

## **LA MODELACIÓN BASADA EN AGENTES COMO ESTRATEGIA METODOLÓGICA PARA EL ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN CADENAS PRODUCTIVAS AGRÍCOLAS**

**WALTER LUGO RUIZ CASTAÑEDA**

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Departamento de Ingeniería de la Organización, Colombia  
wlruizca@unal.edu.co

**SANTIAGO QUINTERO RAMÍREZ**

Universidad Pontificia Bolivariana, Escuela de Ingeniería, Colombia  
santiago.quintero@upb.edu.co

**JORGE ROBLEDO VELÁSQUEZ**

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Departamento de Ingeniería de la Organización, Colombia  
jrobledov@unal.edu.co

### **RESUMEN**

Construir la paz en Colombia requiere llevar tecnología y dinamizar la innovación de las cadenas productivas agropecuarias. Los recientes tratamientos en construcción de paz apuntan al campo como el origen y el principal escenario del conflicto armado. Desafortunadamente, el desarrollo tecnológico y la innovación no descuellan por su dinamismo en el campo colombiano. El enfoque dominante que ha buscado aportar a la solución de este problema en los países en desarrollo desde la postguerra, es el de la transferencia tecnológica. No obstante, los marcos analíticos y metodológicos desde los cuales se ha aplicado este enfoque han llevado a resultados muy limitados, debido, entre otros factores, a la heterogeneidad de actores, de sus características y de sus roles, en las redes responsables de la generación, difusión y uso del conocimiento. Esta heterogeneidad y, en definitiva, la complejidad de las redes de actores y relaciones se ha incrementado en las últimas décadas, con la aparición de nuevos actores y los roles cambiantes que deben asumir en dichas redes.

El propósito del presente trabajo es proponer una estrategia metodológica para contribuir a la solución de este problema, buscando la construcción de un modelo de transferencia tecnológica que reconozca las características y particularidades de los actores de cadenas productivas con diferentes dinámicas. Es de interés analizar el grado de madurez dispar de las cadenas y sus dinámicas contrastantes, abriendo mayores posibilidades de comprensión de los mecanismos explicativos de la transferencia tecnológica utilizando diferentes escenarios con un mismo modelo. La estrategia metodológica propuesta es la modelación basada en agentes, la cual permite aproximarse al conocimiento de las dinámicas tecnológicas de las cadenas y facilita la realización de experimentos del tipo "¿qué pasaría sí?", que admiten la identificación de puntos de apalancamiento para mejorar el desempeño de las cadenas y orientar la formulación de políticas.

**Palabras clave:** Transferencia Tecnológica, Cadenas Productivas Agropecuarias, Estrategia metodológica, Modelación Basada en Agentes.

## 1. INTRODUCCIÓN

La literatura (Dosi, 1982; OECD, 1992; Imai & Baba, 1991; Senker & Faulkner, 1993; Pitt, 2000; Smith & Sharif, 2007) reconoce la dificultad de la transferencia tecnológica especialmente por el componente de conocimiento tácito de la tecnología, donde las capacidades de los agentes que están involucrados en el proceso de transferencia son un factor clave para su éxito. El sector agropecuario no ha sido ajeno a esta dificultad, por ejemplo: al identificar la lentitud en la transferencia tecnológica, así como la necesidad urgente de hacerlo con tecnologías prometedoras para el sector (Velasco-García & Mottram, 2003; Waller, 1997; Llewellyn, 2007); al intentar combinar el conocimiento ancestral y las nuevas tecnologías (Fowler & Rockstrom, 2001); al querer utilizar información de los resultados de investigación para producir nuevas variedades de plantas comerciales (Zhang, Creelman, & Zhu, 2004); mejorar la conservación de los productos (McDonald & Sun, 2000; Ozdemir & Floros, 2004); o incluso discutiendo el modelo de transferencia tecnológica utilizado, ya sea de enfoque *Top-Down* o *Bottom-Up* (Black, 2000; Pannell, y otros, 2006; Belay & Abebaw, 2004; Moore, Severn, & Millar, 2006; Sneddon, Soutar, & Mazzarol, 2011; Hennessy & Heanue, 2012; Coudel, Tonneau, & Rey-Valette, 2011; Kalra, Anil, Tonts, & Siddique, 2013; Anil, Tonts, & Siddique, 2015).

Ahora, desde el punto de vista de la formulación de políticas en Colombia, encaminadas a fomentar la transferencia tecnológica en el sector agroindustrial, se encuentra que el abordaje de este problema se ha hecho desde un enfoque *top-down*, como se puede evidenciar en la Ley 29/1990 (Congreso de la República, 1990), el Decreto 585/1991 (Ministro de Gobierno de la República de Colombia, 1991), el Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (Pronatta, 1995-2002), la Ley 607/2000 (Congreso de la República, 2000), el Plan estratégico del Programa de CyT Agropecuarias 2005-2015 (COLCIENCIAS, 2005), Visión Colombia 2019 (DNP, 2007), la Ley 1286/2009 (Congreso de la República, 2009), el documento Conpes 3582/2009 (DNP, 2009), la Ley 1450/2011 del PND 2010-2014 (Congreso de la República, 2011), el Proyecto Transición de la Agricultura (PTA) del MADR (2006-2012) (Uribe, Fonseca, Bernal, Contreras, & Castellanos, 2011), entre otros, propiciando la implantación de un modelo que no ha dado los resultados esperados, tal como lo evidencia el diagnóstico del sector (CORPOICA, 2015).

El carácter del problema de la transferencia tecnológica es de tipo organizacional y sistémico y su solución demanda investigaciones socioeconómicas que aporten conocimiento sobre los agentes de las cadenas productivas, sus estrategias y reglas para tomar decisiones, sus relacionamientos, sus capacidades innovadoras (de generación, difusión y uso de conocimiento y tecnología), sus estructuras de gobernanza, las políticas y normas que regulan su conducta y otros factores que, preferiblemente, deben ser abordados desde marcos teóricos y aproximaciones metodológicas como los que se plantean en este trabajo, donde el modelo de transferencia tecnológica trascienda la de la simple transferencia de paquetes tecnológicos a un enfoque más sistémico, el cual debe de tener un carácter sectorial y regional que se combinan desde una perspectiva rural.

Uno de los mayores retos de estas cadenas productivas es asegurar la participación de pequeños y medianos productores en un contexto de agentes socioeconómicos múltiples y heterogéneos. Sin

embargo, este no es un problema excepcional; en efecto, asegurar la participación de este tipo de productores en el desarrollo agropecuario sigue siendo uno de los principales objetivos de la política nacional de países en desarrollo y un tema de interés de las agencias multilaterales. Sin embargo, consolidar la posición de pequeños productores en trayectorias sostenibles de desarrollo continúa siendo una tarea difícil (Black, 2000). Para ello, se sabe que las dinámicas de innovación juegan un papel fundamental, al asegurar la generación de conocimiento pertinente, su difusión entre los agentes del sector productivo y su aplicación exitosa en la producción y comercialización de productos competitivos en el mercado mundial.

A pesar de los avances del conocimiento y la intervención en este frente, todavía se observa una pobre comprensión de las dinámicas innovadoras y de la articulación entre crecimiento económico, desarrollo de capacidades de innovación y desarrollo social. Este fenómeno, válido para muchos países en vía de desarrollo, es particularmente vigente en Colombia. En este sentido, es importante avanzar en nuestro conocimiento de las características de los sistemas rurales de innovación en Colombia y su relación con el desempeño productivo y comercial de las cadenas productivas rurales. Eventualmente, este conocimiento será fundamental para formular e implementar políticas públicas y estrategias organizacionales que redunden en un mejor funcionamiento de las redes de agentes y su desempeño exportador.

Finalmente, se busca que la estrategia metodológica planteada haga aportes para el desarrollo conceptual y teórico de la agenda que a nivel internacional se viene desarrollando en torno a la transferencia tecnológica, que busca modelos que favorezcan el desarrollo de las cadenas productivas agropecuarias (Black, 2000; Pannell, y otros, 2006; Belay & Abebaw, 2004; Moore, Severn, & Millar, 2006; Sneddon, Soutar, & Mazzarol, 2011; Hennessy & Heanue, 2012; Coudel, Tonneau, & Rey-Valette, 2011; Anil, Tonts, & Siddique, 2015). El foco de atención de la propuesta será las cadenas productivas de productos de importancia para la política agropecuaria de regiones específicas (CORPOICA, s.f.). Se propone la selección de cadenas de desempeño contrastante, para las cuales el conocimiento comparativo de las dinámicas de transferencia tecnológica que se ha dado en ellas, ayude a comprender el estado y las dinámicas innovadoras de las cadenas y a arrojar luces sobre los puntos de apalancamiento que pueden contribuir a desempeños diferenciales entre cadenas productivas.

Inicialmente, en este trabajo se realiza un marco conceptual de la transferencia tecnológica desde una perspectiva sistémica. Después se justifica el porqué de la aproximación metodológica propuesta de la MBA, para finalmente presentar las conclusiones relevantes del trabajo.

## **2. TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA DESDE UNA PERSPECTIVA SISTÉMICA**

Para asumir una perspectiva socioeconómica, es importante utilizar, de manera central, propuestas conceptuales y teóricas enmarcadas en los estudios de la transferencia tecnológica desde una perspectiva sistémica, en la cual los conceptos clave son los de “sistema sectorial de innovación (SSI)”, “sistema regional de innovación (SRI)” y “sistema complejo adaptable (SCA)”.

En particular, un sistema de agentes socioeconómicos que interactúan para producir y comercializar un producto puede ser aproximado como SCA, para estudiar las características que ayudan a explicar algunos de sus comportamientos y desempeños. Este es uno de los planteamientos que hace el presente trabajo para estudiar las cadenas de producción de productos de interés analítico e importancia estratégica en determinadas regiones colombianas. La operacionalización y aplicación de este concepto se hace en esta propuesta mediante la MBA.

Las relaciones son fundamentales para favorecer la transferencia tecnológica que tiene como fin propiciar la innovación, la cual puede entenderse como un fenómeno social en el cual las personas (o, en general, los actores sociales) producen e intercambian conocimiento, lo adoptan y usan a través de sus interacciones (Allen, Hyman, & Pinckney, 1983; Douthwaite, 2002). En este sentido, la innovación surge en el contexto de un conjunto de agentes socioeconómicos o actores que se vinculan entre sí formando redes de relaciones (Conway & Steward, 1998).

Por su parte, la perspectiva sistémica de la innovación resulta de una evolución de los modelos para estudiar la innovación, desde los primeros modelos lineales de empuje tecnológico (*Technology Push*) y jalonamiento de la demanda (*Demand Pull*), pasando por modelos más elaborados que buscan representar la articulación y la integración del trabajo, hasta los actuales modelos sistémicos y de trabajo en red (Rothwell, 1992). Aunque ha habido algunas propuestas por reconocer nuevas generaciones de modelos conceptuales de la innovación (Nobelius, 2004), estos siguen siendo, en lo fundamental, modelos de carácter sistémico.

El desarrollo teórico y conceptual en la perspectiva de los sistemas de innovación ha sido influenciado por diferentes escuelas de pensamiento. Las principales contribuciones a la comprensión de este enfoque han venido de la economía evolutiva (Nelson & Winter, 1982), la economía institucional (Nelson, 1992), las nuevas economías regionales (Storper, 1995), la economía del aprendizaje (Foray & Lundvall, 1996; Lundvall & Johnson, 1994), la economía de la innovación (Dosi, Freeman, Nelson, Silverberg, & Soete, 1998) y la teoría de red (Hakansson, 1987).

Con base en estas contribuciones, en la última década se ha avanzado en la construcción de un marco analítico más apropiado, particularmente respecto a los determinantes de la actividad innovadora en los sistemas de innovación. No obstante, todavía este conocimiento es limitado, específicamente frente a aquellos fenómenos llamados emergentes, producto de la interacción<sup>1</sup> y cooperación entre agentes del sistema. El conocimiento, el aprendizaje y la innovación son los factores más importantes para la competitividad global en una economía basada en el conocimiento (Lundvall B. Å., 1992). En estos sistemas, el aprendizaje se describe como un proceso localizado; de igual forma, la innovación se entiende como un proceso de aprendizaje interactivo, favorecido por la relación y cercanía de sus agentes (Asheim & Isaksen, 2002; Lundvall & Johnson, 1994), quienes presentan heterogeneidad y aportan variedad así como especialización a un territorio.

---

<sup>1</sup> Estas interacciones y sus efectos sobre la innovación, dieron lugar al concepto de Sistema Nacional de Innovación (SNI), introducido por Freeman (1987) y desarrollado posteriormente por Lundvall (1992) y Nelson (1993).

No obstante, los avances en este tema, los sistemas de innovación y sus diferentes enfoques analíticos no están exentos de problemas conceptuales y metodológicos; de igual forma, existen evidencias de críticas a las diferentes corrientes que abordan el estudio de la innovación desde esta perspectiva, específicamente cuando se emplea de modo impreciso el término “sistema”. Según Nelson (1992, p. 365), se entiende por sistema de innovación el “conjunto de actores institucionales que, conjuntamente, desempeñan un papel principal al influir en el proceso innovador” (traducción propia); implícitamente, el término “sistema” no significa para el autor algo diseñado y construido conscientemente, ni siquiera que las instituciones implicadas trabajen conjuntamente de forma coordinada y armónica.

En este contexto, muchos estudios se han concentrado en la estructuración de un marco teórico que facilite el análisis de los procesos de innovación y de los principales factores responsables de su dinámica. Según Edquist (2001, pág. 2), un sistema de innovación está constituido por “aquellos factores económicos, sociales, políticos, organizativos e institucionales más importantes que influyen en el desarrollo, difusión y uso de la innovación” (traducción propia). Lundvall, Johnson, Andersen y Dalum (2002, pág. 222) agregan que los sistemas de innovación emergen “como resultado de un juego schumpeteriano donde diferentes agentes siguen estrategias diferentes en términos de innovación, imitación, adaptación, etc.” (traducción propia).

Es claro que un sistema de innovación está compuesto por un conjunto de componentes o agentes (personas, organizaciones e instituciones) claramente definidos por un límite que los distingue del ambiente, que pueden conformar sub-sistemas, que interactúan entre sí y con el ambiente y cuyo comportamiento produce un determinado resultado de interés. Para que las relaciones entre agentes sean sistémicas, debe haber cierto grado de interdependencia operativa y de gestión (Mostafavi, Abraham, DeLaurentis, & Sinfield, 2011), características definidas por Maier (1998) como características distintivas, como lo son también la distribución geográfica, el comportamiento emergente, la evolución y el desarrollo.

La literatura ha identificado cuatro tipos de sistemas de innovación: los sistemas nacionales (Freeman, 1987; Nelson, 1992), los SRI (Cooke, Gomez Uranga, & Etxebarria, 1997), los SSI (Breschi & Malerba, 1997) y, por último, los sistemas tecnológicos (Carlsson, Jacobsson, Holmén, & Rickne, 2002); en la actualidad, los sistemas tecnológicos presentan estudios de gran importancia en algunas áreas específicas del conocimiento especializado como, por ejemplo, la industria farmacéutica y la biotecnología (Malerba & Orsenigo, 2002; Pyka & Saviotti, 2005) y la nanotecnología (Pandza & Holt, 2007).

En este proyecto se adopta la perspectiva de los SSI y SRI que se combinan desde una perspectiva rural para aproximarse al estudio de las cadenas productivas de interés comparativo en regiones colombianas. La definición y características más aceptadas de sistema sectorial de innovación (y producción) son las propuestas por Malerba:

...a set of new and established products for specific uses and the set of agents carrying out market and non-market interactions for the creation, production and sale of those products. Sectoral systems have a knowledge base, technologies, inputs and demand. The agents are

individuals and organizations at various levels of aggregation, with specific learning processes, competencies, organizational structure, beliefs, objectives and behaviors. They interact through processes of communication, exchange, co-operation, competition and command, and their interactions are shaped by institutions. A sectoral system undergoes processes of change and transformation through the co-evolution of its various elements (Malerba, 2002, pág. 248).

En cuanto al enfoque de SRI, se centra en el perfil local de las interacciones, reconociendo la proximidad como un factor que facilita el relacionamiento. De igual manera, esta perspectiva toma fuerza al tener en cuenta las diferencias entre países y regiones en cuanto a tamaño y dotaciones humanas, sociales, financieras y físicas, que han seguido diferentes trayectorias tecnológicas y estrategias de intervención política (Padilla-Pérez, Vang, & Chaminade, 2009). Este sistema está compuesto por otros subsistemas (Doloreux, 2002): firmas (explotadores), instituciones (normas que regulan el comportamiento del SRI), infraestructura de conocimiento (exploradores), y orientación política (destinada a mejorar el desempeño innovador del SRI), quienes definen un nivel de agregación meso que puede mediar entre las dinámicas micro y macro (Lundvall, Vang, Joseph, & Chaminade, 2009). El buen funcionamiento del SRI se identifica con un alto nivel de capacidades tecnológicas de las organizaciones que conforman el sistema, la buena interacción entre los subsistemas y la intensidad, densidad y amplitud de sus flujos con el resto del mundo (Padilla-Pérez, Vang, & Chaminade, 2009).

En este sentido, las cadenas agropecuarias representadas como sistemas sectoriales de innovación sectorial con carácter regional, pueden entenderse como el conjunto de agentes que establecen interacciones de todo tipo (compra-venta, financiación, difusión, transferencia, competencia, cooperación, asistencia, etc.) para el desarrollo, producción y venta del respectivo producto. Es importante anotar que los conceptos de “difusión” y “transferencia” tecnológicas quedan subsumidos en el concepto de sistema de innovación, como tipos de actividades relacionales que los agentes del sistema pueden llevar a cabo para el desarrollo, producción y venta del producto.

En tal contexto, las definiciones, clasificaciones y criterios aplicables a la conceptualización de la innovación que se adoptan en el trabajo corresponden a las propuestas del Manual de Oslo (OCDE, EUROSTAT, 2005).

Siendo la innovación un fenómeno complejo, la perspectiva que adopta esta propuesta para aproximarse al estudio de las cadenas productivas agropecuarias corresponde a la de un sistema complejo adaptable, que hace referencia a sistemas no lineales que exhiben comportamientos no solo dinámicos a partir de la diversidad y agregación de sus agentes, sus múltiples conexiones mutuas y relaciones con el ambiente, sino también con la capacidad de cambiar y aprender de la experiencia (Holland, 2004).

La estrategia escogida para estudiar las cadenas productivas agropecuarias como sistemas de innovación es la de modelación y simulación, en tanto que dicha estrategia ha sido reconocida como exitosa para aproximarse al estudio de fenómenos complejos de carácter socio-técnico (Axelrod, 1997). En particular, se proponen los modelos basados en agentes, como la alternativa

más adecuada cuando se trata de modelar y simular sistemas socio-técnicos complejos (Axelrod & Tesfatsion, 2006; Dawid, 2006).

Finalmente, es importante anotar que la propuesta busca también posibilitar el enriquecimiento de este marco teórico con aportes al desarrollo del concepto de “innovación inclusiva”, continuando con los esfuerzos que en esta dirección están haciendo Ramírez, Bernal, Clarke y Hernández (2014) a partir de sus estudios sobre la palma de aceite en Colombia y el mango en el Perú. El concepto de innovación inclusiva y sus desarrollos teóricos son altamente relevantes para entender los fenómenos socioeconómicos que tienen el potencial de integrar a pequeños y medianos productores rurales de nuestros países a las dinámicas de innovación (OECD, 2013; Heeks, Amalia, Kintu, & Shah, 2013).

### **3. PROPUESTA DE ESTRATEGIA METODOLÓGICA**

Antes de exponer la aproximación metodológica, es importante resaltar algunos antecedentes que tienen los autores al respecto. Los autores han participado en dos tesis de doctorado que exploran el impacto de los intermediarios en los sistemas de innovación (Ruiz, 2013) y los procesos de aprendizaje en los sistemas regionales de innovación (Quintero, 2012), ambas desde una estrategia de modelación basada en agentes. Este tipo de modelos han demostrado tener un gran potencial para analizar la transferencia tecnológica y el papel de los intermediarios en las dinámicas de innovación de los sectores productivos (Ruiz & Robledo, 2013; Ruiz, Quintero, & Robledo, 2015) y del aprendizaje y des-aprendizaje de los agentes de los sistemas regionales de innovación (Quintero & Robledo, 2012; Quintero & Robledo, 2013; Quintero, Ruiz, & Robledo, 2015).

Particularmente, la modelación basada en agentes ha demostrado ser útil para analizar la transferencia tecnológica y el papel de los intermediarios en los sistemas rurales de innovación; en esta dirección, el autor principal validó exitosamente su modelo con base en el estudio de las Fundaciones Produce mexicanas, con la colaboración y a partir de los trabajos de los investigadores del Área de Economía Industrial e Innovación de la Universidad Autónoma Metropolitana de México en Xochimilco.

Ahora, metodológicamente hablando, se propone un abordaje que tenga componentes tanto empíricos como de desarrollo teórico. El componente empírico se debe basar en la recolección de información sobre los agentes de las cadenas productivas de interés analítico comparativo en la región de interés, que permita parametrizar los diferentes escenarios del modelo. El componente de desarrollo teórico se basa en la propuesta de un modelo de transferencia tecnológica que se puede simular utilizando la modelación basada en agentes, el cual debe ser validado, con el fin de representar las dinámicas de las cadenas productivas en estudio. Se propone que los resultados alimenten una consulta a expertos cuyo objetivo sea producir orientaciones de política pública regional y estrategia sectorial en materia de innovación en sectores rurales.

Para la elaboración del modelo se propone seguir una metodología adaptada de los pasos del proceso de modelación de sistemas complejos de Sterman (2000):

*Fase I: Definición del problema.* Para el desarrollo de esta etapa, es necesario definir un propósito claro para enfocar la investigación. El proceso de construcción de un modelo comienza con la identificación de comportamientos problemáticos los cuales presentan variaciones a lo largo del tiempo.

*Fase II: Conceptualización del sistema.* En esta etapa se definen los distintos elementos que integran la descripción del sistema, así como las influencias que se producen entre ellos. Se define además la frontera del sistema, es decir, qué es considerado endógeno y qué es exógeno.

*Fase III: Formulación del modelo.* En esta etapa son especificadas las relaciones en el modelo, y también se especifican los supuestos y reglas de decisión. Luego se estiman cuáles van a ser los parámetros y sus condiciones iniciales. Y antes de que el modelo pueda ser utilizado como herramienta de análisis éste debe ser verificado.

*Fase IV: Validación del modelo.* Es el proceso que establece confianza en la validez y utilidad del modelo. En esta etapa se ponen a prueba los supuestos y reglas de decisión del modelo, así como el comportamiento del modelo. La validación del modelo conceptual se interesa en garantizar que el modelo este correctamente sustentado, especialmente en sus supuestos y reglas de decisión. Por otra parte, la validación operacional busca que el comportamiento resultante capture la dinámica del sistema real estudiado.

*Fase V: Análisis del comportamiento del modelo.* Se realizan experimentos del tipo “¿Qué pasaría si?”, como medio para un mejor entendimiento de las cadenas productivas estudiadas y localizar los parámetros más sensibles en el modelo, así como los posibles efectos de las decisiones en política.

Esta aproximación metodológica obedece a que, al analizar las características que se han reportado para los sistemas de innovación, se concluye que la mejor opción para su estudio es utilizar una estrategia metodológica de MBA, por su aplicación en amplios rangos de abstracción, detalle, nivel y categoría, como argumentan Borshchev y Filippov (2004). Además, es una herramienta potente para obtener información de la dinámica del sistema, que se ve afectada cuando los agentes son heterogéneos y el relacionamiento en la red tiene sus características propias (Rahmandad & Sterman, 2008). Utilizando la MBA, se puede observar el comportamiento de diferentes tipos de redes al asignarles ciertos atributos a los agentes como, por ejemplo, características exploradoras, explotadoras y de relacionamiento.

Otra de las razones para escoger la MBA es su utilización de una aproximación *bottom-up*, dada su capacidad de modelar complejos fenómenos emergentes, tales como la difusión de una innovación en un sistema socio-económico (Kiesling, Günther, Stummer, & Wakolbinger, 2012). Este enfoque *bottom-up* “puede incorporar fácilmente a conductores de nivel micro de adopción, la racionalidad limitada, la información imperfecta y la heterogeneidad de los individuos en términos de atributos, comportamientos y vínculos en la red social” (Kiesling et al., 2012, págs. 192, traducción propia). En este caso, se considera al agente como una entidad de toma de decisiones autónomas, que interactúa con otros agentes y con su ambiente dadas sus normas de

comportamiento, aprendizaje y conducta adaptativa (Kiesling et al., 2012). Con respecto a las topologías de la red social, los lazos sociales fuertes y débiles, las externalidades de red, la publicidad y el boca a boca positivo y negativo, la MBA ha producido ideas teóricas sobre estos aspectos al avanzar en la comprensión de la difusión de la innovación (Kiesling et al., 2012).

El componente de desarrollo teórico de la estrategia metodológica se puede catalogar como un análisis exploratorio de la dinámica de un sistema de innovación con base en modelación y simulación. En este sentido, el modelo que se utilice es clave para el logro de los objetivos. Sin embargo, como toda metodología, la estrategia de modelación y simulación tiene potencialidades y limitaciones, por lo que es siempre importante acotar sus alcances.

Un aspecto importante del alcance tiene que ver con los propósitos particulares de los modelos. Como Serman (2000) lo recalca, no se puede pretender que los modelos representen todos los posibles aspectos de análisis de un fenómeno complejo. En este sentido, los modelos responden a intenciones particulares de indagación sobre el objeto de estudio. En el presente caso, se identifican dos aspectos de interés para el desarrollo del modelo y el análisis de las cadenas productivas: a) el papel de los intermediarios y de otros agentes clave del sistema de cara a la transferencia tecnológica de la cadena productiva; y b) el aprendizaje responsable de la adaptación y evolución del sistema. En estos dos temas de interés analítico, se busca identificar los factores y dinámicas que inciden en el desarrollo de la cadena productiva mediante la MBA.

Para tener una idea más clara de las posibilidades que ofrecen los modelos de simulación basados en agentes, estos permiten explorar efectos en las cadenas productivas al afectar parámetros tales como: el número de oportunidades de innovación del entorno competitivo, pudiendo simular potencialidades del mercado, tanto en tamaño como en especificaciones de las necesidades de este; tasa de “nacimiento” de las oportunidades de innovación, que representa el dinamismo de los mercados de las cadenas productivas; número de agentes, se puede simular la densidad de productores y otros agentes de la cadena, así como sus características, específicamente sus capacidades; tasa de nacimiento de los agentes, representando el emprendimiento de la cadena productiva; factor de aprendizaje y desaprendizaje, el cual simula los patrones de aprendizaje o desaprendizaje de la cadena, de acuerdo al contexto que propicie o restrinja la velocidad del mismo; costos de transacción, los cuales dependen de las capacidades de los agentes para relacionarse y al capital relacional que haya en el contexto; los ingresos, los cuales dependen del valor que tienen en el mercado los atributos de los productos realizados por la cadena productiva; los costos, los cuales dependen de la disponibilidad de los recursos necesarios para que los agentes desarrollen sus capacidades; ciclo de vida de los productos, tiempo en que los agentes pueden explotar los nuevos productos o sus mejoras que introduce en el mercado; entre otros.

## **CONCLUSIONES**

Gracias a las características de la MBA, la estrategia metodológica que se propone permite explorar el efecto de las políticas de CTi en el desempeño innovador y económico de las cadenas productivas. El modelo propuesto pretende ser una herramienta de apoyo a la formulación de

políticas y toma de decisiones que permitan mejorar la institucionalidad del sistema nacional de innovación agropecuaria, con foco en las dinámicas de transferencia tecnológica que aumenten el desempeño innovador y económico de las cadenas productivas. Esto se puede lograr mediante la experimentación con diferentes escenarios del tipo “¿qué pasaría sí?”, que permitirían identificar puntos de apalancamiento en sistemas complejos adaptables, pudiendo aumentar las probabilidades de obtener mejores desempeños del sistema.

Desde el punto de vista del conocimiento, la MBA permitirá operacionalizar y poner a dialogar marcos teóricos que actualmente no lo hacen: primero, el de inversión en I+D, abordado desde un enfoque lineal, orientado principalmente desde una mirada *technology-push*; segundo, el de la mirada sistémica, donde el relacionamiento y el aprendizaje es necesario para que se dé la innovación; y, por último, el de la inclusión, donde la innovación nace desde las necesidades más apremiantes de las comunidades. De esta forma se espera desarrollar una plataforma metodológica de análisis para hacer contribuciones que faciliten la toma de decisiones en política agropecuaria, especialmente en el entorno colombiano, buscando superar las limitaciones de marcos analíticos y metodológicos que han sido insuficientes para abordar la complejidad de las dinámicas de la producción rural.

Como perspectivas futuras inmediatas de la estrategia metodológica propuesta, se buscará aplicar tal estrategia en las cadenas productivas del café y el aguacate en la región colombiana de Antioquia y, posteriormente, en otras cadenas productivas de importancia estratégica para ciertas regiones del país como son las de banano, flores, papa y cacao. De esta forma se espera validar la propuesta y hacer aportes a la toma de decisiones de política pública y formulación de estrategias sectoriales.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a Colciencias, el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia, por la financiación del proyecto, en el marco de la convocatoria 745, que ha hecho posible el trabajo aquí presentado.

## **REFERENCIAS**

- Allen, T., Hyman, D., & Pinckney, D. (1983). Transferring technology to the small manufacturing firm: a study of technology transfer in 3 countries. *Research Policy*, 12(2), 199-211.
- Anil, B., Tonts, M., & Siddique, K. H. (2015). Strengthening the performance of farming system groups: Perspectives from a Communities of Practice framework application. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 22(3), 219-230.
- Asheim, B., & Isaksen, A. (2002). Regional Innovation Systems: The Integration of Local "Sticky" and Global "Ubiquitous" Knowledge. *Journal of Technology Transfer*, 27, 77-86.
- Axelrod, R. (1997). Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences. In R. Conte, R. Hegselmann, & P. Terna (Eds.), *Simulating Social Phenomena* (pp. 21-40). Berlin: Springer.

- Axelrod, R., & Tesfatsion, L. (2006). A Guide for Newcomers to Agent-Based Modeling in the Social Sciences. In L. Tesfatsion, & K. L. Judd (Eds.), *Handbook of Computational Economics* (Vol. 2, pp. 1647-1659). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier/North-Holland.
- Belay, K., & Abebaw, D. (2004). Challenges facing agricultural extension agents: A case study from South-western Ethiopia . *African Development Review*, 16(1), 139-168.
- Black, A. W. (2000). Extension theory and practice: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 40(4), 493-502.
- Borshchev, A., & Filippov, A. (2004). From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Model: Reasons, Techniques, Tools. *The 22nd International System Dynamics Conference*. Oxford.
- Breschi, S., & Malerba, F. (1997). Sectorial Innovations Systems: Technological regimes, schumpeterian dynamics, and spatial boundaries. En C. Edquist, *Systems of Innovation: Technologies Institutios and Organizations*. (págs. 130 - 156). London: Printer, London and Washignton.
- Carlsson, B., Jacobsson, S., Holmén, M., & Rickne, A. (2002). Innovation Systems: analytical and methodological issues. *Research Policy*, 31, 233-245.
- COLCIENCIAS. (2005). *Plan Estratégico Programa Nacional de Ciencia y Tecnologías Agropecuarias* . Bogotá: Ochoa Impresores.
- Congreso de la República. (1990). Ley 29 de 1990. *Por la cual se dictan disposiciones para el fomento de la investigación científica y el desarrollo tecnológico y se otorgan facultades extraordinarias*. Bogotá.
- Congreso de la República. (2000). Ley 607 de 2000. *Por medio de la cual se modifica la creación, funcionamiento y operación de las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria, UMATA, y se reglamenta la asistencia técnica directa rural en consonancia con el SNCyT*. Bogotá.
- Congreso de la República. (2009). Ley 1286 de 2009. *Por la cual se modifica la Ley 29 de 1990, se transforma a Colciencias en Departamento Administrativo, se fortalece el SNCTel en Colombia y se dictan otras disposiciones*. Bogotá.
- Congreso de la República. (2011). Ley 1450 de 2011. *Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014*. Bogotá.
- Conway, S., & Steward, F. (1998). Mapping innovation networks. *International Journal of Innovation Management*, 2(2), 223-254.
- Cooke, P., Gomez Uranga, M., & Etxebarria, G. (1997). Regional innovation systems: Institutional and organisational dimensions. *Research Policy*, 26, 475 - 491.

- CORPOICA. (2015). *Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sector Agropecuario (Diagnóstico para la Misión para la Transformación del Campo)*. Bogotá D.C.
- CORPOICA. (s.f.). *Siembra*. Recuperado el 16 de 05 de 2016, de <http://www.siembra.gov.co/>
- Coudel, E., Tonneau, J. P., & Rey-Valette, H. (2011). Diverse approaches to learning in rural and development studies: Review of the literature from the perspective of action learning. *Knowledge Management Research and Practice*, 9(2), 120-135.
- Dawid, H. (2006). Agent-Based Models of Innovation and Technological Change. In L. Tesfatsion, & K. L. Judd (Eds.), *Handbook of Computational Economics* (Vol. 2, p. Chapter 25). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier/North-Holland.
- DNP. (2007). Aprovechar las potencialidades del campo, 2019 Visión Colombia II Centenario. *Propuesta para discusión*.
- DNP. (2009). CONPES 3582 de 2009. *Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación*. Bogotá.
- Doloreux, D. (2002). What we should know about regional system of innovation. *Technology in Society*, 24(3), 243-263.
- Dosi, G. (1982). Technological Paradigms and Technological Trajectories. *Research Policy*, 11, 147-162.
- Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G., & Soete, L. (1998). *Technical Change and Economic Theory*. Printer Publishers, London and New York.
- Douthwaite, B. (2002). *Enabling innovation: a practical guide to understanding and fostering technological innovation*. London: Zed Books.
- Edquist, C. (2001). The Systems of Innovation Approach and Innovation Policy: An account of the state of the art. *DRUID Conference* (págs. 1 - 24). Aalborg: National Systems of Innovation, Institutions and Public Policies.
- Foray, D., & Lundvall, B.-A. (1996). *The Knowledge - based Economy: From the Economics of Knowledge to the learning Economy*. (O. Documents, Ed.) Paris: Employment and Growth in the Knowledge-based Economy.
- Fowler, R., & Rockstrom, J. (2001). Conservation tillage for sustainable agriculture: An agrarian revolution gathers momentum in Africa. *Soil and Tillage Research*, 61(1-2), 93-107.
- Freeman, C. (1987). *Technology policy and economic performance; Lessons from Japan*. London, New York: Frances Printer Publishers.
- Hakansson, H. (June de 1987). Industrial technology development: A network approach . *Journal of Product Innovation Management*, 4(2), 163-165.

- Heeks, R., Amalia, M., Kintu, R., & Shah, N. (2013). *Inclusive Innovation: Definition, Conceptualisation and Future Research Priorities*. Manchester (UK): Centre for Development Informatics, Institute for Development Policy and Management, SEED, University of Manchester.
- Hennessy, T., & Heanue, K. (2012). Quantifying the Effect of Discussion Group Membership on Technology Adoption and Farm Profit on Dairy Farms. *Journal of Agricultural Education and Extension*, 18(1), 41-54.
- Holland, J. H. (2004). *El Orden Oculto: De cómo la adaptación crea la complejidad*. (E. Torres-Alexander, Trans.) México, D.F., México: Fondo de Cultura Económica.
- Imai, K. J., & Baba, Y. (1991). Systemic Innovation and Cross-Border Networks: Transcending Markets and Hierarchies to Create a New Techno-Economic System. En OECD, *Technology and Productivity: The Challenges for Economic Policy*. Paris: OECD.
- Kalra, R. K., Anil, B., Tonts, M., & Siddique, K. H. (2013). Self-help groups in Indian agriculture: A case study of farmer groups in Punjab, Northern India. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37(5), 509-530.
- Kiesling, E., Günther, M., Stummer, C., & Wakolbinger, L. M. (2012). Agent-based simulation of innovation diffusion: a review. *CEJOR*, 20, 183-230.
- Llewellyn, R. S. (2007). Information quality and effectiveness for more rapid adoption decisions by farmers. *Field Crops Research*, 104(1-3), 148-156.
- Lundvall, B. Å. (1992). *National systems of innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. London: London - New York.
- Lundvall, B. Å., & Johnson, B. (1994). The Learning Economy. *Journal of Industry Studies*, 1(2), 23-42.
- Lundvall, B. Å., Johnson, B., Andersen, E. S., & Dalum, B. (2002). National systems of production, innovation and competence building. *Research Policy*, 213-231.
- Lundvall, B.-Å., Vang, J., Joseph, K. J., & Chaminade, C. (2009). Innovation system research and developing countries. En B.-Å. Lundvall, K. J. Joseph, C. Chaminade, J. Vang, E. Elgar, B.-Å. Lundvall, K. J. Joseph, C. Chaminade, & J. Vang (Edits.), *Handbook of Innovation Systems and Developing Countries* (págs. 1-32). Cheltenham - Northampton: Edward Elgar Publishing.
- Maier, F. H. (1998). New product diffusion models in innovation management - a system dynamics perspective. *System Dynamics*, 285 - 308.
- Malerba, F. (2002). Sectoral systems of Innovation and production. *Research Policy*, 31, 247-264.
- Malerba, F., & Orsenigo, L. (2002). Innovation and market structure in the dynamics of pharmaceutical industry and biotechnology: towards a history friendly model. *Industrial and Corporate Change*, 11, 667-703.

- McDonald, K., & Sun, D. K. (2000). Vacuum cooling technology for the food processing industry: A review. *Journal of Food Engineering*, 45(2), 55-65.
- Ministro de Gobierno de la República de Colombia. (1991). Decreto 585 de 1991. *Por el cual se crea el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, se reorganiza el Instituto Colombiano para el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología -Colciencias- y se dictan otras disposiciones*. Bogotá.
- Moore, S. A., Severn, R. C., & Millar, R. (2006). A conceptual model of community capacity for biodiversity conservation outcomes. *Geographical Research*, 44(4), 361-371.
- Mostafavi, A., Abraham, D. M., DeLaurentis, D., & Sinfield, J. (2011). Exploring the Dimensions of Systems of Innovation Analysis: A System of Systems Framework. *IEEE SYSTEMS JOURNAL*, 5(2), 256 - 265.
- Nelson, R. R. (1992). National Innovation Systems: A retrospective on a Study. *Industrial and Corporate Change*, 1(2), 347-374.
- Nelson, R. R., & Winter, S. G. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Harvard University Press.
- Nobelius, D. (2004). Towards the sixth generation of R&D management. *International Journal of Project Management*, 22, 369-375.
- OCDE, EUROSTAT. (2005). *Manual de Oslo: Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación*. Recuperado el 10 de Febrero de 2010, de [http://www.euskadinnova.net/opencms/export/sites/default/web\\_euskadi\\_innova/es/euskadi\\_innova/Documentacion/Manual\\_de\\_Oslo\\_es.pdf](http://www.euskadinnova.net/opencms/export/sites/default/web_euskadi_innova/es/euskadi_innova/Documentacion/Manual_de_Oslo_es.pdf).
- OECD. (1992). *Technology and the Economy: The Key Relationships*. Paris: OECD - The Technology / Economy Programme.
- OECD. (2013). *Innovation and Inclusive Development. Conference discussion report*. Cape Town (South Africa): OECD.
- Ozdemir, M., & Floros, J. D. (2004). Active food packaging technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(3), 185-193.
- Padilla-Pérez, R., Vang, J., & Chaminade, C. (2009). Regional innovation systems in developing countries: integrating micro and meso-level capabilities. En B.-Å. Lundvall, K. J. Joseph, C. Chaminade, & J. Vang (Edits.), *Handbook of Innovation Systems and Developing Countries* (págs. 140-182). Cheltenham, UK and Northampton, MA, USA: Edward Elgar.
- Pandza, K., & Holt, R. (2007). Absorptive and transformative capacities in nanotechnology innovation systems. *Journal of Engineering and technology Management JET-M*, 24, 347-365.

- Pannell, D. J., Marshall, G. R., Barr, N., Curtis, A., Vanclay, F., & Wilkinson, R. (2006). Understanding and promoting adoption of conservation practices by rural landholders. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46(11), 1407-1424.
- Pitt, J. C. (2000). *Thinking about technology - Foundations of the Philosophy of Technology*. New York: Seven Bridges Press.
- Pyka, A., & Saviotti, P. P. (2005). The evolution of R&D networking in the biotechnology-based industries. *International Journal of Entrepreneurship and Innovation Management*, 5(1-2), 49-68.
- Quintero, S. (2012). *Aprendizaje en los Sistemas Regionales de Innovación: Un análisis desde el marco evolutivo de la interacción entre agentes*. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Proyecto de Tesis de Doctorado en Ingeniería - Industria y Organizaciones.
- Quintero, S., & Robledo, J. (2013). El aprendizaje como propiedad emergente en los sistemas regionales de innovación. En *Memorias del XV Congreso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica*. Oporto, Portugal: Altec.
- Quintero, S., & Robledo, V. (2012). Sistemas Regionales de Innovación: Un análisis del marco conceptual y referencial de los fenómenos emergentes y sus redes de trabajo colaborativas a partir de vigilancia tecnológica. En U. P. Bolivariana (Ed.), *III Congreso Internacional de Gestión Tecnológica e Innovación. Gestión de la Tecnología y la Innovación para la Competitividad en Mercados Abiertos*. Medellín, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Quintero, S., Ruiz, W. L., & Robledo, J. (2015). El des-aprendizaje en un sistema de innovación: Una perspectiva desde la interacción entre agentes. *Memorias del XVI Congreso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica*. Porto Alegre (Brasil): ALTEC.
- Rahmandad, H., & Sterman, J. (May de 2008). Heterogeneity and Network Structure in the Dynamics of Diffusion: Comparing Agent-Based and Differential Equation Models. *Management Science*, 54(5), 998-1014.
- Ramírez, M., Bernal, P., Clarke, I., & Hernández, I. D. (2014). *Distinguishing patterns of learning and inclusion through patterns of network formation in developing agricultural clusters*. Brighton (UK): SPRU Working Paper Series SWPS 2014-20.
- Rothwell, R. (1992). Successful Industrial Innovation: Critical Factors for the 1990s. *R&D Management*, 22(3).
- Ruiz, W. L. (2013). *Evaluación del impacto de los intermediarios en los sistemas de innovación: Una aproximación desde el modelado basado en agentes*. Medellín: Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Proyecto de Tesis de Doctorado en Ingeniería - Industria y Organizaciones.

- Ruiz, W. L., & Robledo, J. (2013). Evaluación del impacto de los intermediarios en los Sistemas de Innovación: marco de análisis. *Proceedings, XV Congreso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica*. Porto (Portugal).
- Ruiz, W. L., Quintero, S., & Robledo, J. (2015). Modelo conceptual para el análisis del impacto de los intermediarios en los sistemas de innovación. *Memorias del XVI Congreso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica*. Porto Alegre (Brasil): ALTEC.
- Senker, P., & Faulkner, W. (1993). Networks, Tacit Knowledge and Innovation. *Second ASEAT Conference, Technological Collaboration: Networks, Institutions and States*. Manchester.
- Smith, R., & Sharif, N. (2007). Understanding and acquiring technology assets for global competition. *Technovation*, 643-649.
- Sneddon, J., Soutar, G., & Mazzarol, T. (2011). Modelling the faddish, fashionable and efficient diffusion of agricultural technologies: A case study of the diffusion of wool testing technology in Australia. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(3), 468-480.
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. Irwin: McGraw- Hill.
- Storper, M. (1995). Regional technology coalitions An essential dimension of national technology policy. *Research Policy*, 24, 895 - 911.
- Uribe, C. P., Fonseca, S., Bernal, G., Contreras, C., & Castellanos, O. (2011). *MADR - Proyecto Transición para la Agricultura*. Bogotá: Sembrando innovación para la competitividad del sector agropecuario colombiano.
- Velasco-Garcia, M. N., & Mottram, T. (2003). Biosensor technology addressing agricultural problems. *Biosystems Engineering*, 84(1), 1-12.
- Waller, P. J. (1997). Sustainable helminth control of ruminants in developing countries. *Veterinary Parasitology*, 71(2-3), 195-207.
- Zhang, J. Z., Creelman, R. A., & Zhu, J. K. (2004). From laboratory to field. Using information from Arabidopsis to engineer salt, cold, and drought tolerance in crops. *Plant Physiology*, 135(2), 615-621.