellos (García, 2013).

Por otro lado, Leventhal y Green (2006) plantean una definición similar, afirmando que un sistema es un grupo de objetos que operan juntos. Años atrás, Spedding (1979) plantea un sistema como «un grupo de componentes que pueden funcionar recíprocamente para lograr un propósito común, donde los agentes son capaces de reaccionar juntos al ser estimulados por influencias externas. El sistema no está afectado por sus propios egresos y tiene límites específicos en base de todos los mecanismos de retroalimentación significativos».

Bermón (2010)<sup>1</sup> plantea que los sistemas tienen fronteras que existen dentro de un medio ambiente y constan de una serie de elementos funcionales para la operación de dicho sistema. Al hablar de medio ambiente, se refiere al conjunto de circunstancias dentro de las cuales se encuentra una situación problemática; por otro lado están las fronteras, las cuales distinguen las entidades dentro del sistema y las que constituyen su medio ambiente.

<sup>1</sup>Leonardo Bermon cuenta con un curso bajo licencia Creative Commons disponible en: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4060010/index.html>

Dadas las consideraciones anteriores, se puede concluir que en los sistemas no existen propiedades o comportamientos aislados, pues todos los elementos con sus características están interrelacionados en conjunto como un todo. En consecuencia, no se puede descomponer el total en subconjuntos independientes; tampoco se pueden dividir unos sistemas en subsistemas independientes, ya que cada subgrupo del total tiene las anteriores propiedades; se encuentra que si bien cada elemento actúa de forma independiente, esos actos afectan al resto de elementos de ese total. En el campo de la economía, Sampedro y Sequeiros (2002)<sup>2</sup> proponen «el sistema económico como una estructura con la autonomía suficiente para auto-organizarse en los aspectos más fundamentales». En conclusión, define un sistema como una estructura dinámica de personas o agentes, objetos, procedimientos e interacciones, organizados con el propósito de lograr funciones específicas con la finalidad de cumplir un determinado objetivo.

### 1.3 Sistemas de innovación

Existen múltiples trabajos en la literatura que demuestran cómo la ciencia, la tecnología y la innovación son factores definitivos del crecimiento económico a largo plazo, y catalizadores del desempeño competitivo de los países. La evidencia empírica muestra de forma robusta que existe una relación estable y duradera entre las inversiones que se realizan en innovación y el crecimiento de la productividad de los países (BID, 2010; Crespi, Fuentes, Álvarez, y Orozco, 2010; OECD, 2010; Padilla, 2013).

Por lo cual se plantea el concepto de *sistema de innovación*, el cual explica cómo las empresas, universidades, centros de investigación y desarrollo, gobierno y otras organizaciones tales como el sector financiero y asociaciones empresariales por medio de una serie de interacciones incentivan la gestión del conocimiento (B.-Å. Lundvall, 1992; Robledo, 2002); adicional, Carlsson, Jacobsson, Holmén, y Rickne (2002) añaden entre sus actores a las agencias de políticas públicas, institutos de investigación e instituciones representadas como marcos regulatorios, tradiciones y normas sociales.

Entre los actores de un sistema de innovación se pueden dar relaciones formales, caracterizadas por ser planificadas y tener objetivos específicos; y relaciones informales, las cuales suelen ser intercambios espontáneos, fluidos y prácticamente de forma inconsciente dentro del sistema (Grabher, 2000).

En síntesis, el concepto de «sistema de innovación» estudia los efectos que se dan por las relaciones que tienen lugar entre los agentes, y entre estos con sus entornos

<sup>2</sup> Biografía del economista J. L. Sampedro, disponible en: <http://www.clubcultura.com/clubliteratura/clubescritores/sampedro/>

(Lundvall, 1992). El concepto de sistemas de innovación propuesto por Freeman (1987), Lundvall (1992) y Edquist (1997) está dirigido hacia cómo las instituciones, leyes, regulaciones, reglas sociales y estándares técnicos, lo mismo que las interacciones entre organizaciones, evolucionan en un marco institucional, lo que puede incentivar o restringir la innovación.

Lundvall (1992) propone la teoría del aprendizaje interactivo haciendo énfasis en cómo los enlaces interactivos entre usuarios y productores, dentro de una institución, se configuran como un prerrequisito para la innovación.

El estudio de la dinámica funcional de los sistemas de innovación tiene como objetivo la comprensión de su estructura actual, con el fin de proponer dinámicas de evolución que permitan realizar acercamientos de las situaciones futuras. Para esta aproximación, en la literatura, se analiza el fenómeno desde diversas perspectivas, abarcando desde los procesos de crecimiento, las relaciones, redes de trabajo y los sistemas de aprendizaje, hasta la política, entre otros. (Metcalf, 1992; Smith, 2000; Malerba, 2002; Lundvall, Johnson, Andersen y Dalum, 2002; Metcalf, 2004; Miyazaki e Islam, 2007; Bergek, Jacobsson, Carlsson, Lindmark, y Rickne, 2008, Coenen y Díaz López, 2010; Berkers y Geels, 2011).

Por otra parte, contar con empresas enmarcadas en un sistema de innovación no solamente implica una mayor competitividad en la economía sino también la generación de dinámicas de relacionamiento, estrategias y políticas, que influyen fuertemente en la trayectoria del desarrollo económico para un país (Wixted, 2009, p. 15).

El concepto de sistema de innovación permite analizar el crecimiento económico de un país desde una perspectiva inferior al crecimiento de la productividad del trabajo en las distintas regiones y sectores de una economía, en especial si se analiza este contexto desde un enfoque de la teoría evolutiva del conocimiento (Metcalf, 1992, 2004; Soete, Verspagen, y Ter Weel, 2010). Esto se logra identificando que uno de los factores claves para generar el dinamismo del crecimiento se basa en la gestión de información oportuna, es decir, remitirse a la persona indicada, en el momento preciso, lo cual promueve distintos escenarios tecnológicos e institucionales de beneficio colaborativo, identificando una buena oportunidad para innovar en una economía dinámica y competitiva en territorios internacionales (Scheel y Pineda, 2011).

En cuanto a los niveles de los sistemas de innovación, Chang y Chen (2004) plantean:

1. El enfoque nacional propuesto por Freeman, Lundvall y Nelson
2. Enfoque regional o local propuesto Cooke, Braczyk y De la Mothe y Paquet
3. Enfoque sectorial propuesto por Carlsson y Stankiewicz, Breschi y Malerba

Para el análisis en escenarios computacionales que permitan estudiar los sistemas de innovación, en la literatura se encuentra que si bien se han realizado modelos económicos desde mucho tiempo atrás (Naylor, Shubik, Fioravante e Ibrahim, 1974) a partir de los conceptos de evolución e instituciones (Edquist, 1997; Lundvall, 1992; North, 1990) se encuentra que Padmore y Gibson (1998a), (1998b); Padmore, Schuetze y Gibson (1998b) han realizado publicaciones en las cuales no se utilizan técnicas únicas para modelar y simular sistemas de innovación, planteando un modelo que permita la realización de un análisis más profundo del sistema de innovación. Cabe destacar que en la realización de las mencionadas publicaciones

#### 1.4 Agentes – Actores

Para los estudios basados en metodologías computacionales, que permiten una comprensión más profunda de los fenómenos que activan o restringen la innovación, es necesario la delimitación clara de quiénes serán los agentes que formarán parte del escenario virtual, pues la interacción de los actores en un sistema de innovación produce y transforma el conocimiento científico y tecnológico en riqueza económica, bienestar social y desarrollo humano (Robledo Velásquez y Ceballos, 2008).

Desde un punto de vista económico, Heijs, Martínez, Baumert y Blanco (2002a) analizan los factores que determinan la innovación, además, coinciden con Jaffe (1989); Stern, Porter y Furman (2000), posicionando al sistema educativo científico como uno de los agentes más relevantes en el sistema de innovación de un país o una región.

Para demostrar el peso que puede llegar a tener el sistema educativo universitario, Heijs et al. (2002a) adaptan el índice de investigación (*Ind\_Investigación*) elaborado por Cañs y Vaquera (2001) para formular el índice de calidad investigadora de las universidades, a pesar de las limitaciones individuales que pueda llegar a tener, el cual es utilizado en la salida de un modelo econométrico propuesto para el análisis de los factores que determinan la innovación.

$$Ind_{investigador} = \frac{(FET * 2 + PRO * 10 + LBE * 2 + \frac{MPR}{z} + TDE * 15 + ETC)}{40}$$

Donde:

FET=Centros con carreras largas (en números absolutos)

PRO=Tasa de profesores (según el tamaño de la universidad)

LBE=Libros en la biblioteca por estudiante

MPR=Mujeres profesoras (% del total del profesorado)

TDE=Títulos de doctorado concedidos (por cada mil estudiantes)

ETC=Estudiantes que terminan la carrera en los años planeados para tal fin (en % de los que empezaron)

$$CURC_{A,t} = \sum_{CA,t} \frac{Ind_{U,t} * Lic_{U,t}}{Lic_{CA,t}}$$

Donde:

$CURC_{A,t}$  : Calidad universitaria de la comunidad (CA) en un periodo (t)

$Ind_{U,t}$  : Índice investigador de la universidad (U) en un periodo (t)

$Lic_{U,t}$ : Número de licenciados de la universidad (U) en un periodo (t)

$Lic_{CA,t}$  : Número total de licenciados en la comunidad (CA) en un periodo (t)

Adicionalmente, como agente de un sistema de innovación, Heijs et al. (2002a) plantean las empresas teniendo en cuenta solo aquellas que realizan I+D de forma sistemática; también realizan una taxonomía entre los empleados de industrias de alta tecnología y media tecnología con respecto al total de empleados del sistema de innovación.

Como las relaciones entre los agentes de innovación son fundamentales en el desempeño del sistema de innovación, Padilla (2013) destaca los vínculos e interacciones entre empresas multinacionales, universidades y agencias de cooperación internacional, por la capacidad de usar, absorber o adaptar nuevas tecnologías en su entorno, aunque a menudo su resultado no se refleja adecuadamente en los sistemas existentes de medición de la producción económica (Malerba, 2004).

Por otro lado, desde una perspectiva computacional, en el campo de la inteligencia artificial, Wooldridge y Jennings (1995) definen un agente como un sistema computarizado que puede ser conceptualizado o implementado usando conceptos usualmente aplicados a los humanos. Desde el punto de vista de la modelación basada en agentes, Ma y Nakamori (2005) los definen como entidades autónomas que toman decisiones.

Cabe destacar que para el desarrollo de estudios computacionales que posibiliten el estudio de los sistemas de innovación, en cuanto al estudio de las características de los agentes, una limitante recurrente ha sido la falta de datos para poner a prueba el modelo desarrollado, por lo cual las personas que desarrollen este tipo de técnicas computacionales deben tener supremo cuidado al elegir agentes que puedan no llegar a tener algunos datos, pues si son variables sensibles para el funcionamiento óptimo del modelo propuesto, pueden originar imprecisión al modelo planteado.

## 1.5 Dinámicas sociales

Para complementar la explicación conceptual de las interacciones entre los agentes de un sistema de innovación son planteadas las dinámicas sociales, que incorporan cultura, normas, actitudes prácticas, valores y teorías de comportamiento, que ofrecen

argumentos teóricos para describir la naturaleza de las relaciones establecidas dentro de las unidades sociales.

Un ejemplo de la practicidad de este concepto para el estudio de fenómenos económicos, lo plantean Kholopane y Mabote (2012) por medio de un estudio empírico en Sur África, en el cual, a partir de la definición del concepto, exploran cómo las dinámicas sociales influyen las estructuras de las relaciones en los grupos de trabajo para crear ambientes más productivos, teniendo en cuenta aspectos tales como: el pensamiento de las personas, el comportamiento cognitivo que determina cómo los trabajadores interactúan con su grupo de trabajo; las actitudes, que determinan cómo los empleados perciben su ambiente de trabajo y, finalmente, la cultura de trabajo de estas personas, con lo que se garantiza que los trabajadores están sincronizados con su ambiente de trabajo. Esto es importante para el estudio de los sistemas de innovación, pues uno de sus agentes son las organizaciones empresariales con las cuales por medio del entendimiento de estos factores se logra contribuir a una mayor productividad, que puede ser compartida entre diferentes personas, con lo que se garantiza una vigencia más duradera. Además, Durlauf y Young (2004) destacan la importancia de las dinámicas sociales para estudiar el problema de la interrelación entre el comportamiento grupal y el individual, pues la comprensión de estos factores es esencial para lograr empleados más productivos y por ende organizaciones.

Bajo la anterior premisa se ha originado la denominada economía social, la cual promete hacer el puente entre las dinámicas sociales y económicas, por medio del estudio entre las interacciones grupales e individuales, comenzando con el análisis de cómo el comportamiento individual es influenciado por las elecciones de otros. Para este estudio se desarrolla una metodología que comienza identificando qué propiedades son interesantes para su estudio; luego se intentan mantener las individualidades el mayor tiempo posible e identificar comportamientos individuales para su análisis. Después, se aspira conocer cómo las personas responden a sus creencias, de acuerdo con las características y comportamientos de otros; posterior a ello, se especifica cómo se originan estas creencias, las cuales dependen de la habilidad de los individuos para aprender, razonar y procesar información y se introducen variables aleatorias para determinar variaciones; al finalizar estos pasos se ha desarrollado un ejemplo de un modelo para el estudio de las dinámicas sociales, aunque para los propósitos del presente texto no es necesario profundizar más en el tema. Por esto, Tuma (1984) destaca la necesidad de realizar un análisis dinámico que estudie los cambios que se presentan en la sociedad.

## 1.6 Sistemas complejos

La complejidad hace referencia a la dificultad de comprensión de un fenómeno en un contexto o entorno determinado, el cual se puede definir según las diferentes disciplinas en relación con diversos sistemas (Barnhart, 2003).

Los sistemas complejos presentan en su estructura una serie de agentes que se relacionan e interactúan de múltiples formas, la cual se convierte en una característica clave de los sistemas de innovación, que lleva a las ciencias de la complejidad a tomar mayor importancia en contextos más específicos, porque en las ciencias tradicionales se han presentado vacíos conceptuales para la explicación de fenómenos particulares que no han podido generalizarse.

En la literatura se encuentra que los sistemas complejos son caracterizados por la presentación de comportamientos emergentes originados, por la interacción de sus agentes, otra razón para realizar un acercamiento conceptual entre los sistemas de innovación y los sistemas complejos, porque en los primeros es una tarea difícil establecer relaciones causa-efecto lineal entre sus actores o agentes, ya que no se presentan causas simples o únicas ni generalizables que expliquen su comportamiento. Por otro lado, Robledo (2002) al definir la innovación como un proceso que se sostiene sobre una base de capacidades acumuladas históricamente en organizaciones, conglomerados productivos, regiones y países, explica el provisionamiento de una serie de capacidades y conocimientos que se acumulan de una forma compleja en el sistema de innovación en conjunto.

Adicionalmente, los sistemas complejos sirven como herramienta conceptual para el entendimiento de los sistemas de innovación, porque los modelos son aceptados para la representación de un mundo económico en una forma simple, en la cual se extraen las características para responder preguntas y manipular el modelo (Morgan, 2001), razón por la cual se debe definir cuál será el marco de referencia bajo el cual se regirán los sistemas de innovación, pues este modelo computacional debe acaparar las variables más sensibles de la realidad con el objetivo de lograr una comprensión más profunda de cuáles son los factores que incentivan o restringen la innovación.

## 1.7 Instituciones

Desde la perspectiva de la economía, las instituciones son un conjunto de factores heterogéneos que acarrearán desde normas sociales hasta valores y desde derechos de

propiedad a organizaciones complejas como las sociedades anónimas y las agencias de estado (Haggard, 2004; Williamson, 1975, 1985).

Malerba (2002, p. 257), define las instituciones como mecanismos de ordenamiento y cooperación que gobiernan el comportamiento de los actores del sistema; incluyen normas, rutinas, reglas, leyes, estándares, hábitos comunes, prácticas establecidas, etc.

Roland (2004) propone una taxonomía entre instituciones de «movimiento lento», como la cultura e instituciones de «movimiento rápido» como las reglas legales y los planes organizativos. Además en este trabajo cita a North (1990), el cual define las instituciones como comportamientos impuestos por las reglas de un juego en la sociedad.

Hollingsworth (2002) hace una revisión de los diferentes componentes para el análisis institucional, para esto cita las definiciones de las instituciones como normas, reglas, convenciones, hábitos y valores propuestos por Burns, Flam y De Man (1987) y D. C. North (1990). Adicionalmente, distingue los arreglos institucionales definidos como mercados, estados, jerarquías corporativas, redes, asociaciones, comunidades.

Por otro lado, en cuanto a los sectores institucionales, se hallan ejemplos prácticos tales como el sector financiero, sistema de educación, sistema de negocios, sistema de investigación, entre otros. Adicionalmente, Powell (1991) plantea en este grupo las organizaciones.

Hollingsworth (2002) hace un llamado a la comunidad académica, pues si se quiere avanzar en el estudio del análisis institucional es necesario una colaboración interdisciplinaria y en equipos, pues se refleja una cultura y estructura fragmentada en las diferentes disciplinas de investigación; por otro lado, propone como ejemplo las ciencias biológicas, en estas, una vez que los participantes de varias disciplinas comienzan a cooperar en el estudio de un fenómeno usando el mismo concepto, los avances teóricos suelen ser más rápidos. También se destacan los aportes realizados por economistas como North (1990) y Sen (1999) que han contribuido a dar un nuevo norte para este concepto, planteando el marco institucional como un factor clave para asegurar las perspectivas de desarrollo de un país, destacándose por encima, incluso, de la cantidad de capital que este pueda llegar a tener (Portes, 2009).

En cuanto a las salidas y al desempeño de los sistemas basados en instituciones, se destacan: las decisiones administrativas, la naturaleza, cantidad y calidad de los productos industriales (J. Rogers, Hollingsworth y Boyer, 1998; J. Rogers, Hollingsworth, 1991), desempeño sectorial y de sociedad (Hollingsworth and Hanneman, 1982).



Los anteriores componentes son arreglos en orden descendente de desempeño y estabilidad, esto es, normas, convenciones, entre otras, que suelen ser más duraderas y persistentes que los otros componentes del análisis institucional. Cada componente está interrelacionado con los otros, es por esto que los cambios en alguno de estos muy probablemente afecten a los otros.



## CONCLUSIONES

Los sistemas de innovación se han estudiado ampliamente desde diferentes perspectivas, en particular en el presente texto, se realizó una exploración exhaustiva en relación con este tema y su estrecha vinculación con las técnicas de simulación y modelado, analizando la evolución cuantitativa y las tendencias de publicación en literatura indexada en bases de datos de alto reconocimiento, con la finalidad de brindar al lector un panorama general de estos tópicos.

Con esta exploración, se encontró que si bien desde muchos años atrás se han implementado modelos para la explicación de diferentes fenómenos económicos, tales como la inflación, la relación nivel de estudio versus ingresos, entre otros, economistas como Nelson, Edquist, North, Lundvall, presentaron otros revolucionarios conceptos como: coevolución, influencia de las instituciones, aprendizaje, etc., que el mundo académico tardó un poco en implementar en la simulación y el modelado de los sistemas de innovación.

Los conceptos de modelo, modelado y simulación, por presentar fines muy similares, han sido tratados de forma casi indistinguible en el mundo académico, perdiendo límites conceptuales, lo cual ha contribuido a tergiversarlos evidenciándose en la omisión de los criterios lógico-matemáticos intrínsecos en cada uno de estos tópicos.

Por otro lado, se destacan los términos *Complex*, *Network*, *Innovation*, *Systems*, *Innovation systems*, junto con *dynamics*, como conceptos claves para las teorías modernas desarrolladas para el análisis de los sistemas de innovación; esto se confirmó con la gran cantidad de resultados encontrados relacionados con el propósito de encontrar diferentes herramientas para analizar los sistemas de innovación, pues esta presenta casi todos los conceptos bajo los cuales se rigen las publicaciones realizadas para su simulación y modelado, después del enfoque institucional propuesto por Nelson, North, Lundvall y Edquist, para el desarrollo de políticas que incentiven ecosistemas de innovación, los cuales han sido profundamente estudiados en la literatura.

La realización del análisis cuantitativo permitió la identificación de los siguientes patrones en los diferentes modelos analizados: la preferencia de los autores para elegir los *journal*s como destino predilecto para la divulgación de los resultados de sus investigaciones; la constante recurrencia del término Modelo Matemático (*Mathematical Model*) en todos los métodos analizados, evidenciando la fundamentación matemática que poseen todos estos modelos; por otro lado, se destaca el trabajo en conjunto entre países conformando una densa red de conocimiento, reafirmando las teorías de la globalización y la estrecha relación que existe entre las personas alrededor del mundo, descartando rotundamente el aislamiento por distancias geográficas; también se destaca la tendencia creciente de citas de las publicaciones relacionadas con la simulación y el modelado de sistemas de innovación, con lo que se confirma el creciente interés de la comunidad académica en la realización de investigaciones en torno a estos tópicos, para lograr un conocimiento más profundo de estos complejos sistemas.

Si bien los resultados encontrados con los modelos de Autómatas Celulares e Inteligencia de Enjambres no arrojaron resultados concretos en relación con la simulación y al modelado de sistemas de innovación, estas técnicas están logrando posicionarse entre las preferencias de los investigadores, por las bondades que presentan al formularse a partir de sistemas inspirados en seres vivos, por lo cual no deben dejarse de lado de forma rotunda.

Las personas interesadas en la investigación deben explorar estos conceptos en inglés, ya que en dicho idioma se encuentra el mayor porcentaje de información, aunque también se debe tener en cuenta el portugués y el mandarín, pues presentan una cantidad representativa a ser tomada en cuenta para la publicación de documentos relacionados con estos tópicos.

En cuanto al software para modelar y simular, se destaca el Software R. Si bien este no ha sido utilizado para el estudio de fenómenos complejos como los sistemas de innovación, por su versátil plataforma se postula como una herramienta interesante para futuros trabajos realizados en el análisis de sistemas complejos relacionados precisamente con la innovación.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achiche, S., y Appio, F. P. (2010). Fuzzy decision support in the early phases of the fuzzy front end of innovation in product development. En *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, 3, 229-238.
- Achiche, S., Appio, F. P., McAlloone, T. C., y Di Minin, A. (2013). Fuzzy decision support for tools selection in the core front end activities of new product development. *Research in Engineering Design*, 24(1), 1-18. doi:10.1007/s00163-012-0130-4
- Achorn, E. (2005). *Integrating Agent-Based Models with Quantitative and Qualitative Research Methods*. Presentado en AARE 2004.
- Adarme-Jaimes, W., Arango-Serna, M. D., y Cogollo-Flórez, J. M. (2012). Performance Measurement of Supply Chains in Inaccurate Environments Using Fuzzy Logic. *Ingeniería y Universidad*, 16(1), 95-115.
- Aguirre, J. (2010). *Metodología para medir y evaluar las capacidades tecnológicas de innovación aplicando sistemas de lógica difusa caso fábricas de software*. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1883/>
- Aguirre, J. y Restrepo, M. (2012). Scientific Research Analysis of Sectoral Innovation Systems. IEEE International Technology Management for Emerging Technologies (PICMET), 2012 Proceedings of PICMET '12:PICMET 2012. *Portland International Center for Management of Engineering and Technology*, 1904-1909.
- Ahrweiler, P., Pyka, A., y Gilbert, N. (2011). A new model for university-industry links in knowledge-based economies. *Journal of Product Innovation Management*, 28(2), 218-235. doi:10.1111/j.1540-5885.2010.00793.x



### JOAO AGUIRRE RAMÍREZ

Ingeniero de Control de la Universidad Nacional de Colombia, Magíster en Ingeniería Administrativa y candidato a Doctor en Ingeniería. Se desempeña como asesor de proyectos en la Dirección de Investigación del Instituto Tecnológico Metropolitano, adicionalmente, es el Coordinador del Laboratorio Gestión de Innovación y líder de maestría en Gestión de Innovación Tecnológica Cooperación y Desarrollo Regional. Cuenta con amplia experiencia docente en diferentes instituciones universitarias a nivel nacional e internacional. Se ha desempeñado como consultor en gestión tecnológica e innovación, interviniendo empresas y asesorando su dirección estratégica basada en la innovación.

Ha realizado ponencias en numerosos congresos internacionales y tiene publicaciones en libros y revistas indexadas. Ha liderado trabajos en diferentes áreas, entre ellas se destacan: la innovación, sistemas sectoriales y regionales de innovación, estrategia, inteligencia estratégica, gestión tecnológica, lógica difusa, inteligencia artificial, capacidades de innovación, vigilancia

### MATEO RAMÍREZ SOSSA

Estudiante de Ingeniería Electrónica, profesional Vigía del Laboratorio de gestión de la Innovación. Entre sus áreas de interés se encuentran el impulso al desarrollo y la competitividad regional de una forma sostenible como base para el nivel nacional, además, el surgimiento de innovaciones disruptivas en el sector eléctrico; todo esto utilizando bases conceptuales relacionadas con la Vigilancia Tecnológica, Inteligencia Estratégica y la gestión de proyectos.

Fruto de su labor investigativa recibió un reconocimiento de la dirección de investigaciones y la facultad de ingeniería del ITM por su participación en la ejecución de los proyectos *Identificación, evaluación y valoración de herramientas para modelar y simular dinámicas sociales asociadas a los sistemas de innovación*; y en la *Estructuración del laboratorio de Gestión de Innovación*. Presentó la ponencia titulada *Factores determinantes de compra en tiendas de barrio: caso Medellín, Colombia*, en el Congreso Internacional MiPyme, en la Universidad de Guanajuato en México. Ha realizado ponencias en la primera y segunda jornada de investigación, organizadas por la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas del ITM, abordando tópicos en torno a la Gestión de la Innovación.



ANÁLISIS CIENCIOMÉTRICO DE MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE INNOVACIÓN

Se terminó de diseñar en el Fondo Editorial ITM, en septiembre de 2014.

Fuentes tipográficas: *Arial* para texto corrido, en 11 puntos.  
para títulos *Desdemona*, en 14 puntos y subtítulos *Arial Bold*, en 11 puntos



**E**STE LIBRO RESULTADO DE INVESTIGACIÓN ES UNA COMPLETA REVISIÓN CIENCIOMÉTRICA RELACIONADA CON LOS SISTEMAS DE INNOVACIÓN, EN EL CUAL SE HACE UN RECORRIDO POR LA LITERATURA, SE ANALIZAN LAS DIFERENTES TÉCNICAS EMPLEADAS PARA MODELAR Y SIMULAR SISTEMAS COMPLEJOS ASOCIADOS A DINÁMICAS SOCIALES, SE IDENTIFICAN AUTORES LÍDERES, INSTITUCIONES CON MAYOR RECURRENCIA EN INVESTIGACIONES DE ESTE TIPO Y, FINALMENTE, SE REALIZA UN COMPARATIVO ENTRE LAS DIFERENTES TÉCNICAS EXISTENTES CON EL OBJETO Y, EN CONSECUENCIA, CONSTITUIRSE EN UN PUNTO DE PARTIDA DE FUTURAS INVESTIGACIONES.

This book, the result of an investigation, is a complete scientometric review related to Innovation Systems. It reviews the literature, the different techniques used to model and simulate complex systems associated with social dynamics and it discusses lead authors and institutions more frequently mentioned in investigations of this kind. Finally, the book offers a comparison of the different current techniques with the aim of becoming a starting point for future research.



ISBN 978-958-8743-61-5



9 789588 743615