

1.1. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN EMPRENDIMIENTO E INNOVACIÓN

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	EMPRENDIMIENTO E INNOVACIÓN
Director	David Enrique Anzola Pinzón, Ph.D.
Profesores	Nelson Alfonso Gómez Cruz, Ph.D. (c)

1.1.1. Introducción

La innovación, tal como lo reseña Bunge & Pons (1999) para las ciencias sociales, ha experimentado cierta ligereza en su fundamentación teórica (Godin, 2015), la cual proveniente de vacíos en su fundamentación epistemológica, su campo de aplicación, su caracterización, entre otros. Autores como Moldaschl (2010) cuestionan la existencia de una o de varias teorías de la innovación, apelando a la naturaleza compleja del problema. Por su parte, Godin (2008) califica la innovación y su estudio como una categoría, pues la procedencia de su fundamentación epistemológica ha provenido de la evolución histórica de conceptos como imitación e invención, antes que de una corriente de pensamiento o paradigma de investigación.

A pesar de las fuertes críticas, el desarrollo de la investigación en el campo ha tenido enormes proporciones (Godin, 2015). Algunas de las principales revistas en el campo, como *Tecnovation* o el *Journal of product innovation management*, se encuentran entre las más representativas del mundo en los índices ISI y SCOPUS, además de registrar alrededor de 81.000 referencias a libros y 945.000 a artículos científicos en la base de *Google Scholar*. La razón para estos hechos resulta bastante simple: la innovación es un fenómeno capaz tanto de catalizar el desarrollo competitivo de las naciones (Zhang, 2009; Şener, & Sarıdoğan, 2011), como de construir ventajas competitivas para las organizaciones (Lahovnik, & Breznik, 2014), ambos temas críticos en la generación de riqueza.

Por tales razones, la innovación resulta ser un tema crítico en la agenda de investigación de cualquier escuela de administración. En la Escuela de Administración de la Universidad del Rosario, específicamente, se está consolidando una línea de investigación en emprendimiento e innovación, cuyo propósito principal es generar conocimiento pertinente y de calidad que permita (i) comprender mejor la dinámica de la innovación, (ii) caracterizar los mecanismos que la hacen posible y (iii) desarrollar modelos y herramientas que le permitan a las organizaciones hacer innovaciones efectivas.

1.1.2. Antecedentes de la línea

La línea de investigación en emprendimiento e innovación hace parte del conjunto de nuevas apuestas que, desde la Escuela de Administración, se están impulsando con el fin de consolidar un aparato investigativo robusto y capaz de contribuir al desarrollo empresarial colombiano.

1.1.3. Descripción de la línea

¿Qué es innovación?

La debilidad en el estatuto epistemológico del campo sugiere la necesidad de propiciar una discusión desde la definición misma de innovación, dado que cada una de ellas demarca no solo aspectos teóricos fundamentales, sino también problemas de investigación y perspectivas de estudio. De acuerdo con Godin (2015), el concepto de innovación puede tener varias definiciones, desarrolladas sobre la base de dos raíces etimológicas diferentes.

La primera definición emerge de la raíz griega “*Kainotomia*”, que resulta de la combinación de *Kainos* (lo nuevo) con *tom* (cortar). Esta definición describe a la innovación como un proceso de agregación de lo no conocido que involucra todo aquello que es nuevo y al mismo tiempo radical. En la antigua Grecia, el término fue empleado por primera vez, con una connotación negativa, para fines políticos. Se denominaba innovadores a aquellos revolucionarios que promovían, de manera infame, el cambio en las bases del orden establecido. Posteriormente, el término fue usado por los poetas y escritores romanos, quienes lo acuñaron en el sentido de *in-novo*, pero no como la agregación (*in*) de lo nuevo (*nova*), o como el cambio realizado a una estructura o a una relación de estructuras particular, sino como *renovación y transformación*.

El estudio y la comprensión de la innovación (i) como un proceso de agregación o (ii) como un proceso de transformación suponen diferencias significativas que afectan la caracterización epistemológica del campo, sus métodos y sus conclusiones. La corriente principal de la innovación, representada en sus orígenes por el denominado Libro Verde de la Innovación (Comisión Europea, 1995) y, posteriormente, por el Manual de Oslo (OCED, 1993; 2005), comprende la innovación como un proceso de agregación *de lo nuevo*, en el cual la modificación en los componentes de un sistema o en la relación entre ellos, supone la emergencia de una innovación. Las herramientas para la medición de las innovaciones en el marco del manual de Oslo son congruentes con esta filosofía. Un ejemplo es la medición de la relación entre el presupuesto de inversión en investigación y desarrollo y el número de nuevos productos lanzados. Otros sistemas, como el *Global Innovación Index* (GII), clasifican las economías de los países en función del porcentaje del PID utilizado en investigación y desarrollo con respecto al número total de patentes registradas por año.

La comprensión de la innovación como un fenómeno de agregación supone un problema estructural que evidencian Abernathy y Clark (1985) al introducir en concepto de *transiliencia* en el ámbito de la innovación. Desde una perspectiva empresarial, autores como Escorsa y Valls (2003) e Hidalgo, León y Pavón (2008), destacan la diferencia entre *desarrollo tecnológico e innovación tecnológica*. Valdés (2004), por su parte, resalta la diferencia entre *invención e innovación* al indicar que, si bien el origen de toda innovación es una invención, el mundo se encuentra lleno de inventos fallidos.

Buena parte de los ejemplos sobre inventos fallidos se encuentran en la industria automotriz, debido a su alta tasa de renovación de producto. *Ford Motor Company*, por ejemplo, desarrolló en la década de 1980 el *NUCLEON*, un vehículo impulsado por energía nuclear que ofrecía transporte cómodo y a un costo mínimo para el usuario. Sin embargo, el riesgo de tener cientos de reactores nucleares rodando por las calles culminó con la cancelación del proyecto. Situaciones similares sucedieron con el vehículo impulsado por turbina, el vehículo anfíbio y, el más controversial de todos: el vehículo volador.

En todos los casos, las invenciones implicaron la creación de componentes nuevos o la modificación en la relación de los componentes ya existentes. Sin embargo, la dificultad para la introducción de los vehículos en el mercado y los bajos niveles de aceptación por parte de los clientes terminaron por convertirlos en simples inventos fallidos. Los anteriores ejemplos explican como la “agregación de lo nuevo” habla solo de lo novedoso, pero no necesariamente de lo innovador, pues para que exista innovación es necesario el impacto y la transformación de una estructura organizacional, social o económica particular.

El concepto de *transiliencia* de Abernathy y Clark (1985) justamente se refiere al potencial que tiene toda novedad (invención o mejoramiento) de impactar, en mayor o en menor escala, el sistema en el que surge, convirtiéndose en innovación. Un ejemplo de ello es el renombrado caso del *Ipad* de *Apple*, el cual logró no solamente una transformación en los hábitos y comportamientos de la sociedad en general, sino también una transformación económica de la empresa con un crecimiento promedio anual de más del 27% (Frommer, 2015). De esta manera, la emergencia de innovaciones supone la presencia de uno o varios cambios sustanciales en sistema que propician una transformación en su estructura y su entorno.

La innovación como un proceso de transformación debe considerarse, además, desde una perspectiva orgánica y emergente (Burns & Stalker, 1961). Esto implica la caracterización de la innovación desde el punto de vista generativo (Epstein & Axtell, 1996) y enmarca su estudio en el ámbito de las ciencias de la complejidad. Es este el enfoque teórico que se pretende desarrollar en esta línea de investigación.

Principales problemas en el estudio de la innovación e intereses de la línea

Dada la relevancia del campo en aspectos como el desarrollo económico de los países (Şener, & Sarıdoğan, 2011) y el logro de ventajas competitivas en las organizaciones (Lahovnik, & Breznik, 2014), existe una gran cantidad de literatura que trata de abordar, desde diferentes perspectivas y niveles, el problema de la innovación. Autores como Anderson y Markides (2007), y posteriormente Pulgarin y Pineda (2011), plantean algunos sistemas de clasificación por niveles, facilitando la delimitación de los problemas y el alcance de los distintos escenarios.

La figura 1 presenta un esquema de clasificación de la innovación en núcleos o niveles de problemas construido a partir de los autores mencionados. En este esquema, los problemas *macro* de la innovación hacen referencia a (i) el desarrollo de estrategias y políticas de ciencia, tecnología e innovación (Gilman, 1971); (ii) el estudio y el desarrollo de sistemas nacionales de innovación (Lundvall, 1992) y (iii) el estudio de la innovación y competitividad de los países (Niosi, 1991). Por su parte, el nivel *meso* de la innovación aborda problemas tales como (i) la relación entre la innovación y el entorno (Iansiti & Levien, 2004) o el estudio de entornos habilitantes para la innovación (Hamer, 2010) y (ii) el estudio y el desarrollo de sistemas regionales de innovación (Cooke, Gómez & Etxebarria, 1997).



Figura 1. Niveles de innovación.

Fuente: Adaptada de Pulgarin, & Pineda (2011).

El tercer nivel, o nivel *micro* de la innovación, se ocupa de los problemas organizacionales, los cuales se clasifican, principalmente, en (i) gestión del conocimiento (Luthans, 1968), (ii) desarrollo de modelos del proceso innovador (Robertson, 1967) y (iii) el estudio de la innovación y la ventaja competitiva (Lengnick-Hall, 1992). Por último, el nivel del *individuo* constituye la mínima escala de estudio, apropiando problemas como (i) el estudio de las innovaciones sociales (Mulgan, Tucker, Ali, & Sanders, 2007) y (ii) la innovación como una competencia del individuo, particularmente del emprendedor (Drucker, 1985; Higgins, 1995)

Lejos de desconocer la importancia de los demás niveles, esta línea de investigación desarrolla un interés particular por la innovación en el nivel *micro*. La preocupación por la innovación en el nivel organizacional ha sido relevante no solo para el grupo de investigación, sino, de manera más general, para la Escuela de Administración de la Universidad del Rosario. El estudio de la innovación en las organizaciones ofrece una amplia variedad de problemáticas de trabajo que, además de impactar directamente la producción de conocimiento científico y la visibilidad a la línea, pueden a su vez alimentar procesos de consultoría e intervención, los cuales representan prácticas deseables en el desarrollo futuro de la Escuela de Administración.

Las vías para la innovación

Una vez ubicados en el nivel organizacional, el problema consiste en determinar dónde sucede la innovación dentro de la organización. La primera versión del Manual de Oslo (OCDE, 1995) introdujo dos vías, ya tradicionales, de innovación organizacional: el producto y el proceso. Esta visión fue válida durante la década de 1990, en la que empresa es igual a industria.

Posteriormente, con la emergencia de las denominadas empresas de servicios y las economías basadas en el conocimiento (Gera, 1998), se hizo necesaria la actualización del Manual de Oslo. En la versión actualizada, nuevas manifestaciones de la innovación se hicieron tangibles. Los modelos de negocio en las empresas, por ejemplo, se convirtieron en los nuevos portadores de innovaciones (Chesbrough & Rosenbloom, 2002). En este sentido, un renovado Manual de Oslo (O2005) integraría dos tipos adicionales de innovación, (i) la Innovación organizacional, para referirse a las configuraciones innovadoras de los modelos de negocio, y (ii) las innovaciones de mercado, que se orientan hacia la relación entre el cliente y la organización.

Aunque la aproximación del Manual de Oslo propone cuatro vías diferentes donde las organizaciones pueden innovar, estas aún resultan poco precisas para abordar la heterogeneidad

de las innovaciones en el ámbito de la organización. Una visión más precisa, rica y diversa, que es la que tomamos como referente en esta línea de investigación, es la de Sawhney, Wolcott y Arroniz (2006), la cual se denomina *radar de innovación*. Como se aprecia en la Figura 2, el radar expone una expresión ampliada de las vías del Manual de Oslo, que culmina con la declaración de 12 diferentes vías para innovar, las cuales se presentan a continuación:

- *Oferta*: hace referencia a los productos y servicios nuevos o mejorados que la empresa ofrece a sus clientes. En esta vía el diseño de nuevas ofertas supone la creación de un alto valor en los clientes.
- *Plataforma*: se trata de crear nuevas ofertas a partir de componentes modulares, valiéndose de estructuras existentes en la organización en vez de partir de un diseño completamente nuevo.
- *Soluciones*: se articula a través de la creación de ofertas integradas entre productos, servicios e información que, gracias a su estructura, permiten generar soluciones efectivas a las necesidades de los clientes.
- *Clientes*: Se trata de descubrir necesidades a partir de las insatisfacciones que no han sido verbalizadas en el contexto de mercado. El descubrimiento de tales necesidades devela nuevos segmentos de clientes no atendidos.
- *Experiencia del cliente*: Consiste en el diseño de estructuras de interacción con el cliente que integren todo aquello que este ve, oye y siente.
- *Captura de valor*: Se refiere a sistemas nuevos o mejorados mediante los cuales la empresa obtiene sus ingresos. Esta vía se encuentra fuertemente relacionada con el modelo de negocio y el desarrollo de interacciones productivas con el entorno.
- *Procesos*: Hace referencia al rediseño del conjunto de actividades en el núcleo operativo de la empresa con el fin de mejorar la eficiencia, la eficacia y la efectividad.
- *Organización*: se evidencia a partir de cambios estructurales en las funciones, formas y actividades de una empresa. Esta vía suele ser denominada *diseño organizacional*.
- *Cadena de suministro*: hace énfasis en la introducción de formas nuevas o mejoradas de operación del sistema de distribución de productos o servicios, desde la fuente hasta el destino.
- *Presencia*: esta vía atañe al diseño de canales de distribución y de puntos de presencia, donde los clientes compran.
- *Networking*: enfatiza el aprovechamiento de la red existente entre la empresa, sus productos y sus clientes con el propósito de generar valor para todos.
- *Marca*: se orienta hacia aspectos como la promesa de venta, el *brand equity* y la imagen corporativa a nuevas instancias en los clientes y el mercado.



Figura 2. Las 12 vías para la innovación.
Fuente: Sawhney, Wolcott, & Arroniz, (2006).

Dos maneras que consideramos idóneas para avanzar la comprensión de los procesos de innovación organizacional, por un lado, y para generar herramientas que le permitan a las organizaciones empresariales acelerar la producción efectiva de innovaciones, por el otro, son la simulación computacional, específicamente la simulación basada en agentes, y las técnicas de computación evolutiva, las cuales soportan el diseño evolutivo de innovaciones.

Modelamiento y simulación

La simulación computacional como método de estudio se ha popularizado en varias ramas de la ciencia contemporánea (Winsberg, 2015). Hay dos razones fundamentales para esto. La primera es la revolución tecnológica de la segunda mitad del siglo XX. El incremento significativo en los avances técnicos relacionados con las capacidades cómputo y a la expansión de los computadores personales permitieron que el uso de la simulación como método de investigación fue posible. La segunda es un cambio importante en el estatus epistemológico de la simulación computacional. Inicialmente, el uso de los computadores en la investigación científica estaba enteramente circunscrito dentro de un contexto técnico. La simulación computacional era percibida, por un lado, como una herramienta para reducir el tiempo en el procesamiento de datos y evitar errores típicos en la computación realizada por seres humanos y, por el otro lado, como una forma de resolver por fuerza bruta problemas matemáticos para los que no había una solución analítica (Keller, 2003).

La transición hacia una visión de la simulación computacional como un método suficientemente robusto y autónomo para la investigación científica requirió, primero, el reconocimiento de la simulación como una forma específica de modelamiento científico y, segundo, el diseño, la implementación y el análisis de los procesos de simulación como formas de experimentación (Anzola, 2015). Dicho de otra manera, las características fundamentales de la simulación computacional como método científico son sus capacidades de representación y de manipulación.

Con respecto a las posibilidades de manipulación, la simulación computacional, a diferencia de la experimentación tradicional, no opera directamente sobre el objeto o fenómeno de interés. Esto genera algunas ventajas significativas. En primera instancia, este acercamiento a la

experimentación permite evitar las dificultades técnicas, económicas y morales de la experimentación tradicional (Parker, 2009). Un análisis longitudinal, por ejemplo, requiere de una gran cantidad de recursos técnicos y económicos que garanticen la recolección y el análisis sistemático de la información a través del tiempo. La simulación computacional permite evitar estas dificultades, al proveer un entorno experimental artificial en el que estas cuestiones no son problemáticas.

Adicionalmente, la simulación también permite manipular las características fundamentales del objeto de estudio y el entorno de la experimentación (Gilbert, 2008). Las investigaciones longitudinales, por su parte, resultan imprácticas desde el punto de vista operativo y académico, ya que este tipo de investigaciones no puede tener una duración menor al periodo de recolección de datos, que, en ocasiones, se extiende por años. El tiempo en una simulación computacional, sin embargo, puede ser implementado de tal forma que se reduzcan de manera significativa los requerimientos y los recursos invertidos. También es posible utilizar la simulación para manipular variables fundamentales, que permitan articular un entorno de investigación radicalmente diferente al del fenómeno real. Un caso que ejemplifica este uso consiste en alterar el funcionamiento fundamental de las leyes de la física (Winsberg, 2010).

Una última ventaja importante de usar la simulación computacional como un método de investigación experimental es que la simulación, a diferencia de muchos otros entornos experimentales en donde hay manipulación directa del objeto de interés, es reproducible y modular (Humphreys, 2004; Winsberg, 2015). Ambas características son fundamentales para garantizar la solidez de los resultados. La primera porque permite, a través de la repetición, probar el vínculo entre las entradas y salidas del modelo de simulación. La segunda porque constituye una manera de identificar de forma más adecuada las relaciones que se establecen entre las diferentes variables o entidades que intervienen en la simulación.

Con respecto a las capacidades de representación, la simulación computacional, como cualquier otra forma de modelado, resulta ser un acercamiento indirecto a la producción de conocimiento a partir de la interacción de tres objetos. El primer objeto es el fenómeno de interés en el mundo real sobre el que se quiere obtener información. Dentro de la literatura se denomina como el objetivo de representación. El segundo objeto es el modelo, el cual se interviene con el fin de obtener información sobre el primero. Este se denomina la fuente de representación (Bailer-Jones, 2003). Un último objeto reconocido en la literatura sobre filosofía del modelado es el sujeto cognoscente. Este último objeto es importante, pues la relación de representación siempre está mediada por las facultades cognitivas del sujeto y articuladas dentro del modelo científico como una fuente de exploración del fenómeno real.

El uso de modelos computacionales como herramienta de investigación está asociada con implicaciones particulares generadas por la capacidad de estos modelos de procesar y producir información. La interacción entre el sujeto cognoscente y la fuente de representación no es de carácter conceptual o material, sino una combinación de ambos. A pesar de que la simulación trabaja con objetos de manera artificial, la computación no es abstracta, sino que depende de las características materiales particulares de los computadores digitales actuales (Winsberg, 2010). Adicionalmente, la capacidad de procesamiento de información les da a los modelos computacionales su carácter diacrónico. El investigador define unas condiciones iniciales y unas reglas de interacción que se procesan con el fin de representar la extensión temporal de los fenómenos de interés (Gilbert, 2000; Hartmann, 1996).

Los modelos computacionales pueden dividirse en dos grandes grupos. El primero es el de los modelos basados en ecuaciones (u orientado por variables) y el segundo el de los modelos

basados en agentes (u orientado por objetos) (Gilbert, 2008; Macy & Willer, 2002). Los modelos basados en ecuaciones han sido, históricamente, más usados en la ciencia contemporánea. Básicamente, se centran en encontrar soluciones numéricas para conjuntos de ecuaciones para los que no existe una solución analítica. Las ecuaciones pueden ser empleadas para representar el fenómeno desde perspectivas de arriba hacia abajo o de abajo hacia arriba. La dinámica de sistemas, por ejemplo, es una forma de modelado de arriba hacia abajo, que se centra en modelar el fenómeno a partir de sus características estructurales. Los estados futuros se determinan a partir de la interacción de variables de nivel de sistema. La microsimulación, por otro lado, es una forma de modelado computacional de abajo hacia arriba, donde la estimación se realiza a partir de una muestra representativa de unidades de análisis que son “envejecidas” tras aplicar ciertas reglas de transición. Diversos procesos industriales, la dinámica del desarrollo económico, los bancos, las estaciones de transporte y muchos otros sistemas socio-económicos han sido modelados con estos métodos (Cioffi-Revilla, 2014).

Los modelos basados en agentes, por otra parte, son una forma de modelado computacional de abajo hacia arriba, que se diferencia de los modelos basados en ecuaciones porque hay una representación explícita de las entidades del modelo, que son dotadas de la capacidad de interactuar entre sí y con el ambiente (Gilbert, 2008). Los modelos basados en agentes han empezado a popularizarse en diferentes disciplinas científicas, debido a su utilidad en el estudio de los sistemas complejos, los cuales se componen de muchos agentes autónomos que interactúan en un entorno específico (Siegfried, 2014; Helbing & Balmelli, 2012). Ejemplos de sistemas complejos son el cerebro, el sistema inmune, los ecosistemas, los sistemas sociales, las organizaciones, la bolsa de valores o las economías. El rasgo predominante de este tipo de sistemas es su capacidad para exhibir patrones dinámicos, estructurales o funcionales emergentes en la escala global, a partir de las acciones e interacciones locales entre los agentes que los componen (Bandini, Manzoni & Vizzari, 2009). En tales casos, los métodos analíticos suelen ser inútiles (Boccaro, 2010).

Modelamiento y simulación en las ciencias sociales

El uso de simulación en ciencias sociales puede dividirse en tres periodos históricos, de acuerdo al surgimiento y popularización de diferentes formas de simulación. Si bien los métodos pueden organizarse cronológicamente, no hay una sustitución histórica entre estos métodos. Diferentes aproximaciones a la simulación social coexisten en las diversas áreas de estudio (Gilbert & Troitzsch, 2005). La primera forma de simulación que se popularizó en las ciencias sociales fue la dinámica de sistemas, desarrollada durante la década de los sesentas. Esta herramienta fue ampliamente utilizada en ciencias sociales para el análisis de dinámicas macro, principalmente en términos de producción y consumo. El ejemplo paradigmático de la aplicación de la dinámica de sistemas en estas disciplinas es el modelo implementado por Jay Forrester en su libro *World Dynamics* (1971). Usando una simulación calibrada con datos provenientes de ciencias naturales, sociales y biológicas, Forrester generó uno de los primeros modelos a gran escala en los que se advierte sobre los límites del desarrollo. Los resultados de este libro influenciaron de manera significativa las discusiones sobre sostenibilidad durante la segunda mitad del siglo XX.

En la década siguiente, los modelos de microsimulación empezaron a ganar relevancia. Como se dijo anteriormente, la microsimulación se diferencia de la macrosimulación por su estilo de modelado abajo-arriba. Su popularización se dio principalmente por el uso incremental de simulaciones computacionales en el terreno de la política pública y el reconocimiento de las limitaciones técnicas de la dinámica de sistemas. Por un lado, debido a su enfoque, este tipo de modelos puede ser más fácilmente alimentado con información proveniente de encuestas u otras metodologías de autoreporte, que se usan normalmente con fines políticos. Esto naturalmente, da

mayor validez a la inclusión de los resultados de la simulación en asunto de planeación y toma de decisiones, en general. Adicionalmente, la microsimulación tiene la ventaja de que permite incluir cierto nivel de variabilidad y diversidad en la representación de las unidades básicas, lo que, en ciencias sociales, en muchos casos permite estimaciones más precisas.

Finalmente, durante la década de los ochentas, aparecieron los modelos basados en agentes. En términos funcionales, el uso de modelos basados en agentes en ciencias sociales está más conectada con los autómatas celulares y la inteligencia artificial distribuida, que con los modelos basados en agentes que le precedían. Los autómatas celulares se centran en la exploración de interacciones localmente dependientes, en poblaciones con tiempo y espacio discreto, usualmente una matriz (Wolfram, 1994). Las entidades en estos modelos son estructural y funcionalmente homogéneas y tienen estados y reglas de comportamiento relativamente simples y limitadas. A pesar de esto, importantes modelos dentro y fuera de las ciencias sociales, como el modelo de segregación de Schelling (1971), que se ha convertido en uno de los modelos fundacionales de las ciencias sociales computacionales, han arrojado importantes resultados respecto a la relación entre reglas a nivel local y patrones globales.

En la inteligencia artificial distribuida, por otra parte, el objetivo era la distribución y coordinación de conocimiento y acciones (Moulin & Chaib-Draa, 1996). Era un área principalmente operacional, donde el interés particular era el comportamiento colectivo, en términos de eficacia y eficiencia. Dentro de la inteligencia artificial distribuida pueden distinguirse dos sub-áreas. Resolución de problemas distribuida y sistemas multiagentes. Esta última, por su énfasis en el uso de agentes, fue la cuna de muchos de los primeros modelos basados en agentes. De hecho, en nombre ‘modelo multiagente’ dominó durante mucho tiempo, hasta que fue eventualmente reemplazado por el de ‘modelo basado en agentes’ (Gilbert, 2010).

Los modelos basados en agentes han incrementado su popularidad en ciencias sociales, debido a que permiten explorar cuestiones relacionadas con la relación micro-macro o estructura-agencia (Macy & Willer, 2002; Sawyer, 2003). La posibilidad de modelar explícitamente las entidades del modelo ha derivado en una preocupación por la conceptualización de los agentes. La noción de agencia en estos modelos es más simple que las nociones tradicionales en filosofía y ciencias sociales. Usualmente se refiere a porciones auto-contenidas de código, que pueden responder a estímulos (Gilbert, 2008). Esta capacidad se ha empleado con el fin de estudiar el surgimiento de patrones, estructuras y comportamientos sociales a partir de la acción autónoma individual de las entidades básicas.

Este acercamiento se basa en dos supuestos importantes. El primero es que los patrones de nivel macro son de carácter emergente. El segundo es que la simulación permite explorar el surgimiento de estos patrones en términos de generación. La teoría de la emergencia, si bien data desde finales del siglo XIX, se ha incorporado de manera más robusta al aparato teórico-metodológico de la complejidad, con el fin de explicar relaciones mereológicas de surgimiento de entidades o patrones epistemológicamente y/u ontológicamente distintos, a partir de interacciones en el nivel inferior (Goldstein, 1999). En el modelado basado en agentes, la simulación se usa con el fin de reproducir estas condiciones de emergencia. Reproducción, en este caso, se entiende en términos de que la simulación sea capaz de producir el patrón macro de interés, solo con la definición de las reglas de interacción a nivel micro, por parte del investigador Epstein (1999). La simulación computacional, entonces, se convierte en un medio para proporcionar explicaciones suficientes, pero no necesarias de fenómenos sociales.

Modelamiento y simulación en la administración

El uso de técnicas de modelamiento y simulación en la administración y los estudios organizacionales no es un tema nuevo (Sokolowski & Banks, 2009). Sin embargo, ha sido solamente durante las últimas dos décadas que la simulación basada en agentes (SBA) se ha venido desarrollando como un nuevo paradigma de investigación organizacional y de soporte a la toma de decisiones administrativas (Wall, 2016). La SBA permite recrear las interacciones que ocurren entre los miembros de una organización y entre estos y su entorno con el fin de estudiar las dinámicas que emergen en la escala organizacional. Del mismo modo, es posible modelar las interacciones que suceden entre las organizaciones que conforman un mercado o un sistema económico (Fioretti, 2012).

La SBA, por lo tanto, establece un marco de trabajo robusto y riguroso, cuyas implicaciones son a la vez teóricas y prácticas. Desde el punto de vista teórico, la SBA le permite a los investigadores desarrollar descripciones, explicaciones, predicciones y teorías acerca de las organizaciones y sus procesos (Fioretti, 2012). Desde el punto de vista práctico, por otra parte, la SBA soporta el desarrollo de herramientas que soportan la toma de decisiones y la resolución de problemas tanto estratégicos como operativos. En esencia, la SBA permite crear *laboratorios virtuales* a través de los cuales comprender mejor las dinámicas organizacionales e intervenir en ellas.

Las aplicaciones de la SBA en la administración y los estudios organizacionales son diversas. Estas van desde la gestión del cambio y el aprendizaje organizacional, hasta la gestión de las cadenas de suministro y los mercados digitales. Algunos ejemplos de los temas y problemas que se han abordado con SBA incluyen la difusión de conocimiento (Wang et al., 2009) u opiniones (Rouchier et al., 2014), la emergencia de la identidad organizacional (Rousseau & Van der Veen, 2005), el diseño de estructuras organizacionales (Heyne & Mönch, 2011), la relación entre la toma de decisiones y el poder (Forkmann et al., 2012), el modelado de sistemas logísticos de transporte (Kavicka et al., 2007) o el rol de los influenciadores en los mercados digitales (Negahban & Yilmaz, 2014).

A pesar del amplio espectro de posibilidades que ofrece la SBA en la administración y los estudios organizacionales, su uso continúa sin ser ampliamente difundido ni adoptado. Por lo tanto, el potencial de este enfoque metodológico y tecnológico está lejos aún de ser completamente alcanzado. Dicho en otros términos, el uso de la SBA en el contexto organizacional continúa en su infancia.

Diseño evolutivo de innovaciones

La evolución natural es el proceso más sofisticado y robusto conocido en la naturaleza para la generación y diversificación de innovaciones. Desde la década de 1970, ingenieros y científicos de la computación se han basado en la selección natural darwiniana y en la genética para construir potentes algoritmos de búsqueda y optimización. El más común de ellos es el *algoritmo genético*.

El funcionamiento de un algoritmo genético se presenta en la figura 3. Supuesto un problema específico, se configura una población aleatoria de individuos en la que cada uno de ellos representa una solución (codificada en un cromosoma). Luego, mediante un mecanismo de selección se eligen aquellos individuos (soluciones) que mejor resuelven el problema con el fin de que se reproduzcan y generen nuevos individuos (hijos). La reproducción está mediada por dos operadores genéticos: la recombinación y la mutación. La primera permite crear los hijos a partir del cruce de la información contenida en los cromosomas de los padres. La segunda permite

la variación aleatoria de pequeñas cantidades de información contenidas en el cromosoma de los hijos. A partir de los padres seleccionados y de los hijos producidos se constituye una nueva población. Luego se repite el procedimiento. Tras varias generaciones, la población de individuos se va haciendo más apta para resolver el problema específico para el que el algoritmo fue diseñado.

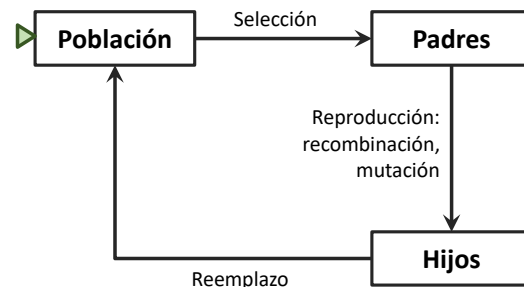


Figura 3. La lógica de los algoritmos genéticos

Fuente: elaboración propia

Bajo este enfoque es posible, por ejemplo, realizar la búsqueda de estrategias, diseñar productos u optimizar procesos. Desde un punto de vista práctico, los algoritmos genéticos han probado ser eficientes en situaciones en las que:

- El espacio de posibilidades es vasto y desconocido. Esto es, hay tantas soluciones o alternativas posibles que es imposible evaluarlas todas.
- Pueden existir soluciones que van más allá de lo que dicta el conocimiento (académico, ingenieril, administrativo) tradicional, la experiencia o la intuición: los algoritmos genéticos permiten evaluar alternativas contraintuitivas.
- La estructura del problema, las restricciones de diseño o los objetivos del problema son dinámicos.
- El tiempo para buscar soluciones (innovaciones) adecuadas es limitado.

Pues bien, el proceso de evolución artificial puede asimilarse con la búsqueda de innovaciones humanas. Sin embargo, a pesar de que el enfoque ha probado ser exitoso en distintos problemas industriales y organizacionales, poca atención se ha prestado a los algoritmos genéticos en el contexto de la innovación.

David E. Goldberg, reputado científico de la computación de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, fue quizás el primero en sugerir, hacia finales de la década de 1990, la conexión entre los algoritmos genéticos y la innovación humana. De acuerdo con Goldberg (2000), la relación es bidireccional. Por un lado, la innovación sirve como fuente de inspiración para pensar los algoritmos genéticos. Por otra parte, los algoritmos genéticos se han convertido en interesantes modelos computacionales de los procesos de innovación. Este campo, poco considerado en el contexto general de la innovación, puede denominarse *innovación computacional*, *innovación evolutiva*, *innovación diseñada* o *innovación guiada*.

Específicamente, Goldberg (2002) sostiene que en los pilares de la teoría del diseño de algoritmos genéticos pueden encontrarse los fundamentos para una teoría computacional constructiva de la innovación. Dicha teoría, a diferencia de las comprensiones cualitativas, empíricas e incluso anecdóticas de la innovación, permitiría (i) descifrar los mecanismos por los cuales la innovación es generada, (ii) estudiar los procesos asociados a la innovación de forma cuantitativa (lo que Goldberg denomina una *física de la innovación*, aunque a la luz de la metáfora evolutiva podría

ser legítimamente considerado como una *biología de la innovación*) y (iii) guiar procesos de innovación organizacional en cualquiera de las 12 vías mencionadas en el apartado 1.1.3. Como se aprecia, asumir un paradigma computacional para la innovación tiene implicaciones teóricas, pero principalmente prácticas.

1.1.4. Objetivos de la línea

Objetivo General

Generar conocimiento de calidad, pertinente y aplicable en el nivel *meso* y micro de la innovación que permita profundizar en la comprensión de las organizaciones y su entorno, impactando de manera favorable a la sociedad.

Objetivos Específicos

- Desarrollar investigación generadora de conocimiento en el área de innovación y entorno.
- Desarrollar investigación generadora de conocimiento en el área de gestión del conocimiento.
- Desarrollar investigación generadora de conocimiento en el área de proceso innovador.
- Desarrollar investigación generadora de conocimiento en el área de innovación y ventaja competitiva.

1.1.5. Proyectos de la línea

Título del proyecto	Nombre del investigador Principal	Vigencia	
Methodology and Social Epistemology in the Practice of Agent-Based Social Simulation, Part II	David Enrique Anzola Pinzón	Octubre de 2018	Octubre de 2020
Modelos y métodos bioinspirados para el diseño y la evaluación de innovaciones empresariales	Nelson Alfonso Gómez Cruz	Mayo de 2018	Mayo de 2020

1.1.6. Equipo de trabajo

- David Enrique Anzola Pinzon
- Nelson Alfonso Gómez Cruz

1.1.7. Trabajos publicados

Artículos

- Anzola, D. (2018). Knowledge Transfer in Agent-Based Computational Social Science. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*. <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2018.05.001>
- Anzola, D., & Rodríguez-Cárdenas, D. (2018). A Model of Cultural Transmission by Direct Instruction: An Exercise on Replication and Extension. *Cognitive Systems Research*, 52, 450–465.
- Anzola, D. (2018). Una Exploración Conceptual de la Formación de Patrones en Sistemas Sociales Autorganizados. *Ingeniería*, 23(1), 84–102.
- Gómez-Cruz, N. A., Loaiza, I., & Ortega, F. (2017). Agent-based simulation in management and organizational studies: a survey. *European Journal of Management and Business Economics*, 26(3), 313-328.
- Pulgarin, S. (2017). Innovation and the development of exportable supply in non-traditional goods: A Longitudinal study in a Latin American economy. *International Journal of Innovation Science*, 9(3), 265-282.
- Pulgarin, S., & Guerrero, N. (2017). Innovation and competitive advantage studies in Colombia: Findings from Organizational Culture and Business Model. *Revista Dimensión Empresarial*, 15(1), 15-25.
- Pulgarin, S., & Rivera, H. (2017). Business Coevolution: Considerations from the Mobile Telecommunication Sector in Latin America Economy. *Asian Social Science*, 13(4), 147-161.

Capítulos de libro

- Gómez-Cruz, N. A. (2017). Simulación basada en agentes: una metodología para el estudio de sistemas complejos. En Eschenhagen M. L., Velez, G. & Maldonado, C. E. (Eds.), *Construcción de problemas de investigación: diálogos entre el interior y el exterior*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Velasco, D., & Pulgarin, S. (2017). Developing innovation using entrepreneurial strategies: A case study of Colombian Coffee farmers. In: Sánchez-Barrios, L. & Gómez-Núñez, L., (Eds.), *Evolving Entrepreneurial Strategies for Self-Sustainability in Vulnerable American Communities*. Baltimore: IGI Global.
- Pulgarin, S., & Cardona, D. (2016). Hacia un modelo explicativo del proceso innovador para los centros de emprendimiento: una aproximación desde las exaptaciones y la diversidad. En: Montoya, L., Montoya, I., Valencia, A., (Eds). *Metáforas biológicas aplicadas a la organización II*. Bogotá: Editorial Universidad Nacional.

Ponencias

- Anzola, D. (2018). Causation in Agent-based Computational Social Science. En *Social Simulation Conference*. Estocolmo, Suecia.
- Anzola, D. (2018). De ‘emergencia’ a ‘mecanismos’ en la simulación social basada en agentes. En *IX encuentro interuniversitario sobre complejidad*. Bogotá, Colombia.
- Anzola, D. (2017). Una exploración metodológica de la emergencia y la auto-organización en sistemas complejos. En *VIII encuentro interuniversitario sobre complejidad*. Bogotá, Colombia.

- Gómez-Cruz, N. A. (2018). Emergencia y evolución de los mecanismos de procesamiento de información en sistemas vivos. En *IX Encuentro Interuniversitario sobre Complejidad*. Bogotá, Colombia.
- Gómez-Cruz, N. A., & Vargas, J. L. (2018). Biológica: estrategias computacionales y bioinspiradas para la gestión de las redes de suministro complejas. En *International Conference on Production Research ICPR Américas 2018*. Bogotá, Colombia.
- Gómez-Cruz, N. A. (2017). De las ideas olvidadas de A. Turing a la hipercomputación en colonias de hormigas. En *VIII Encuentro Interuniversitario sobre Complejidad*. Bogotá, Colombia.
- Gómez-Cruz, N. A. (2017). El computacionalismo natural y la lógica hipercomputacional de los sistemas vivos. En *VI Simposio Internacional del Círculo de Filosofía de la Naturaleza*. Bogotá, Colombia.
- Gómez-Cruz, N. A. (2016). Simulación basada en agentes: una metodología para el estudio de sistemas complejos. En *Seminario Latinoamericano: La producción de conocimiento en la Universidad*. Medellín, Colombia.
- Gómez-Cruz, N. A. (2016). Inteligencia de negocios adaptativa: un enfoque para acelerar la innovación empresarial. En *VI International conference on knowledge and innovation*. Bogotá, Colombia.
- Gómez-Cruz, N. A., & Anzola, D. (2017). Accelerating Business Innovation through Emergent Computation Models and Methods. En *Computer Management Science Conference*. Bergamo, Italia.

Proceedings

- Gómez-Cruz, N. A., & Vargas, J. L. (2018). Biológica: estrategias computacionales y bioinspiradas para la gestión de las redes de suministro complejas. In G. Mejía Delgadillo (Ed.), *Proceedings of the International Conference on Production Research, Americas Region*. Bogotá, Colombia. <https://icpramericas2018.wixsite.com/icpr/conference-proceedings>

1.1.8. Referencias

- Abernathy, W., & Clark, K. (1985). *Innovation: Mapping the Wind of Creative Destruction*. *Research Policy*, 14(1), 3-22.
- Anderson, J., & Markides, C. (2007). Strategic innovation at the base of the pyramid. *MIT Sloan Management Review*, 49(1). Disponible en <https://sloanreview.mit.edu/article/strategic-innovation-at-the-base-of-the-pyramid/>
- Anzola, D. (2015). *The Philosophy of Computational Social Science*. Doctoral Thesis, Department of Sociology, University of Surrey. Disponible en <http://eprints.surrey.ac.uk/id/eprint/808102>
- Bailer-Jones, D. (2003). When Scientific Models Represent. *International Studies in the Philosophy of Science*, 17(1), 59-74.
- Bandini, S., Manzoni, S., & Vizzari, G. (2009). Agent-based modeling and simulation. In R. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*. Berlin: Springer.
- Boccaro, N. (2010). *Modeling Complex Systems*. New York: Springer.
- Bunge, M. A., & Pons, H. (1999). *Las ciencias sociales en discusión. Una perspectiva filosófica*. Buenos Aires: Sudamericana.
- Burns, T., & Stalker, G. (1961). *The Management of Innovation*. London: Tavistock Publications.

- Chesbrough, H., & Rosenbloom, R. S. (2002). The role of the business model in capturing value from innovation: Evidence from Xerox Corporation's technology spin-off companies. *Industrial and Corporate Change*, 11(3), 529-555.
- Cioffi-Revilla, C. (2014). *Introduction to Computational Social Science*. Berlin: Springer.
- Comisión Europea. (1995). Libro Verde de la Innovación. *Comisión Europea*. Disponible en http://europa.eu/documentation/official-docs/green-papers/index_es.htm
- Cooke, P., Gómez, M., & Etxebarria, G. (1997). Regional innovation systems: Institutional and organisational dimensions. *Research Policy*, 26(4-5), 475-491.
- Drucker, P. F. (1985). *Innovation and Entrepreneurship Practice and Principles*. Nueva York: Harper & Row 1985.
- Epstein, J. (1999). Agent-Based Computational Models and Generative Social Science. *Complexity*, 4(5), 41-60.
- Epstein, J., & Axtell, R. (1996). *Growing Artificial Societies*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Escorsa, P., & Valls, J. (2003). *Tecnología e innovación en la empresa: Dirección y gestión*. Bogotá: Alfaomega.
- Fioretti, G. (2012). Agent-based simulation models in organization science. *Organizational Research Methods*, 16(2), 227-242.
- Forrester, J. (1971). *World Dynamics*. London: Pegasus.
- Forkmann, S., Wang, D., Henneberg, S., Naudé, P., & Sutcliffe, A. (2012). Strategic decision making in business relationships: A dyadic agent-based simulation approach. *Industrial Marketing Management*, 41(5), 816-830.
- Frommer, D. (2015). The iPad's first five years, in five charts. *Quartz*. Disponible en <https://qz.com/376041/the-ipads-first-five-years-in-five-charts/>
- Gera, S. (1998). The knowledge-based economy: Shifts in industrial output. *Canadian Public Policy*, 24(2), 179-181.
- Gilbert, N. (2000). The Simulation of Social Processes. In T. Coppock (Ed.), *Information Technology and Scholarship*. Oxford: Oxford University Press.
- Gilbert, N. (2008). *Agent-Based Models*. London: Sage.
- Gilbert, N. (2010). Editor's Introduction: Computational Social Science. In N. Gilbert (Ed.), *Computational Social Science*. London: Sage.
- Gilbert, N., & Troitzsch, K. (2005). *Simulation for the Social Scientist*. Glasgow: Open University Press.
- Gilman, G. (1971). Technological Innovation and Public Policy. *California Management Review*, 13(3), 13.
- Godin, B. (2015). Innovation: A Conceptual History of an Anonymous Concept (Intellectual History of Innovation No. 21). Disponible en <http://www.csiic.ca/PDF/WorkingPaper21.pdf>
- Godin, B. (2008). Innovation: The History of a Category. (Intellectual History of Innovation No. 1). Disponible en <http://www.csiic.ca/PDF/IntellectualNo1.pdf>
- Goldberg, D. E. (2000). The design of innovation: lessons from genetic algorithms, lessons for the real world. *Technological Forecasting and Social Change*, 64(1), 7-12.
- Goldstein, J. (1999). Emergence as a Construct: History and Issues. *Emergence*, 1(1), 49-72.
- Hamer, S. (2010). Developing an innovation ecosystem: A framework for accelerating knowledge transfer. *Journal of Management & Marketing in Healthcare*, 3(4), 248.
- Hartmann, S. (1996). The World as a Process: Simulations in the Natural and Social Sciences. In R. Hegselmann (Ed.), *Simulation and Modelling in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View*. Dordrecht: Kluwer.
- Helbing, D., & Balmelli, S. (2012). Agent-based modeling. In D. Helbing (Ed.), *Social Self-Organization: Agent-Based Simulations and Experiments to Study Emergent Social Behavior*. Berlin: Springer.
- Heyne, D., & Mönch, L. (2011). An agent-based planning approach within the framework of

- distributed hierarchical enterprise management. *Journal of Management Control*, 22(2), 205-236.
- Hidalgo, A., León, G., & Pavón, J. (2008). *La Gestión de la Innovación y la Tecnología en Las Organizaciones*. Madrid: Pirámide.
- Higgins, J. M. (1995). Innovation: The core competence. *Strategy & Leadership*, 23(6), 32-36.
- Humphreys, P. (2004). *Extending Ourselves*. Oxford: Oxford University Press.
- Kavicka, A., Klima, V., & Adamko, N. (2007). Simulations of transportation logistic systems utilising agent-based architecture. *International Journal of Simulation Modelling*, 6(1), 13-24.
- Keller, E. (2003). Models, Simulation, and “Computer Experiments.” In H. Radder (Ed.), *The Philosophy of Scientific Experimentation*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Lahovnik, M., & Breznik, L. (2014). Technological Innovation Capabilities as a Source of Competitive Advantage: A Case Study from the Home Appliance Industry. *Transformations in Business & Economics*, 13(2), 144-160.
- Lengnick-Hall, C. A. (1992). Innovation and competitive advantage: What we know and what we need to learn. *Journal of Management*, 18(2), 399-429.
- Lundvall, B. (1992). *National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. New York: Pinter Publisher.
- Luthans, F. (1968). Management knowledge: An untapped resource for academic administration. *Advanced Management Journal*, 33(2), 83-88.
- Macy, M., & Willer, R. (2002). From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling. *Annual Review of Sociology*, 28(1), 143-166.
- Moldaschl, M. (2010). Why innovation theories make no sense (Papers and Preprints of the Department of Innovation Research and Sustainable Resource Management, Chemnitz University of Technology, Faculty of Economics and Business Administration No 9/2010). Disponible en <https://EconPapers.repec.org/RePEc:zbw:tucdir:92010>
- Moulin, B., & Chaib-Draa, B. (1996). An Overview of Distributed Artificial Intelligence. In G. O’Hare & N. Jennings (Eds.), *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*. New York: Wiley.
- Mulgan, G., Tucker, S., Ali, R., & Sanders, B. (2007) Social Innovation: What it is, why it matters and how it can be accelerated. *Skoll Centre for Social Entrepreneurship*. Disponible en <http://eureka.sbs.ox.ac.uk/761/>
- Negahban, A., & Yilmaz, L. (2014). Agent-based simulation applications in marketing research: An integrated review. *Journal of Simulation*, 8(2), 129-142.
- Niosi, J. (1991). *Technology and national competitiveness*. Montreal: McGill-Queen's University Press.
- OCDE. (1993). *Manual de Oslo* (1a ed.). Paris: OECD Publishing.
- OCDE. (2005). *Manual de Oslo* (3a ed.). Paris: OECD Publishing.
- Parker, W. (2009). Does Matter Really Matter? Computer Simulations, Experiments, and Materiality. *Synthese*, 169(3), 483-496.
- Pulgarin, S., & Pineda, L. (2011). La innovación estratégica: su caracterización y un posible enfoque desde las ciencias de la complejidad. *Criterio Libre*, 9(15), 173-192.
- Robertson, T. S. (1967). The process of innovation and the diffusion of innovation. *Journal of Marketing*, 31(1), 14-19.
- Rouchier, J., Tubaro, P., & Emery, C. (2014). Opinion transmission in organizations: an agent-based modeling approach. *Computational and Mathematical Organization Theory*, 20(3), 252-277.
- Rousseau, D., & Van der Veen, A. (2005). The emergence of a shared identity: An agent-based computer simulation of idea diffusion. *The Journal of Conflict Resolution*, 49(5), 686-712.
- Sawyer, K. (2003). Artificial Societies: Multiagent Systems and the Micro-Macro Link in

- Sociological Theory. *Sociological Methods & Research*, 31(3), 325–363.
- Sawhney, M., Wolcott, R., & Arroniz, I. (2006). The 12 different ways for companies to innovate. *MIT Sloan Management Review*, 47(3), 75-81.
- Siegfried, R. (2014). *Modeling and Simulation of Complex Systems: A Framework for Efficient Agent-Based Modeling and Simulation*. Wiesbaden: Springer.
- Şener, S., & Saridoğan, E. (2011). The effects of science-technology-innovation on competitiveness and economic growth. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 24, 815-828.
- Schelling, T. (1971). Dynamic Models of Segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, 1(2), 143–186.
- Sokolowski, J., & Banks, C. (Eds.). (2009). *Principles of Modeling and Simulation: A Multidisciplinary Approach*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Iansiti, M., & Levien, R. (2005). *The Keystone Advantage*. Cambridge, MA: Harvard Business Review Press.
- Valdes, L. (2004). *Innovación: El Arte de Inventar el Futuro*. Bogotá: Norma.
- Wall, F. (2016). Agent-based modeling in managerial: An illustrative survey and study. *Review of Managerial Science*, 10(1), 135-193.
- Wang, J., Gwebu, K., Shanker, M. & Troutt, M. (2009). An application of agent-based simulation to knowledge sharing. *Decision Support Systems*, 46(2), 532-541.
- Winsberg, E. (2010). *Science in the Age of Computer Simulation*. Chicago: University of Chicago Press.
- Winsberg, E. (2015). Computer Simulations in Science. In Edward Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Summer 2015 Edition)*. Disponible en <http://plato.stanford.edu/archives/sum2015/entries/simulations-science/>
- Wolfram, S. (1994). *Cellular Automata and Complexity: Collected Papers*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Zhang, M. (Ed.). (2009). *Competitiveness and Growth in Brazilian Cities: Local Policies and Actions for Innovation*. Washington, D.C.: The World Bank.