

## **Análisis de redes sociales para un sistema de innovación generado a partir de un modelo de simulación basado en agentes**

### **Social Network Analysis for an Innovation System Generated Starting from an Agent-Based Simulation Model**

Juan F. Franco-Bermúdez<sup>1</sup>, y Walter L. Ruiz-Castañeda<sup>2</sup>

Recibido: 04 de junio de 2018  
Aceptado: 21 de noviembre de 2018

---

#### Cómo citar / How to cite

J. F. Franco-Bermúdez, y W. L. Ruiz-Castañeda, Análisis de redes sociales para un sistema de innovación generado a partir de un modelo de simulación basado en agentes. *TecnoLógicas*, vol. 22, no. 44, pp.21-44, 2019. <https://doi.org/10.22430/22565337.1183>



---

<sup>1</sup> Ingeniero industrial, Departamento de Ingeniería de la Organización, Universidad Nacional de Colombia, Medellín-Colombia, [jffrancob@unal.edu.co](mailto:jffrancob@unal.edu.co)

<sup>2</sup> PhD en Ingeniería Industrial y Organizaciones, MBA, Departamento de Ingeniería de la Organización, Universidad Nacional de Colombia, Medellín-Colombia, [wlruizca@unal.edu.co](mailto:wlruizca@unal.edu.co)

## **Resumen**

El siguiente trabajo muestra los resultados obtenidos tras realizar un Análisis de Redes Sociales a un sistema de innovación, con la particularidad de que dicho sistema es generado a partir de un modelo de Simulación Basada en Agentes. El objetivo principal de este artículo es mostrar que la combinación de ambas metodologías (Análisis de Redes Sociales y Simulación Basada en Agentes) puede ser exitosa en la obtención de nuevos hallazgos y aportar a la comprensión de cómo se conforman y se comportan los sistemas de innovación. La simulación permite ver cómo emerge el sistema y estudiar sus comportamientos, allí se visualiza cómo las capacidades de innovación de los agentes condicionan su relacionamiento y cómo dichas relaciones determinan su adaptación, especialización, su supervivencia en el tiempo y la evolución de la red misma. Por otra parte, el Análisis de Redes Sociales permite entender la estructura relacional del sistema y cómo esta afecta su comportamiento, el análisis se aplica en cuatro momentos de tiempo distanciados entre sí por cinco periodos, y en cada uno de ellos se analizan diferentes indicadores, tanto de nivel nodal como de nivel estructural. El análisis construido sirve como herramienta de entendimiento y orientación a los gobiernos para la formulación de políticas asociadas a los sistemas regionales y nacionales de innovación. Finalmente, se muestra cómo a partir de micro-mundos virtuales puede extraerse información importante sobre las dinámicas de los sistemas de innovación, abriendo así la posibilidad de contestar preguntas del tipo ¿qué pasaría sí...?

## **Palabras clave**

Análisis de Redes Sociales, Sistema de Innovación, Simulación Basada en Agentes, Capacidades de Innovación.

## **Abstract**

The following work presents the results obtained after a Social Network Analysis applied to an innovation system, with the particularity that the system is generated starting from an Agent-Based Simulation model. The main objective of this work is to show that the combination of both methodologies (Social Network Analysis and Agent-Based Simulation) could be successful to obtain new findings and contributes to understanding how the innovation systems conform and behave. The simulation allows to observe how the system emerges and study its behaviors, it shows how the innovation capabilities of the agents condition their relationship and how these relationships determine their adaptation, specialization, their survival over time and the evolution of the network itself. Subsequently, the Social Network Analysis allows to understand the relational structure of the system and how it affects its behavior, the analysis is applied in four moments of time which are separated from each other by five periods, and in each of them different network indicators are analyzed, both at the nodal level and the structural level. The constructed analysis serves as a tool for understanding and guidance to governments for the formulation of policies associated with regional and national innovation systems. Finally, it is shown how, from virtual micro-worlds, important information can be extracted about the dynamics of the innovation systems, thus opening the possibility of answering questions of the type What would happen if ...?

## **Keywords**

Social Network Analysis, Innovation system, Agent-Based Simulation, Innovation Capabilities.

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente se reconoce la importancia de la innovación al estar presidiendo la agenda de los líderes mundiales, al ser promovida por los responsables de formular políticas, al considerarse como una fuente de ventaja competitiva para las empresas, al facilitar la solución de problemas sociales, así como por aparecer en los titulares de los medios de comunicación anunciando nuevos dispositivos que transformarían la sociedad, al aumentar significativamente los trabajos científicos que hacen relación a ella, entre otros. Entonces, en el fenómeno de la innovación se reconoce una fuente determinante para la generación de valor y beneficios, tales como la mejora de la productividad, la competitividad, la creación de empleos, la generación de ingresos, la reducción de la pobreza, entre otros [1] [2]. También, la innovación puede ser entendida como un proceso, que explicado de una forma simple y lineal, parte de una idea, invención o necesidad que lo activa, luego sufre una transformación por una serie de actividades realizadas por uno o más agentes y finaliza con un producto, proceso o método nuevo que es adoptado por un grupo. Sin embargo, desde una perspectiva más sistémica, el proceso de innovación puede ser visto según [3] «como una intrincada interacción entre micro y macro fenómenos, donde las macro-estructuras condicionan las micro-dinámicas y viceversa» (p. 101), generando un contexto dinámico caracterizado por la co-evolución y la auto-organización.

La innovación puede entenderse como la introducción y uso de conocimiento dentro de un determinado sistema, con la finalidad de que se traduzca en valor y beneficios como los ya mencionados; adicionalmente, es necesario que asociado a ella existan dinámicas para que dicho conocimiento se transmita, se comparta, esté al alcance de los actores involucrados

y pueda ser realmente aplicado y aprovechado, dicho elemento es denominado como transferencia tecnológica [4]. La tecnología no es un concepto que se limita a los artefactos y a las máquinas, sino que posee una concepción integral y pasa a ser, ante todo, un fenómeno social y humano que abarca un conjunto de conocimientos, experiencias y relaciones que sustentan el desarrollo, producción y distribución de productos e implementación de procesos de transformación de materia e información. Esta posee un componente tácito y acumulativo que implica que la transferencia tecnológica requiera normalmente mecanismos más complejos que el simple intercambio de información [5].

La transferencia tecnológica es un elemento fundamental para consolidar la innovación y es una vía de acceso para vincularse al avance científico y tecnológico [5] [6]; es por ello que un tercer elemento es clave para el éxito de todas estas dinámicas: la intervención del sector público a través de la creación e implementación de políticas, instrumentos y estructuras adecuadas que alienten los sistemas de transferencia de conocimiento y tecnología, así como el conjunto de condiciones del entorno económico y social, que son determinantes para el crecimiento económico, la competitividad y el desarrollo [7].

Ahora bien, se reconoce el carácter sistémico asociado a la innovación, pero es necesario entender también que en un sistema de innovación quienes actúan son los agentes heterogéneos que lo componen, cada uno con diferentes capacidades asociadas [8] [9], por ejemplo, las universidades suelen ser agentes con altas capacidades de investigación, los centros de desarrollo tecnológico poseen capacidades de desarrollo, difusión y vinculación; mientras que las empresas, según su *core* de negocio, pueden resultar siendo importantes en cuanto a

capacidades de mercadeo y/o producción, esto por citar algunos ejemplos; estas capacidades son las que le permiten a los agentes generar, difundir y usar conocimiento y tecnología [10] [11]. Es a partir de dicha heterogeneidad en las capacidades, que unos agentes requieren complementarse con otros para así poder aprovechar diversas oportunidades de innovación que van surgiendo en un entorno competitivo [11], es por ello que agentes de todo tipo y la relación entre ellos se vuelve indispensable para la supervivencia de un sistema de innovación, pues si no existe la posibilidad de que un agente se asocie con otro para complementar las capacidades de las cuales carece, difícilmente se pueden aprovechar oportunidades de innovación. El relacionamiento entre agentes, la acumulación de capacidades a través del aprendizaje y el aprovechamiento de oportunidades de innovación, se traducen en crecimiento económico, desarrollo y demás beneficios ya citados [8] [11].

Los sistemas de innovación se pueden considerar como sistemas complejos, puesto que cumplen con sus propiedades principales [12]: 1) están formados por un gran número de elementos heterogéneos; 2) estos elementos interactúan entre sí; 3) las interacciones producen comportamientos emergentes que son diferentes de los efectos de los elementos individuales, y 4) estos comportamientos persisten en el tiempo y se adaptan a las circunstancias cambiantes. Para estudiar este tipo de sistemas se ha propuesto diferentes enfoques metodológicos, como son el Análisis de Redes Sociales (ARS) y la Simulación o Modelación Basada en Agentes (MBA). Cada uno se concentra en abordar aspectos diferentes del sistema complejo en estudio. Por un lado, la MBA tiene fortalezas en representar los bucles de realimentación, simular la dinámica del sistema en tiempo real, trazar la interacción entre agentes individuales, mostrar la interacción entre múltiples

niveles e incorporar la heterogeneidad de los elementos del sistema; mientras que el ARS, además de personificar la interacción entre agentes heterogéneos, permite investigar las estructuras relacionales complejas del sistema [13]. La importancia de los vínculos, para que los agentes puedan aportar sus capacidades para innovar, dan lugar a complementar la MBA con el uso del ARS, es decir, estudiar un sistema basado en las relaciones existentes entre los actores que lo componen [14], permitiendo entender el funcionamiento de la red, visualizar la posición de los actores dentro de ella, conocer cuáles actores se relacionan entre sí, y a partir de ello entender qué oportunidades y limitaciones tienen tanto estos actores como la red misma, para posteriormente diseñar estrategias de crecimiento y desarrollo [4].

Ahora, la intención de utilizar el ARS para unos resultados obtenidos con anterioridad en una Simulación Basada en Agentes, es proporcionar un análisis más profundo que permita encontrar nuevos hallazgos. Teniendo en cuenta que ambos métodos son reconocidos por su capacidad para representar, analizar y proyectar fenómenos sociales complejos [15], permitiendo descifrar comportamientos no lineales e impredecibles [16].

A continuación, se presentan los conceptos utilizados, posteriormente la descripción del sistema a analizar, luego el ARS aplicado, una discusión de los resultados obtenidos y finalmente, las conclusiones y recomendaciones.

## 2. METODOLOGÍA

El ARS es una metodología que estudia las relaciones existentes entre las diferentes entidades que componen un sistema, normalmente estas entidades se conocen como agentes o nodos y tienen asociados determinados atributos; por otra parte, sus enlaces relacionales se

denominan vínculos, dichas relaciones determinan unos patrones que dan forma a lo que se conoce como la estructura de la red; a partir de todo ello se derivan diversos indicadores que permiten caracterizar el sistema y hacer inferencias sobre el mismo [17] [18]. Por lo que la premisa fundamental del ARS se basa en explicar los fenómenos sociales mediante el análisis de las relaciones entre los actores, haciendo un estudio en tres vías: 1) la conducta de los individuos a nivel micro, 2) los patrones a nivel macro o estructura de red y 3) las interacciones entre los dos niveles [19].

La literatura del ARS y su aplicación para analizar el fenómeno de la innovación ha sido inspirada por los trabajos de los sociólogos [20] y [21], quienes concentraron sus trabajos en el potencial innovador de los lazos débiles y el aprovechamiento de los agujeros estructurales, respectivamente. Específicamente, los agujeros estructurales se entienden como brechas en las redes sociales que pueden ser de diferentes dimensiones, tales como las identificadas por [22] y complementadas por [23]: geográficas, cognitivas, comunicativas, organizacionales, funcionales, culturales, sociales y temporales. Estas brechas dificultan la efectiva combinación de hardware, software y orgware, que debe existir para que se dé la innovación [24], justificando la existencia de los vínculos que pueden cerrar estas brechas. Enfocándose especialmente en el grado de centralidad y fuerza del enlace que poseen algunos nodos en la red para facilitar el proceso de transferencia tecnológica entre participantes heterogéneos [25]. Tal como lo demuestra el trabajo de [26], inspirado en los agujeros estructurales de [21], se encuentra que las firmas con una situación estructural favorable en la red tienen un mejor desempeño gracias al acceso a ideas de fuentes externas, que pueden ser combinadas creativamente en nuevos productos y servicios. Mirado desde un

punto de vista sistémico, la ubicación de algunos nodos facilita la difusión en un sistema social, trayendo nuevas ideas externas [27]. En algunos casos estos nodos tienen un enfoque más especializado, como por ejemplo el tecnológico identificado por [28], en el que actúan cerrando brechas de información y conocimiento en redes industriales. En otros casos, los estudios se centran en los conceptos de distancia, proximidad, capacidad de absorción e intermediación de conocimiento en relación con el desempeño innovador de las redes regionales de innovación [29].

Este enfoque de nodos que cumplen un rol de intermediación en los sistemas de innovación presenta retos, como los identificados por [30], quienes realizan un estudio en diferentes redes sectoriales, donde los nodos que se pueden considerar como intermediarios han asumido roles muy diferentes, unas veces más cercanos a los explotadores y otras a los exploradores, exhibiendo procesos desiguales de desarrollo de la red y de sus estructuras internas, por un lado más *Bottom-up* y por el otro más *Top-down*; demostrando que en los distintos casos su papel ha sido limitado.

Con respecto al tipo de sector, es de esperarse que se obtendrán mejores resultados al enfocarse en los que poseen mejores capacidades de absorción y actúen en ambientes más dinámicos para innovar; sin embargo, en este contexto los nodos intermediarios no ayudarían a reducir las brechas entre los jugadores, sino que aumentan esa distancia [31]. Para entender mejor la importancia de los nodos intermediarios en la red, se debe entender cuándo se produce un «fallo en la red», esto sucede cuando las actividades de los diferentes actores están mal coordinadas por la falta de interacción entre ellos [32]. Del mismo modo, se debe tener presente que las redes se caracterizan por las normas de reciprocidad y confianza que difícilmente surgen espontáneamente, requiriendo un esfuerzo deliberado para

crear conexiones entre los actores, facilitando la acumulación de capital social [33]. Por eso, la orientación que se da al nodo intermediario en la red es centrado en su aporte comunitario [32], lográndose esto a través, no solo de los conocimientos del nodo intermediario, sino del trabajo comunitario que se fortalece gracias a la participación en la formación de la red en la que intervino dicho nodo. Sin embargo, sigue existiendo un problema para medir los efectos comunitarios, generalmente por falta de una manera de evaluarlos, ya que por lo general estos se deben suponer y se convierten en un acto de fe [32], siendo esto último el problema que se pretendió resolver con el MBA, al que se le realizará el ARS, con el fin de complementar los hallazgos obtenidos.

A pesar de estas dificultades, la perspectiva de los nodos intermediarios en las redes ha tenido una amplia diversidad de aproximaciones, además de las ya presentadas, por ejemplo: [34, 35], identifica el importante rol del intermediario para iniciar cambios en las redes científicas. [36], caracterizan unos agentes que facilitan la conexión entre el nivel de políticas y el operacional. [37], se centran en el rol de instituciones regionales que ayudan a firmas con redes pobres y escasos lazos a mejorar estas falencias. [38], trata los intermediarios de conocimiento que facilitan el intercambio de información entre empresas con el fin de innovar. [39], encuentran una contribución importante de las empresas *hi-tech* como catalizadoras en la creación y transferencia de conocimiento en redes de innovación. [40], se centra en cómo las empresas tratan de gestionar o participar en redes de innovación como parte del negocio, centrándose en personas de las firmas que trabajan haciendo los contactos en la red y ejerciendo roles de intermediarios; teniendo similitudes con el trabajo de [41] al interior de empresas grandes donde los profesionales de las tecnologías de información y comunicación desempeñan

un papel de intermediarios; y al de [42], con ecologistas y veterinarios que desarrollan y optimizan conocimientos mediante su participación en diferentes tipos de redes agrícolas.

De forma similar [43] han identificado como «organizaciones puente» a las que han creado espacios para la generación de confianza, conocimiento, aprendizaje colaborativo, formación de preferencias y resolución de conflictos. [44], argumentan que el dilema que enfrentan las firmas con respecto a la innovación disruptiva puede ser remediado por el rol mediador de las organizaciones puente, al asegurar una red más amplia. [45], encuentran que la interacción entre usuarios y productores organizados a través de intermediarios o consorcios parecen ser las herramientas más importantes para la articulación de la demanda y aprendizaje interactivo. [46], hallan que un *broker* de conocimiento proporciona un vínculo entre los exploradores y explotadores mediante el desarrollo de un entendimiento mutuo de los objetivos y las culturas, colaborando con los usuarios finales para identificar las tareas y los problemas para los cuales se requieren soluciones, y facilita la identificación, acceso, evaluación, interpretación y traducción de resultados de investigación en políticas y prácticas locales.

Investigaciones como las de [47], retoman la dirección del trabajo de [26] buscando identificar el actuar de los intermediarios en un ambiente dinámico (red de pymes de alta tecnología), aportando un tratamiento cuantitativo de los agentes de una red real, para medir la centralidad y densidad de la red. [48], realizan un trabajo con datos suministrados por un parque científico, para investigar la relación entre la densidad del *cluster*, la búsqueda externa y los resultados de innovación de empresas de alta tecnología. [49], analizan el papel de los intermediarios en el proceso de innovación entre industrias; entendiendo a

los intermediarios como instituciones externas que soportan a las firmas en sus actividades de innovación; son utilizados con frecuencia para llenar brechas entre las diferentes industrias; la perspectiva es en las capacidades que debe tener un intermediario para lograr el éxito en el inicio de una innovación entre industrias. [50], combinan las ideas de desarrollo de productos y la teoría de redes, para describir la naturaleza de los procesos de orquestación de una firma *hub* en la centralidad de una red de innovación. Finalmente, [51], argumenta que los *clusters* exitosos se caracterizan por la existencia de *gatekeepers* que generan novedad, haciendo uso de los conocimientos locales y externos; en el estudio aplican el ARS para hallar las diferencias estructurales entre sistemas de innovación y estudiar las características de los *gatekeepers* en las mismas; encontrando que la capacidad de absorción de los *gatekeepers* es más importante que su tamaño.

En los trabajos nombrados, especialmente en los que se hace ARS, se puede identificar que los indicadores se analizan desde dos perspectivas, la primera desde los actores o nodos individuales, a esta se le conoce como nivel individual; la segunda desde la totalidad de la red, a la cual se le conoce como nivel completo [52]. Los indicadores representan a uno u otro nivel, pero siempre los individuales están asociados al nivel completo y viceversa, no se puede pretender hacer inferencias sin relacionar ambos niveles. Si bien son numerosos, a continuación, se describen los que se analizarán en este documento [53]:

## 2.1 Indicadores de nivel individual

Centralidad de grado: es el número de nodos a los cuales un determinado actor es adyacente, es decir, el número de nodos a los cuales está conectado. Este indicador

refleja la exposición que tiene un nodo dentro de la red.

Centralidad de cercanía: indica la distancia que tiene un nodo respecto a los demás nodos de la red; este concepto se asocia con la independencia del agente para participar dentro de la red. Un nodo con alto grado de cercanía puede alcanzar con mayor facilidad los recursos que fluyen a través de la red (en términos de información y/o conocimiento, por ejemplo), mientras que un nodo con bajo grado de cercanía depende de otros nodos para poder alcanzar dichos recursos.

Centralidad de intermediación: es el número de caminos que pasan por un nodo y posibilitan un vínculo indirecto entre pares de nodos no adyacentes, es decir, cómo un determinado nodo facilita la propagación de información y/o conocimiento sirviendo de enlace a través de la red; la intermediación de un agente es cero cuando no forma parte del camino más corto entre cualquier otro par de nodos de la red.

Eigenvector: indica cuándo un nodo con un valor de centralidad de grado alto se relaciona a su vez con otros nodos cuya centralidad de grado también es alta; indica, por así decirlo, una medida de popularidad del agente, que además de tener múltiples relaciones, se relaciona con otros agentes que también están «bien conectados» al interior de la red.

Coefficiente de clusterización: es la proporción de vínculos que tiene un nodo respecto a los vínculos posibles que puede tener. Indica con qué porcentaje de los demás nodos de la red, coopera un agente en particular.

## 2.2 Indicadores de nivel completo

Número de nodos: es la cantidad de agentes presentes en el sistema.

Número de vínculos: es la cantidad de relaciones existentes entre cualquier par de nodos pertenecientes al sistema.

Grado medio: es la centralidad de grado promedio de todos los agentes, entendido como el número de vecinos directos que tienen relación con cada nodo.

Densidad: es una medida de cohesión que relaciona el número de nodos presentes en la red con el número de vínculos posibles. A mayor densidad, mayor cohesión, por lo tanto, es mayor el número de vínculos entre los actores que forman la red.

Coefficiente de clusterización medio: indica el número de triángulos (relación recíproca entre 3 nodos) presentes en la red, de una forma más simple refleja con qué porción de los demás agentes cooperan en promedio los nodos de la red; un coeficiente de clusterización alto indica una red en la que los actores se relacionan con la mayoría de los demás agentes, mientras que uno bajo puede indicar una red poco densa o con presencia de múltiples comunidades.

Modularidad: es el grado en el cual la red se divide en comunidades o pequeños clústeres. Si se analiza cada comunidad de manera independiente como una nueva red, se observarían altas densidades y coeficientes de clusterización, pero con bajo grado respecto a las otras comunidades.

A partir de los indicadores descritos se analizarán las redes de interés [7], [14], [53].

### 2.3 Modelo de simulación basado en agentes<sup>3</sup>

El caso que se requería modelar: un sistema de innovación debía permitir realizar un análisis que pudiera describir las características formales, las propiedades estructurales, la evolución temporal y los efectos de las redes [54]. Con respecto al análisis del impacto del agente intermediario, al modelo le

correspondía encontrar la atribución de relaciones causales que vinculen recursos y acciones con los resultados [55]. Estos resultados dan lugar a cambios que afectan a los agentes y a las estructuras sociales [55]. Además, al modelo le concernía permitir enfocar el análisis en un sistema con un gran número de objetos activos [56].

Según las anteriores condiciones, se trataba de un problema complejo y cuya dinámica en el tiempo es importante, por lo que el modelo de simulación era una respuesta satisfactoria para un caso como este, donde se requiere hacer análisis y sacar conclusiones sobre el comportamiento de un Sistema Complejo [56]. Los modelos de simulación que se han encontrado en la literatura pueden ser clasificados en cuatro grandes paradigmas: 1) simulación discreta o basada en eventos, utilizada para un estado de abstracción medio-bajo, para un grado de detalle medio-alto, para un nivel meso-micro y para una categoría táctica-operacional; 2) simulación continua o dinámica de sistemas, utilizada para un estado de abstracción alto, para un grado de detalle bajo, para un nivel macro y para una categoría estratégica; 3) simulación para sistemas dinámicos, para un estado de abstracción bajo, para un grado de detalle alto, para un nivel micro y para una categoría operacional; y 4) sistemas basados en agentes, que cubre todos los estados de abstracción, detalle, niveles y categorías [56].

Al analizar las características antes detalladas de los sistemas de innovación, se encontró que la mejor opción era utilizar la MBA, por su aplicación en amplios rangos de abstracción, detalle, nivel y categoría, como argumentan [56]. Además, la MBA se ha reconocido como una de las técnicas de simulación más útiles para las ciencias sociales. El objetivo de la simulación basada en agentes no es proporcionar una representación precisa de algún proceso empírico, sino enriquecer el conocimiento de procesos que pueden

<sup>3</sup> El archivo del modelo elaborado en NetLogo 5.1.0 puede ser solicitado por la persona interesada al correo: wlruizca@unal.edu.co

aparecer en gran variedad de aplicaciones [57]. Igualmente, la MBA se considera como una herramienta potente para obtener información de la dinámica del sistema, que es afectada cuando los agentes son heterogéneos y el relacionamiento en la red tiene sus características propias [58]. Utilizando la MBA, se pudo observar el comportamiento de diferentes tipos de redes al asignar ciertos atributos a los agentes, como por ejemplo, características exploradoras, explotadoras, de relacionamiento y combinaciones, entre ellas.

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 [59]. Este enfoque *bottom-up* «puede incorporar fácilmente a conductores de nivel micro de adopción, la racionalidad limitada, la información imperfecta y heterogeneidad de los individuos en términos de atributos, comportamientos y vínculos en la red social» [59, p. 192]. En este caso, se considera al agente como una entidad de toma de decisiones independiente, que interactúa con otros agentes y con su entorno, dadas sus normas de comportamiento y conducta adaptativa [59].

El modelo utilizado para generar el sistema de innovación a estudiar fue desarrollado en la herramienta *Netlogo* [60] [61], su descripción detallada puede ser consultada en la tesis doctoral «Análisis del impacto de los intermediarios en los sistemas de innovación: una propuesta desde el modelado basado en agentes», sin embargo, a continuación se describe el modelo, considerando las partes principales del protocolo Overview, Design concepts and Details (ODD), que corresponden al propósito del modelo, entidades, variables de estado y escalas de las mismas, proceso o mecanismo de

interacción, conceptos de diseño, y finalmente variables o submodelos [11].

El modelo se creó inicialmente para contestar a la pregunta: ¿Cómo analizar el impacto de los intermediarios en el desempeño de los sistemas de innovación desde un marco evolutivo de interacción entre agentes? Allí, mediante la modelación del comportamiento de un sistema de innovación que emerge de la interacción entre agentes heterogéneos y que se da en un entorno competitivo que los afecta, se puede experimentar con los agentes intermediarios para analizar su impacto en el desempeño del sistema [11].

A grandes rasgos, el modelo, a partir de una fijación de parámetros, genera en un entorno competitivo virtual múltiples oportunidades de innovación y agentes competitivos, estos corresponden a las entidades del modelo; cada agente tiene asociado un vector de capacidades de innovación con diferentes valores asociados a cada capacidad de Investigación, Desarrollo, Difusión, Vinculación, Producción y Mercadeo [2] [5] [9]; de manera análoga, las oportunidades de innovación tienen asociado un vector de atributos, esto corresponde a las variables de estado que describen las entidades. Para el caso de los agentes competitivos son sus capacidades de innovación las que le permiten suplir los atributos de las oportunidades de innovación y así poder aprovecharlas. En cuanto las escalas asociadas al vector de capacidades y al vector de atributos están unificadas de 0 a 9, donde cero significa que la oportunidad de innovación no requiere de ese atributo y en el caso de los agentes competidores es que no se cuenta con esa capacidad. Los valores de 1 a 3 significan atributos y capacidades de innovación básicas, valores de 4 a 6 representan atributos y capacidades de innovación medias, y valores de 7 a 9 simbolizan atributos y capacidades de innovación altas [11].

Según las capacidades de innovación, los agentes asumen distintos roles

(explorador, explotador, intermediario, *latecomer* o la combinación de 2 o más roles) [8], [11], [9]. Dos de los supuestos fundamentales son: cada agente competitivo tiene asociados unos costos para poder mantener sus capacidades de innovación y accede a unos beneficios cuando puede aprovechar oportunidades de innovación. Adicionalmente, cuando un agente competitivo no satisface todos los atributos que requiere una oportunidad de innovación, porque sus capacidades de innovación no tienen el nivel suficiente para ello, puede vincularse con otros agentes competitivos con capacidades de innovación que lo complementen para lograrlo, este relacionamiento implica inevitablemente unos costos de transacción. Finalmente, del balance entre estos costos y beneficios obtenidos al aprovechar oportunidades de innovación de los agentes competitivos en un período de tiempo, se actualiza un stock de excedentes que determina su supervivencia dentro del sistema. A medida que el tiempo avanza, los agentes competitivos aprenden y desaprenden, esto se manifiesta en la acumulación o desacumulación de las capacidades de innovación. Adicionalmente, para que el mundo virtual sea dinámico, aparecen nuevas oportunidades de innovación y desaparecen las que ya fueron aprovechadas de acuerdo con su ciclo de vida o porque no fueron aprovechadas. De forma similar, hay agentes competitivos que nacen, ejemplificando emprendimientos, mientras que otros desaparecen porque su stock de excedentes llega al nivel mínimo; esta dinámica ocasiona la formación y desaparición de vínculos, produciendo que la red evolucione conforme el sistema tiende a estabilizarse, esto es precisamente lo que se quiere analizar con el ARS propuesto, y se explica con mayor claridad en el numeral 2.4 [11].

Se tuvieron en cuenta tres criterios de diseño fundamentales: el primero es la adaptación que se da a través del

aprendizaje, los agentes que aprovechan una oportunidad de innovación aprenden acumulando las capacidades que utilizaron a través de la experiencia y el premio adquirido en el entorno competitivo, y des-acumulan aquellas capacidades que no utilizaron mediante el des-aprendizaje [62], [63], [64]. El segundo es la interacción; la relación entre entidades se da primero por proximidad de localización y luego por complementariedad entre los vectores de capacidades y de atributos, luego por los costos transaccionales de relación entre agentes que dependen de la brecha entre ellos, según su la tipología ya descrita, y finalmente los agentes coevolucionan gracias al aprendizaje por interacción y por hacer (*learning by doing*) [65]. El último criterio es la estocasticidad, pues las reglas de decisión del modelo son determinísticas [11], [59], [61].

Las variables o submodelos que se utilizan para poder realizar las simulaciones y a las cuales se asignan valores de iniciación son las siguientes [11]<sup>4</sup>:

*Número inicial de oportunidades de innovación*: representan la cantidad de innovaciones demandadas por el entorno competitivo.

*Número inicial de agentes competidores*: densidad inicial de agentes del sistema.

*Tasa de nacimiento de las oportunidades de innovación*: esta rata significa la renovación por período de las oportunidades de innovación del entorno competitivo.

*Factor de aprendizaje*: velocidad a la que los agentes del sistema son capaces de acumular capacidades.

*Factor de desaprendizaje*: denota la velocidad a la que los agentes del sistema desacumulan capacidades.

*Stock de excedentes máximo*: recursos económicos máximos con los que puede

---

<sup>4</sup> Los lectores interesados en profundizar en el modelo de simulación basado en agentes construido en NetLogo 5.1.0, se pueden remitir a la tesis doctoral de [11] y a los artículos elaborados por [9] y [75], [76].

nacer un agente en el sistema, siendo este recurso el que le permite sobrevivir.

*Tiempo máximo de ciclo de vida de las innovaciones:* tiempo en que se benefician los agentes que aprovechen las oportunidades de innovación.

*Volatilidad máxima de las oportunidades de innovación:* tiempo máximo en el que las oportunidades de innovación permanecen en el entorno competitivo sin ser satisfechas; luego de este periodo, las oportunidades de innovación desaparecen.

*Ingreso por atributo:* asigna el premio que brinda el entorno competitivo para cada posición del vector de atributos de las oportunidades de innovación.

*Costo por capacidad:* señala qué tan costoso es el mantenimiento de cada tipo de capacidad del vector de capacidades de un agente.

*Costo de transacción:* se asignan tres niveles de costo: bajo, medio y alto, los cuales se asignan a cada vínculo entre agentes según su tipología.

## 2.4 Mecanismo de interacción entre agentes

Este mecanismo se vuelve operativo a través de las reglas de decisión de los agentes, las cuales se pueden percibir en la siguiente secuencia:

Surgen las oportunidades de innovación en el entorno competitivo.

Estas inician una búsqueda por proximidad de agentes que la puedan aprovechar.

Si en el radio de búsqueda más cercano la oportunidad de innovación no encuentra agentes, se traslada a un radio de búsqueda más apartado. Esta regla de decisión se repite hasta que la oportunidad de innovación encuentre un agente que la pueda aprovechar o que desaparezca dada su volatilidad en el tiempo.

Cuando la oportunidad de innovación encuentra un agente, para que se genere la interacción, la capacidad de mercadeo del agente debe ser mayor o igual al atributo

de mercado que busca la oportunidad de innovación. Si esto no se cumple, la regla es que oportunidad de innovación persiste en la búsqueda de agentes.

Al generarse el vínculo, el agente intenta aprovechar en su totalidad la oportunidad de innovación al cumplir con sus capacidades de innovación todos los requerimientos; sin embargo, cuando el agente no es capaz de satisfacer todos los atributos, este inicia una búsqueda de agentes en su proximidad que lo puedan complementar con sus capacidades de innovación y aprovechar la oportunidad de innovación con la que ha realizado el lazo.

Cuando el agente no fue capaz por sí mismo de aprovechar la oportunidad de innovación y ha encontrado un agente, sea cercano o lejano, que complemente sus capacidades para satisfacer la oportunidad de innovación, se genera la interacción entre agentes, lo que significa un proyecto en conjunto para dar cuenta de esa oportunidad del mercado. Cabe aclarar que la búsqueda se hace desde la capacidad más explotadora hasta la más exploradora; además, en los proyectos que se forman pueden intervenir los agentes que se requieran para cumplir con los atributos solicitados por la oportunidad de innovación.

Luego de ser aprovechada la oportunidad de innovación, esta premia a los agentes con beneficios de acuerdo con el atributo que cada agente suplió.

Se actualiza el stock de excedentes de los agentes a través de la suma de los beneficios y la resta de los costos de mantener sus capacidades y de los costos de transacción de las relaciones.

Los agentes que lleguen a un stock de excedentes de cero desaparecen del sistema.

Las oportunidades de innovación aprovechadas que cumplen su ciclo de vida, desaparecen.

Las oportunidades de innovación que no son aprovechadas y cumplen con su tiempo de volatilidad, desaparecen del sistema.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el siguiente análisis se extraerán 4 redes que permitirán observar la evolución de la red, esto a partir de una corrida del modelo de simulación ya descrito; estas serán denominadas Red 1, Red 2, Red 3 y Red 4, que corresponden al sistema de innovación simulado en el año 3, año 8, año 13 y año 18, respectivamente. A su vez, los agentes se denominarán como «A#», donde el # indicará el consecutivo con el que nació en el agente en el micromundo virtual, y dicho nombre se conservará en el tiempo mientras el agente conserve su stock de excedentes.

En la Fig.1, se presentan los 4 grafos dirigidos, construidos utilizando la herramienta informática *Gephi* y la distribución *Force Atlas* para una visualización más clara [52]. Posteriormente, en el mismo software se utilizará el algoritmo *Fast unfolding of communities in large networks* para el cálculo de la modularidad y su apropiada visualización.

#### 3.1 Indicadores de nivel individual

En las 4 redes estudiadas, aparecen un total de 46 agentes competitivos diferentes, entre ellos 22 existen únicamente en una red, es decir, que desaparecen en el transcurso del tiempo; 2 de ellos aparecen en 2 redes, mientras que los 22 restantes aparecen en al menos 3 redes (18 de ellos aparecen en las 4), de manera que, permanecen con un stock de excedentes superior a cero, al menos por 15 años consecutivos. El análisis de los indicadores de nivel nodal se presenta discriminando estos 2 grupos; el primer grupo con los 24 actores que desaparecen rápidamente y el segundo grupo con los 22 que más tiempo sobreviven y son los que, al final de cuentas, terminan configurando la estructura de la red. Finalmente, se presenta un análisis particular para los agentes de mayor importancia dentro del

sistema de innovación. Con relación a la centralidad de grado, los nodos del primer grupo alcanzan a formar pocos vínculos, predominantemente entre 1 y 8 relaciones con algunas excepciones, sin embargo, el máximo valor alcanzado en este indicador es 19. Respecto al segundo grupo, se observa una tendencia predominantemente creciente en este indicador y el valor promedio es de 30 vínculos por agente en la Red 4, valor considerablemente mayor al indicador de grado medio de nivel estructural; de este modo, la supervivencia de un agente innovador en el sistema puede asociarse en primera instancia al número de relaciones que logra construir, puesto que a mayor número de vínculos se infiere que el agente se está beneficiando económicamente de más oportunidades de innovación; en la Fig.2 se ilustra el comportamiento de este indicador para el segundo grupo de interés [66].

Respecto a la centralidad de cercanía, para el primer grupo se observan valores que no superan el 55 %, es decir que, en el mejor de los casos, un agente competitivo perteneciente a este grupo solo puede alcanzar los recursos de la red en un 55 % sin la intermediación de otros nodos; mientras que para el segundo grupo, los nodos son más independientes, el comportamiento de este indicador en un nodo tiende a tener una primera etapa de crecimiento mientras el agente va conformando sus relaciones importantes para posteriormente tender a una estabilidad generalizada, esto indica que una vez un agente se posiciona en la red con determinadas relaciones, tiende a conservar dichas relaciones y a permanecer en la red junto a sus colaboradores; en la Fig.3 se observan las fases de crecimiento y estabilidad descritas [18], [67].

Para el grado de intermediación, los valores del indicador son bajos en los agentes pertenecientes al primer grupo, lo que permite inferir que dichos nodos no llegan a asumir un papel importante o central en la red, puesto que no son clave

como intermediarios para que los demás agentes se relacionen entre sí, esto a su vez se corrobora con los bajos valores de la centralidad de grado. En el caso del segundo grupo es relevante ver cómo inicialmente hay agentes claves para la supervivencia inicial de la red y tiene valores de grado de intermediación considerablemente altos (incluso superiores a 100), en la Red 1 estos nodos representan la intermediación obligatoria para que los demás agentes puedan establecer vínculos [11]; posteriormente,

cuando las relaciones se han conformado, el indicador cae dramáticamente y empieza a homogenizarse entre todos los nodos, pues ya los agentes se han posicionado al interior de la red; este comportamiento confirma lo expresado en varios estudios, que plantean que la intermediación es fundamental cuando el sistema de innovación apenas se está formando y los intermediarios adquieren un rol de orquestadores de la red [9], [68], [69], [70], [71]. Esto se hace evidente en la Fig.4.

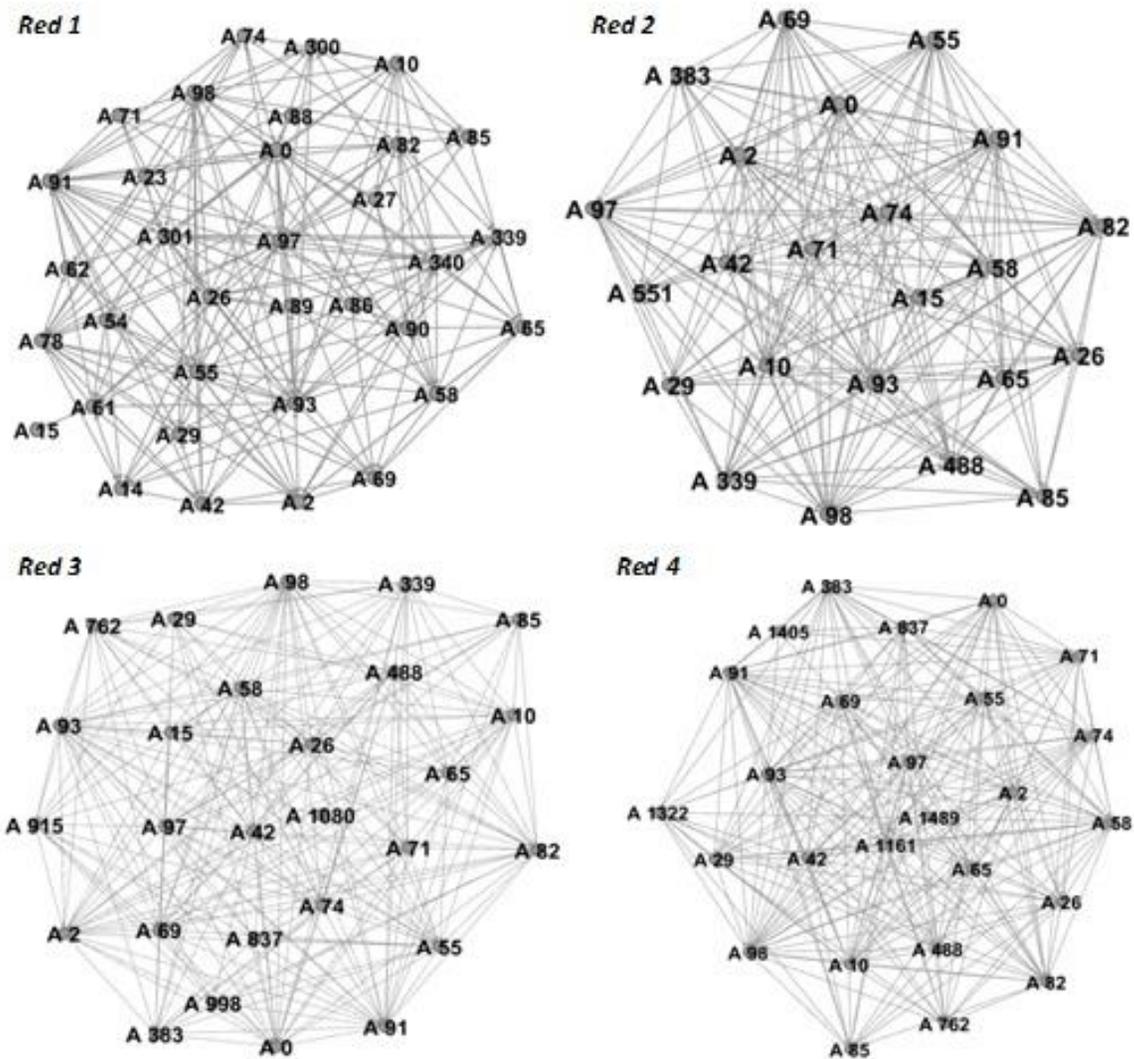


Fig. 1. Grafos. Fuente: autores.

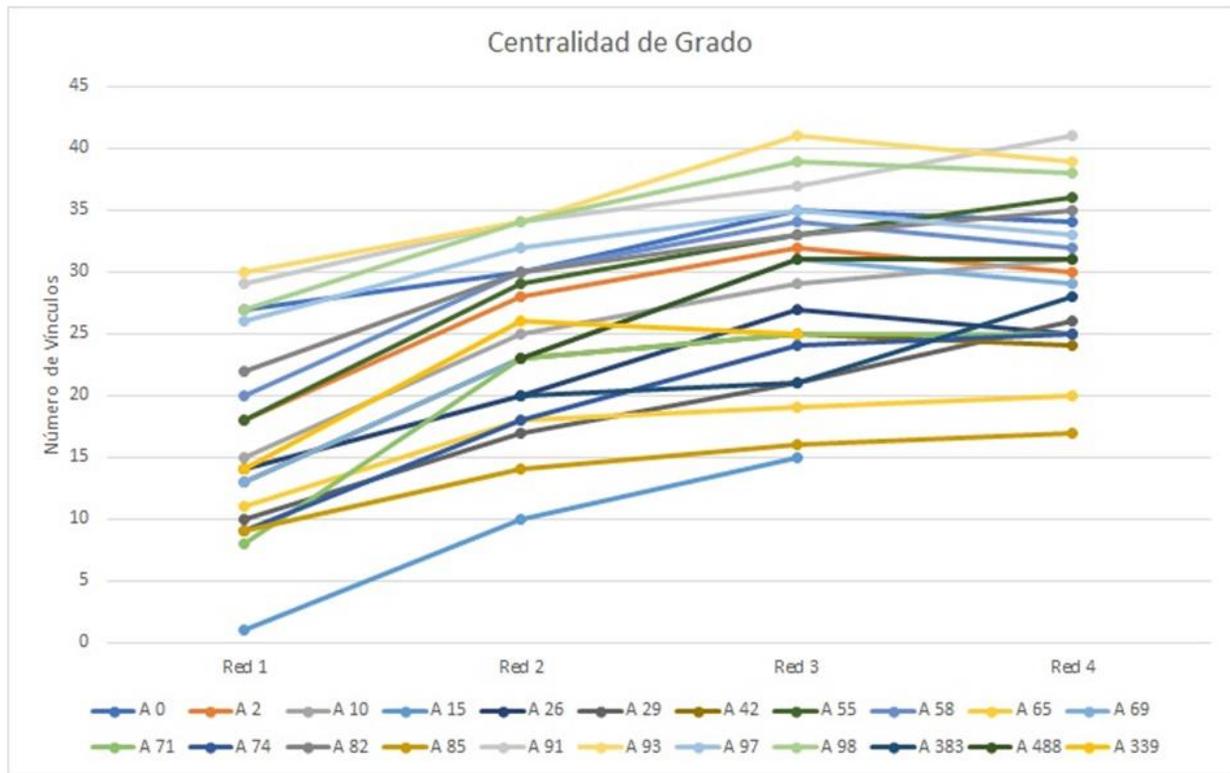


Fig. 2. Centralidad de Grado. Fuente: autores.

Cuando se analiza el coeficiente de clusterización, el comportamiento para los nodos del segundo grupo es correspondiente con el coeficiente de clusterización medio de nivel estructural, los agentes inician en la primera red con valores entre el 30 % y 40 % que van creciendo paulatinamente hasta alcanzar valores cercanos al 60 % en la Red 4; esto se corrobora con la tendencia creciente de la centralidad de grado y el comportamiento descrito del grado de intermediación, pues los agentes aumentan el número de relaciones que tienen y se posicionan dentro de la red aumentando la cohesión de la misma; otra deducción es que no tener nodos con un coeficiente de clusterización significativamente mayor que el promedio, evita la centralización de la red y la dependencia de la misma a uno o pocos agentes en particular, esto es evidente también en la presencia de 3

comunidades que se fortalecen y se consolidan en el tiempo, no de los casos extremos en donde hubiese una sola comunidad o múltiples agrupaciones de pocos actores [14], [53].

Ahora, respecto al eigenvector, si bien las gráficas de los indicadores anteriores han mostrado cierta homogeneidad en los comportamientos, los valores alcanzados sí varían de un agente a otro, el eigenvector corresponde con la centralidad de grado, ubicando en la parte superior del gráfico los agentes con mayor número de vínculos asociados, pues estos a su vez son los más populares entre la totalidad de integrantes del sistema, y se observa que si bien todos los agentes pertenecientes al segundo grupo permanecen en la red de manera estable, no lo hacen en las mismas condiciones de participación e importancia; en la Fig.5 se observa dicha característica [8], [72].

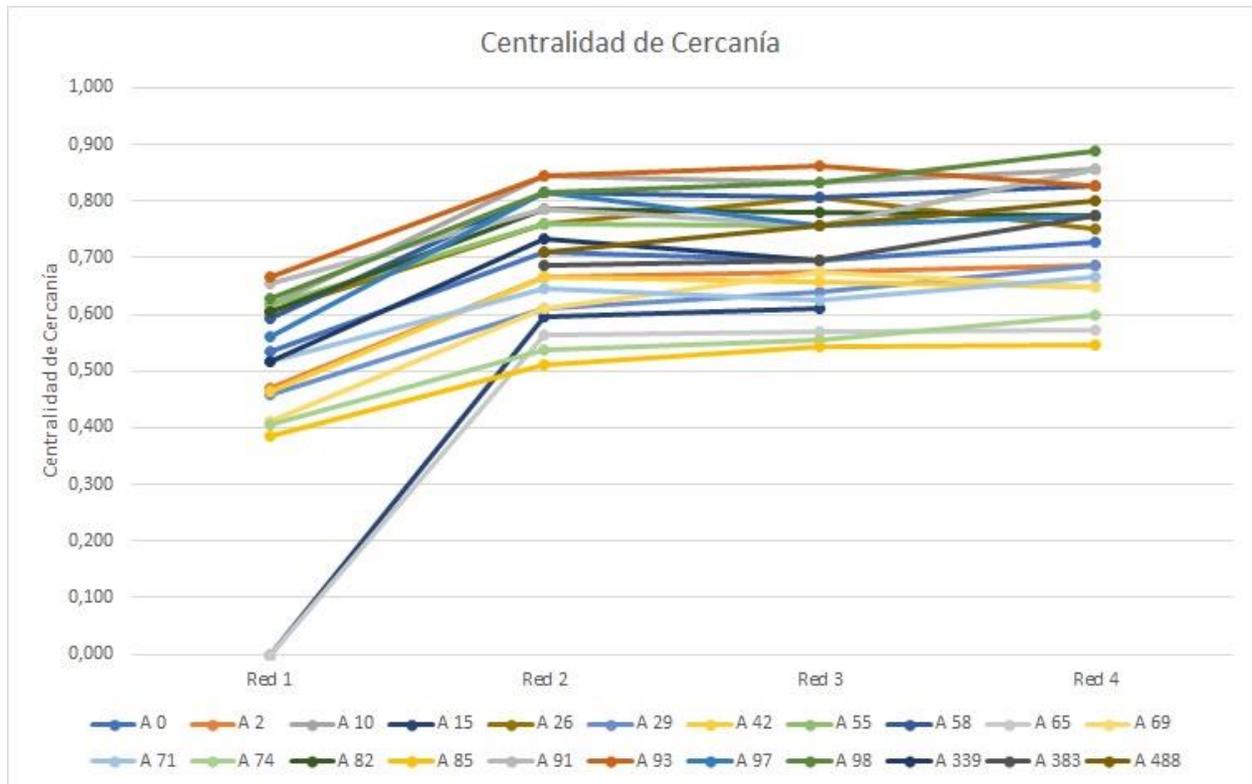


Fig. 3. Centralidad de Cercanía. Fuente: autores.

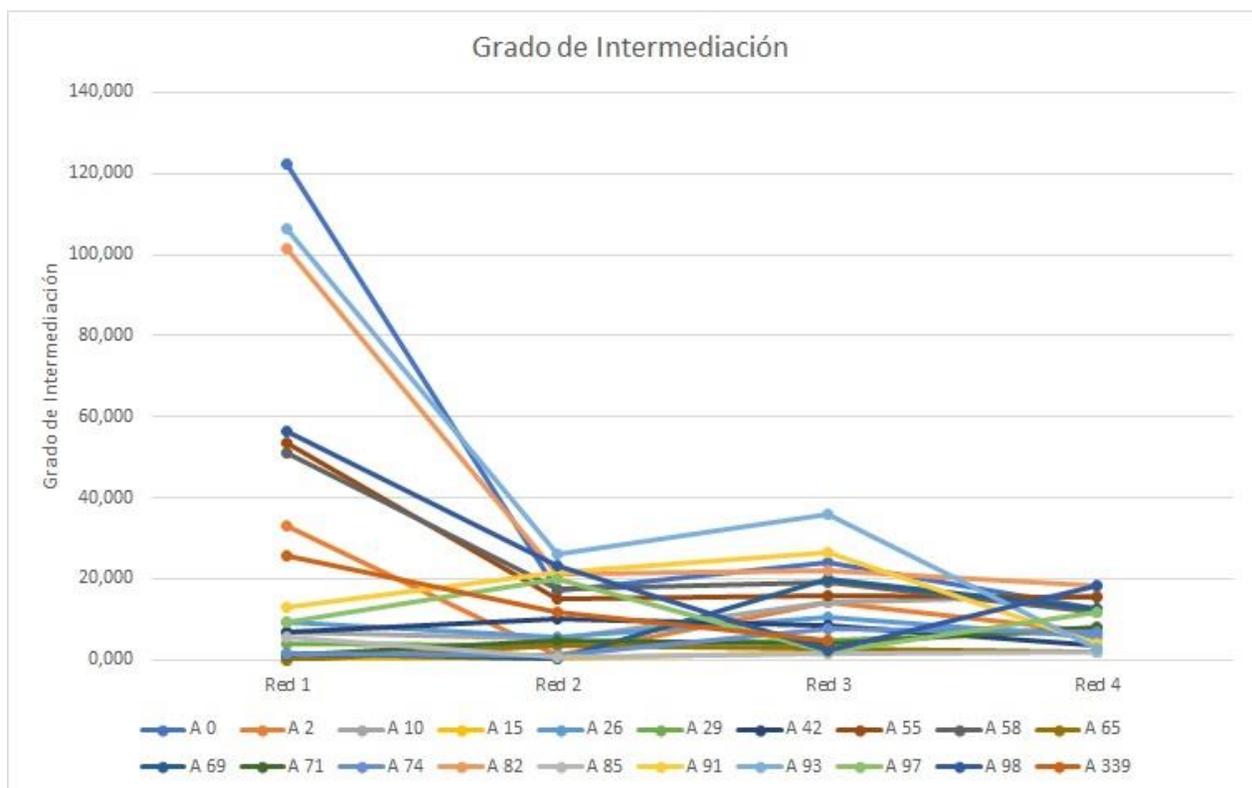


Fig. 4. Grado de Intermediación. Fuente: autores.

En un mayor nivel de detalle, es interesante analizar los indicadores nodales para algunos agentes en particular y ver cómo el vector de capacidades asociado a cada agente (el cual determina su rol dentro del sistema de innovación) se relaciona con las características con las cuales el actor participa dentro de la red.

Por ejemplo, los agentes A42, A65 y A85, se pueden apreciar en la Tabla 1. Así como la evolución de su vector de capacidades de innovación en el tiempo gracias al aprendizaje y desaprendizaje, estos se ubican siempre en la zona baja de los gráficos presentados y al observar su vector de capacidades, estos se especializan en las capacidades de investigación y desarrollo, convirtiéndose así en «Exploradores», adicionalmente tienen un stock de excedentes intermedio. Esto es coherente con la realidad, pues los centros de investigación (universidades, por ejemplo) no son los agentes predominantemente populares en un sistema de innovación, ni los que mantienen relaciones directas con todos los demás tipos de agentes. El caso del agente A42 es interesante, porque además de sus capacidades de investigación y desarrollo, también tiene altas capacidades de producción, configurándose, así como un «Explorador-Explotador», este podría ser, por ejemplo, una empresa que tenga su propio centro de I+D, a partir del cual se enriquezca su portafolio de productos a

comercializar [2] [11]. Los agentes A10 y A26, representados en la Tabla 2. Se ubican en las zonas centrales de los gráficos presentados, se especializan en las capacidades de producción y mercadeo, y su stock de excedentes de tendencia creciente convirtiéndose así en «Explotadores», estos en un sistema de innovación son principalmente las firmas que usan el conocimiento, cuya actividad económica está orientada a la manufactura y comercialización de bienes de consumo masivo [11].

Entre los agentes que aparecen en 3 de las 4 redes, estos inician su aparición en la segunda red, siendo agentes que nacen en el transcurso de la simulación; el agente A15, representado en la Tabla 3. Es la única excepción, pues aparece desde la primera red, pero para la Red 4 ha desaparecido. Cuando se analizan sus indicadores, estos tienen los valores inferiores entre todo el conjunto de agentes del grupo 2, su stock de excedentes es de tendencia decreciente y nunca logra especializarse en ninguna de las capacidades de innovación, teniendo así el perfil de *Latecomer*, estas condiciones terminan por traducirse en la muerte del agente competitivo; en el contexto de un sistema de innovación puede tratarse de un emprendedor sin un horizonte claro ni unas capacidades acumuladas en particular [73].

Tabla 1. Vector de Capacidades Exploradores. Fuente: autores.

Agente	Red 1	Red 2	Red 3	Red 4
A 42	[6.7 8.5 0.9 0.5 6.6 1.5]	[8.3 8.8 0.2 0.1 7.9 0.7]	[8.9 8.7 0.1 0.1 8.5 0.1]	[8.9 8.9 0.1 0.1 8.8 0.1]
A 65	[8.5 0 1.5 0.9 2.3 0]	[8.9 0 0.7 0.2 1.1 0]	[8.9 0 0.3 0.1 0.9 0]	[8.9 0 0.1 0.1 0.4 0]
A 85	[7.5 6.6 0.5 0.9 0.8 0]	[8.6 7.9 0.1 0.2 0.2 0]	[8.9 8.7 0.1 0.1 0.1 0]	[8.9 8.9 0.1 0.1 0.1 0]

Tabla 2. Vector de Capacidades Explotadores. Fuente: autores.

Agente	Red 1	Red 2	Red 3	Red 4
A 10	[0.9 4.7 2.5 0.6 3.6 7.5]	[0.2 5.4 0.7 0.3 5.6 8.3]	[0.1 4.7 0.1 0.1 7.9 8.7]	[0.1 1.9 0.1 0.1 8.7 8.8]
A 26	[0 4 0.9 0 4.7 7.5]	[0 3.4 0.2 0 7.5 8.3]	[0 4 0.1 0 8.6 8.5]	[0 4.7 0.1 0 8.9 8.8]

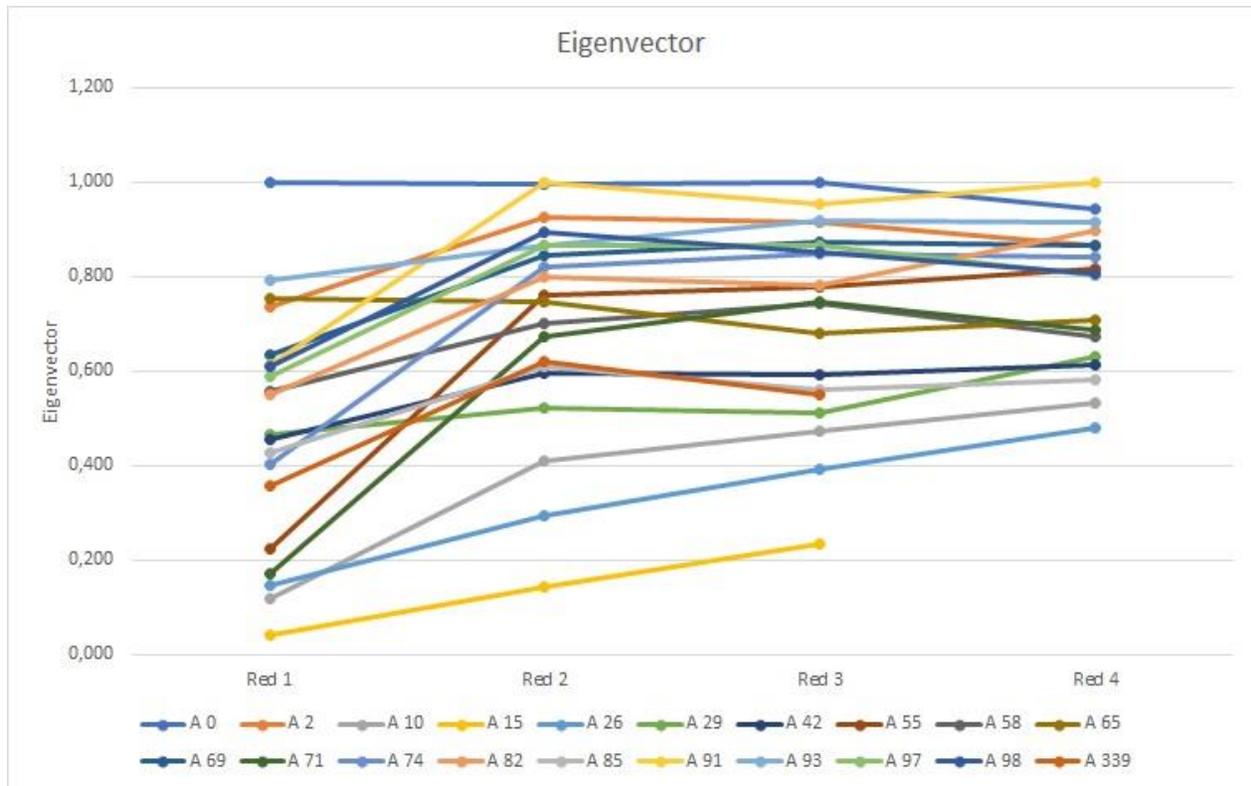


Fig. 5. Eigenvector. Fuente: autores.

Finalmente, se indica cuál es el perfil de los agentes que se ubican en la parte superior de los gráficos y tienen mejores indicadores asociados. Los agentes A0, A2, A91, A93 y A98, representados en la Tabla 4, cumplen con estas características y se destacan como miembros importantes de la red durante todo el periodo de simulación estudiado, estos, a su vez, logran especializarse no solo en una, sino en múltiples capacidades; adicionalmente son los que determinan la existencia de las comunidades y son el eje central de aquellas a las que pertenecen [72]. Aunque su stock de excedentes es irregular, estos se mantienen vivos y son la base primordial de la red; tienen el perfil de «Explorador-Intermediario-Explotador» o intermediario puro, como en el caso de A98. En el contexto de los sistemas de innovación, un ejemplo de firmas con este perfil son las compañías de tecnología que se encargan de desarrollar sus propias innovaciones, difundirlas y

comercializarlas, pudiendo así explotar y beneficiarse de la cadena de innovación completa; empresas como estas son líderes en desarrollo de conocimiento, en innovación y en el mercado, tienen grandes infraestructuras, grandes recursos, son típicamente la fuente de ingresos de sus proveedores, y se convierten en epicentros empresariales [11], [74], [67].

### 3.2 Indicadores de nivel completo

De la Tabla 5 se puede desplegar lo siguiente: respecto al número de nodos, se observa que inicialmente decae, pero cuando el sistema va alcanzado su madurez, esta cifra tiende a estabilizarse. Respecto al número de vínculos se observa que conforme la red se estabiliza, aun cuando el número de nodos es menor al inicial, el número de relaciones es significativamente mayor, de ahí se deduce que la supervivencia de los actores que permanecen dentro de la red está asociada

Tabla 3. Vector de Capacidades Latecomers. Fuente: autores.

Agente	Red 1	Red 2	Red 3	Red 4
A 15	[1.7 0 0 2.8 2.8 1.9]	[0.8 0 0 3.4 2.3 2.4]	[0.2 0 0 5.4 0.7 1.9]	N/A

Tabla 4. Vector de Capacidades Exploradores-Explotadores-Intermediarios. Fuente: autor.

Agente	Red 1	Red 2	Red 3	Red 4
A 0	[8.5 8.1 5 8.5 2.4 5.6]	[8.9 8.8 7.5 8.9 1.9 7.9]	[8.9 8.9 8.6 8.9 3.6 8.7]	[8.9 8.9 8.9 8.9 5.6 8.]
A 2	[7.4 7.7 0.5 8 8.2 0.9]	[8.3 7.3 0.1 8.6 8.3 0.2]	[8.19 5.8 0.19 8.9 8.5 0.1]	[5.9 2.6 0.1 8.9 7 0.1]
A 91	[5.4 7.5 8.5 7.7 0 8.5]	[6 8.6 8.6 5.2 0 8.9]	[8.1 8.9 8.9 7.7 0 8.9]	[8.8 8.9 8.9 8.6 0 8.9]
A 93	[1.2 6.6 7.5 5 8.1 8.1]	[0.3 7.9 8.3 3 8.3 7.8]	[0.1 8.7 8.9 3.6 8.9 8.19]	[0.1 8.9 8.9 1.1 8.9 8.6]
A 98	[2.4 6.6 5 8.5 6.6 3]	[0.7 6 2.4 8.8 4.7 1.5]	[0.1 3.4 1.5 8.9 1.9 0.7]	[0.1 1.1 0.4 8.9 0.5 0.2]

Tabla 5. Indicadores de Nivel Completo. Fuente: autores.

Indicador	Red 1	Red 2	Red 3	Red 4
# Nodos	34	23	27	26
# Aristas	246	277	346	343
Grado Medio	7,235	12,043	12,815	13,192
Densidad	0,219	0,547	0,493	0,528
Modularidad	0,166	0,048	0,064	0,043
# Comunidades	4	3	4	4
Coef de Clusterización Medio	0,320	0,615	0,592	0,615

a los vínculos que van creando en el tiempo [52], [53]. Es importante tener en cuenta que estos vínculos indican que los agentes están aprendiendo vía la interacción y vía hacer, mostrando que la acumulación y desacumulación de sus capacidades de innovación los lleva a especializarse; este fenómeno vuelve a los agentes más eficientes, pero a su vez más dependientes de sus vínculos con agentes que los complementan, siendo esto coherente con el comportamiento observado de los vínculos y con los trabajos de [9] y [75], [76].

Del grado medio también se observa una tendencia creciente con el avance del tiempo, en la primer red que es inestable y apenas se está configurando, los agentes se relacionan en promedio con otros 7 agentes, pero en la red 4 se observa que dicho promedio ha crecido (casi se duplica) aun cuando el número de nodos ha

decrecido; para el año 18 se puede afirmar que un nodo en promedio tiene asociados 13 vínculos directos con otros nodos (no necesariamente 13 nodos distintos puesto que el grafo es dirigido). Este valor se corrobora con el coeficiente de clusterización medio, donde se observa que inicialmente en el año 3, un agente se relacionaba en promedio con el 32 % de los demás actores de la red, pero posteriormente el valor crece alrededor de 30 puntos porcentuales, alcanzando la red una cohesión importante [74].

La densidad tiene un aumento significativo con el paso del tiempo, tanto que logra alcanzar un valor del 52,8 % una vez transcurridos 18 años. La red alcanza un nivel de cohesión importante, pues más de la mitad de los vínculos posibles se han convertido en una realidad; esto alienta la red y disminuye las probabilidades individuales de que un nodo desaparezca,

pues no tiene dependencias exclusivas (por ejemplo, si es una empresa, no tiene un único cliente y la desaparición o supervivencia de uno no está ligada directamente a la del otro). Dada la reducción del número de nodos, el aumento en el número de vínculos, en el grado medio y en la cohesión, se encuentra que la red se ha vuelto sostenible en términos de supervivencia [72].

Respecto a la modularidad, sería positivo para la red que el valor decrezca, pues indica que las comunidades presentes no son completamente excluyentes entre sí y que la red no está dominada por una gran cantidad de grupos pequeños y aislados; si bien el número de comunidades se mantiene estable, al contrastar con el número de nodos se puede identificar que las comunidades presentes al inicio no desaparecen si no que maduran paralelamente a la totalidad de la red [77]. Es importante tener en cuenta que el valor para el número de comunidades puede verse afectado por los agentes que nacen al final de los años que se están estudiando, esto se debe a que el agente nace, pero aún no ha creado ningún vínculo ni aprovechado ninguna oportunidad, y como está aislado, el algoritmo de *Gephi* lo reconoce como integrante de una nueva comunidad a la que solo él pertenece. En la Fig.6 se ilustra la presencia de las comunidades discriminando cada una de ellas con diferentes colores, allí se valida que 3 comunidades permanecen en el tiempo y son importantes para la red, también la no exclusión entre ellas evidenciada con líneas de diferente color, tanto entrantes como salientes de todas las comunidades, y el tema de los actores

recién nacidos que por sí mismos constituyen una comunidad entera [52].

En resumen, la red se vuelve más estable y madura en el tiempo, su cohesión y densidad aumentan, así como el relacionamiento general de los diferentes agentes. No se observan modularidades altas que indiquen grupos de trabajo aislados; otro indicador conocido como excentricidad, la cual indica la distancia máxima entre un nodo y otro en términos de número de nodos intermedios también es baja, los nodos más lejanos se encuentran a 4 posiciones entre sí, lo que indica la alta probabilidad que tienen los agentes de relacionarse con cualquier otro agente de la red; todas estas condiciones se traducen en oportunidades favorables para la red, en estabilidad, cooperación, entre otros. Hablando puntualmente de un sistema de innovación, es una red con capacidad para aprovechar las oportunidades de innovación que vayan surgiendo en el entorno competitivo y que cuenta con agentes suficientes en los diferentes roles, es decir, el sistema de innovación es completo, pues hay los tipos de agente presentes garantizan la generación, difusión y uso de conocimiento y tecnología [76]. En los indicadores de nivel nodal se observa si estos actores se sostienen el tiempo, si agentes que nacen tiene posibilidades de entrar en la red o si por el contrario es difícil vincularse al sistema y este tiende a ser cerrado, si hay nodos muy centralizados de los cuales dependa gran parte de la red, si los roles de los agentes determinan posiciones en particular dentro del sistema, cómo se comporta el stock de excedentes, entre otros.

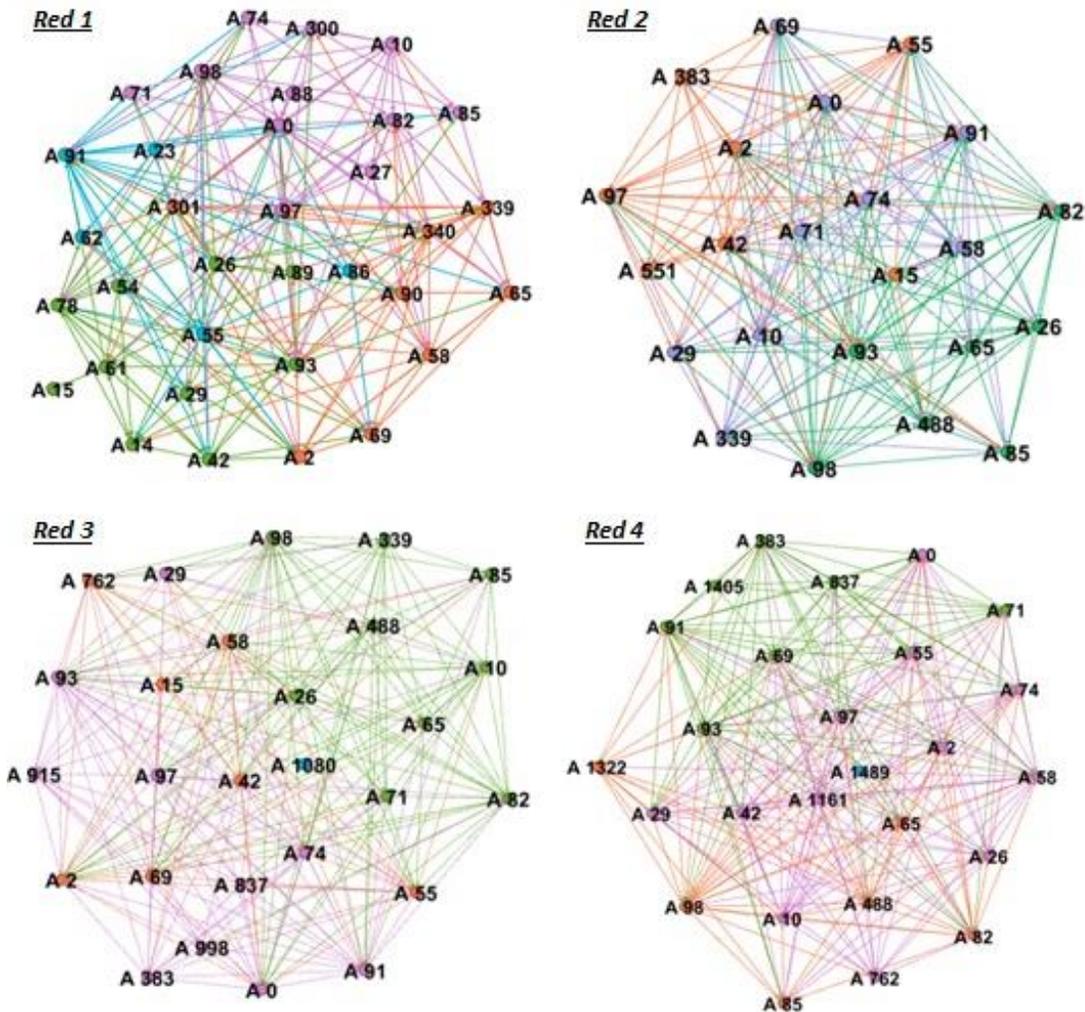


Fig. 6. Grafos Modularidad. Fuente: autores.

#### 4. CONCLUSIONES

El análisis de redes sociales es una herramienta eficaz que enriquece el estudio que se puede construir a partir de otras metodologías, como la simulación basada en agentes; mientras esta última permite estudiar el comportamiento en el tiempo de las variables que componen un sistema, siendo así un análisis de carácter global, el análisis de redes sociales da complementariedad a dicha perspectiva ya que amplía el análisis global a través de los indicadores de nivel completo, pero también permite profundizar en un nivel de detalle particular entendiendo las

relaciones y participación de cada agente al interior del sistema a través de los indicadores de nivel individual. A partir de dicha complementariedad, se pueden identificar los puntos de apalancamiento del sistema de innovación, de modo que el análisis sirve de orientación a las decisiones de política pública que tratan de promover los sistemas regionales, sectoriales y nacionales de innovación. Finalmente, un posible trabajo a futuro es validar la discusión presentada en este artículo corroborando los resultados con sistemas de innovación empíricos reales, también para validar el análisis realizado con estadística descriptiva, es de interés

recurrir a un análisis de redes sociales con grafos dinámicos o longitudinales, esto permite analizar indicadores como el número de nodos, número de aristas, grado medio y coeficiente de clusterización tanto en instantes de tiempo discretos como de manera general durante todo el periodo evaluado, de modo que sea posible precisar las inferencias ya realizadas.

Para la existencia y supervivencia de los sistemas de innovación son indispensables las relaciones entre los agentes que hacen parte de dichos sistemas, es decir, la estructura de red; para ello el papel de los intermediarios se hace indispensable, particularmente en los primeros años de la red, también se observa que las redes densas así como excentricidades pequeñas favorecen el flujo y la difusión rápida del conocimiento y la tecnología, por otra parte la modularidad y centralidad de grado moderados proporcionan estabilidad al sistema al no volverlo dependiente de uno o pocos agentes, y se evidencia que la presencia de los diferentes tipos de actores como los exploradores, explotadores e intermediarios es importante para que el sistema cuente con variedad de capacidades de innovación, con las que se pueda aprovechar las oportunidades de innovación que se presenten en un entorno competitivo. Finalmente, sin relaciones no hay sistema de innovación, dichos vínculos permiten los diferentes tipos de aprendizaje tanto para cada agente en particular como para el sistema en general.

El modelo con el cual se realizaron las simulaciones a las cuales se le realizó el ARS, como es el caso de cualquier modelo, es una representación de la realidad que puede ser refinado, complementado y modificado, en este caso se pueden adicionar nuevos parámetros y/o relaciones en trabajos posteriores; estas extensiones del modelo pueden estar enfocadas en los siguientes retos: 1) Considerar la herencia y reproducción en los agentes competidores, por ejemplo, mediante la

creación de *spin-off* que hereden las capacidades de los agentes de origen y estos tomen la decisión de des-acumularlas, siendo una alternativa para el des-aprendizaje. 2) Darles a los agentes la posibilidad de imitación, donde estos puedan competir por medio de esta estrategia por las oportunidades de innovación que ya se han aprovechado, mediante la incorporación de reglas adoptadas de los modelos de difusión de las innovaciones. 3) Diferenciar los vínculos, no solo por sus Costos de Transacción dependiendo de la tipología de los agentes que lo forman, como propone el modelo, sino también diferenciando los enlaces débiles y fuertes, con los cuales se obtiene diferentes tipos de información y se generan costos de mantenimiento y transacción desiguales. 4) Priorizar los vínculos entre agentes, de acuerdo con el éxito o fracaso de relacionamientos anteriores, generando rutinas que condicionan la interacción. Estos refinamientos del modelo se pueden nuevamente analizar mediante ARS para identificar nuevos insumos que brinden una comprensión más profunda de los sistemas y redes de innovación.

## 5. REFERENCIAS

- [1] N. Aguilar-Gallegos, E. G. Martínez-González, J. Aguilar-Ávila, H. Santoyo-Cortés, M. Muñoz-Rodríguez, and E. I. García-Sánchez, "Análisis de redes sociales para catalizar la innovación agrícola: de los vínculos directos a la integración y radialidad," *Estud. Gerenciales*, vol. 32, no. 140, pp. 197–207, Jul. 2016.
- [2] C. Freeman and L. Soete, *The Economics of Industrial Innovation*, 1st ed. London: Rutledge Taylor and Francis Group, 1997.
- [3] B. Lundvall, "National Innovation Systems—Analytical Concept and Development Tool," *Ind. Innov.*, vol. 14, no. 1, pp. 95–119, Feb. 2007.
- [4] N. Aguilar Gallegos, J. A. Olvera Martínez, E. G. González Martínez, J. Aguilar Ávila, M. Muñoz Rodríguez, and H. Santoyo Cortés, "The network intervention for catalysing

- agricultural innovation,” *Redes. Rev. Hisp. para el análisis redes Soc.*, vol. 28, no. 1, p. 9, May 2017.
- [5] J. Robledo-Velásquez, *Introducción a la Gestión de la Tecnología y la Innovación*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2017.
- [6] M. Soto, “Transferencia Tecnológica, ¿Qué podemos aprender de la experiencia internacional?,” *J. Technol. Manag. Innov.*, vol. 1, no. 3, pp. 1–3, 2006.
- [7] C. J. R. Benítez, “Estrategias Territoriales de Innovación y Transferencia de Tecnología,” *Cienc. en su PC*, no. 2, pp. 1–10, 2007.
- [8] B. Weber and S. Heidenreich, “When and with whom to cooperate? Investigating effects of cooperation stage and type on innovation capabilities and success,” *Long Range Plann.*, vol. 51, no. 2, pp. 334–350, Apr. 2018.
- [9] W. L. Ruiz Castañeda, S. Quintero Ramírez, and J. Robledo Velásquez, “Impacto de los Intermediarios en los Sistemas de Innovación,” *J. Technol. Manag. Innov.*, vol. 11, no. 2, pp. 130–138, Jun. 2016.
- [10] D. Ernst, L. Mytelka, and T. Ganiatsos, “Technological capabilities in the context of export-led growth. A conceptual framework,” in *Technological Capabilities and Export Success in Asia*, Routledge, Ed. Routledge, 2003, pp. 21–61.
- [11] W. L. R. Castañeda, “Análisis del impacto de los intermediarios en los sistemas de innovación: Una propuesta desde el modelado basado en agentes,” Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2016.
- [12] M. Mitchell, *Complexity: A Guided Tour*. New York: Oxford University Press, 2011.
- [13] D. A. Luke and K. A. Stamatakis, “Systems science methods in public health: dynamics, networks, and agents,” *Annu. Rev. Public Health*, vol. 33, no. 1, pp. 357–76, Apr. 2012.
- [14] M. Semitiel and P. Noguera, “Los Sistemas Productivos Regionales desde la perspectiva del Análisis de Redes,” *Rev. Hisp. para el análisis redes Soc.*, vol. 6, pp. 79–105, 2004.
- [15] T. L. Frantz, “Advancing Complementary and Alternative Medicine through Social Network Analysis and Agent-Based Modeling,” *Forschende Komplementärmedizin / Res. Complement. Med.*, vol. 19, no. s1, pp. 36–41, 2012.
- [16] R. Aziza, A. Borgi, H. Zgaya, and B. Guinhouya, “Simulating Complex systems: Complex system theories, their behavioural characteristics and their simulation,” in *8th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, 2016.
- [17] M. Granovetter, “The Strength of Weak Ties: A Network Theory Revisited,” *Sociol. Theory*, vol. 1, pp. 201–233, 1983.
- [18] R. Burt and M. Minor, *Applied Network Analysis: A Methodological Introduction*, 1st ed. Chicago: Sage Publications, 1983.
- [19] L. S. Menéndez, “Análisis de redes sociales: o cómo representar las estructuras sociales subyacentes,” *Apunt. Cienc. y Tecnol.*, no. 7, pp. 21–29, 2003.
- [20] M. S. Granovetter, “The Strength of Weak Ties,” in *Social Networks*, vol. 78, no. 6, Elsevier, 1977, pp. 347–367.
- [21] R. Burt, *Structural Holes: The Social Structure of Competition*. Cambridge: Harvard University Press, 1992.
- [22] T. Frantsi, V. Harmaakorpi, and S. Parjanen, “Collective creativity and brokerage functions in heavily cross-disciplined innovation processes,” *Interdiscip. J. Information, Knowledge, Manag.*, vol. 5, pp. 1–21, 2010.
- [23] S. Parjanen, H. Melkas, and T. Uotila, “Distances, Knowledge Brokerage and Absorptive Capacity in Enhancing Regional Innovativeness: A Qualitative Case Study of Lahti Region, Finland,” *Eur. Plan. Stud.*, vol. 19, no. 6, pp. 921–948, Jun. 2011.
- [24] R. Smits, “Innovation studies in the 21st century,” *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 69, no. 9, pp. 861–883, Dec. 2002.
- [25] G. M. Winch and R. Courtney, “The Organization of Innovation Brokers: An International Review,” *Technol. Anal. Strateg. Manag.*, vol. 19, no. 6, pp. 747–763, Nov. 2007.
- [26] A. Hargadon and R. I. Sutton, “Technology brokering and innovation in a product development firm,” *Adm. Sci. Q.*, vol. 42, no. 4, pp. 716–749, 1997.
- [27] H. E. Aldrich and M. A. Von Glinow, “Business start-ups: the HRM imperative,” in *International Perspectives on Entrepreneurial Research*, S. Birley, Ed. New York: North-Holland, 1992, pp. 233–253.
- [28] K. G. Provan and S. E. Human, “Organizational learning and the role of the network broker in small-firm manufacturing networks,” in *Interfirm Networks: Organization and Industrial Competitiveness*, A. Grandori, Ed. London: Routledge Studies in Business Organizations and Networks, 1999, pp. 185–207.
- [29] N. Suvinen, J. Konttinen, and M. Nieminen, “How Necessary are Intermediary Organizations in the Commercialization of Research?,” *Eur. Plan. Stud.*, vol. 18, no. 9, pp. 1365–1389, Sep. 2010.
- [30] S. A. Roxas, G. Piroli, and M. Sorrentino, “Efficiency and evaluation analysis of a network of technology transfer brokers,” *Technol. Anal. Strateg. Manag.*, vol. 23, no. 1, pp. 21–44, 2011.
- [42] TecnoLógicas, ISSN-p 0123-7799 / ISSN-e 2256-5337, Vol. 22, No. 44, enero-abril de 2019, pp. 21-44

- 1, pp. 7–24, 2011.
- [31] E. Autio, S. Kanninen, and R. Gustafsson, “First- and second-order additionality and learning outcomes in collaborative R&D programs,” *Res. Policy*, vol. 37, no. 1, pp. 59–76, Feb. 2008.
- [32] J. Nahapiet and S. Ghoshal, “Social capital, intellectual capital, and the organizational advantage,” *Acad. Manag. Rev.*, vol. 23, no. 2, pp. 242–266, 1998.
- [33] M. Callon, “The state technical innovation: a case study of the electric vehicle in France,” *Res. Policy*, vol. 9, pp. 358–376, 1980.
- [34] M. Callon, “Is Science a Public Good? Fifth Mullins Lecture, Virginia Polytechnic Institute, 23 March 1993,” *Sci. Technol. Hum. Values*, vol. 19, no. 4, pp. 395–424, Oct. 1994.
- [35] B. van der Meulen and A. Rip, “Mediation in the Dutch science system,” *Res. Policy*, vol. 27, no. 8, pp. 757–769, Dec. 1998.
- [36] B. McEvily and A. Zaheer, “Bridging ties: a source of firm heterogeneity in competitive capabilities,” *Strateg. Manag. J.*, vol. 20, pp. 1133–1156, 1999.
- [37] J. D. Wolpert, “Breaking out of the innovation box,” *Harv. Bus. Rev.*, vol. 80, no. 8, pp. 76–83, Aug. 2002.
- [38] M. Pérez Pérez and A. M. Sánchez, “The development of university spin-offs: early dynamics of technology transfer and networking,” *Technovation*, vol. 23, no. 10, pp. 823–831, Oct. 2003.
- [39] L. Dahlander, *Managing beyond firm boundaries: Leveraging user innovation networks*. Chalmers University of Technology, 2006.
- [40] S. D. Pawlowski and D. Robey, “Bridging User Organizations: Knowledge Brokering and the Work of Information Technology Professionals,” *MIS Q.*, vol. 28, no. 4, pp. 645–672, 2004.
- [41] L. Klerkx and A. Proctor, “Beyond fragmentation and disconnect: Networks for knowledge exchange in the English land management advisory system,” *Land use policy*, vol. 30, no. 1, pp. 13–24, Jan. 2013.
- [42] T. Hahn, P. Olsson, C. Folke, and K. Johansson, “Trust-building, Knowledge Generation and Organizational Innovations: The Role of a Bridging Organization for Adaptive Comanagement of a Wetland Landscape around Kristianstad, Sweden,” *Hum. Ecol.*, vol. 34, no. 4, pp. 573–592, Oct. 2006.
- [43] J. Sapsed, A. Grantham, and R. DeFillippi, “A bridge over troubled waters: Bridging organisations and entrepreneurial opportunities in emerging sectors,” *Res. Policy*, vol. 36, no. 9, pp. 1314–1334, Nov. 2007.
- [44] W. P. Boon, E. H. Moors, R. Nahuis, and R. L. Vandeberg, “User-producer interactions in emerging pharmaceutical and food innovations,” *Int. J. Innov. Manag.*, vol. 12, no. 3, pp. 459–487, 2008.
- [45] M. Dobbins *et al.*, “A description of a knowledge broker role implemented as part of a randomized controlled trial evaluating three knowledge translation strategies,” *Implement. Sci.*, vol. 4, no. 1, p. 23, Dec. 2009.
- [46] Y. Kirkels and G. Duysters, “Brokerage in SME networks,” *Res. Policy*, vol. 39, no. 3, pp. 375–385, Apr. 2010.
- [47] J. Wu, M. Liu, Z. Li, and Y. Wang, “Cluster Density, External Search and Innovation Performance: Evidence from the ZGC Science Park,” in *2010 International Conference on Management and Service Science*, 2010, pp. 1–4.
- [48] O. Gassmann, M. Daiber, and E. Enkel, “The role of intermediaries in cross-industry innovation processes,” *R&D Manag.*, vol. 41, no. 5, pp. 457–469, Nov. 2011.
- [49] S. Nambisan and M. Sawhney, “Orchestration processes in network-centric innovation: Evidence from the field,” *Acad. Manag. Perspect.*, vol. 25, no. 3, pp. 40–57, 2011.
- [50] H. Graf, “Gatekeepers in regional networks of innovators,” *Cambridge J. Econ.*, vol. 35, no. 1, pp. 173–198, Jan. 2011.
- [51] S. Wasserman and K. Faust, *Social Network Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- [52] N. Aguilar, E. Martínez, and J. Aguilar, *Análisis de Redes Sociales: Conceptos Clave y Cálculo de Indicadores*. Chapingo: Universidad Autónoma Chapingo, 2017.
- [53] P. G. Reza, “Capital social y desarrollo económico. Un estudio de las redes de innovación en España,” Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 2011.
- [54] M. Albornoz and C. Alfaraz, “Diseño de una metodología para la medición del impacto de los centros de excelencia. Documento de Trabajo,” *Redes Cent. Estud. sobre Ciencia, Desarro. y Educ. Super.*, p. 33, 2008.
- [55] A. Borshchev and A. Filippov, “From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Model: Reasons, Techniques, Tools,” in *The 22nd International System Dynamics Conference*, 2004, p. 23.
- [56] R. Axelrod, “Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences,” in *Handbook of Research on Nature Inspired Computing for Economy and Management*, Hershey: Idea Group Reference, 1997, pp. 21–40.
- [57] H. Rahmandad and J. Sterman,

- “Heterogeneity and Network Structure in the Dynamics of Diffusion: Comparing Agent-Based and Differential Equation Models,” *Manage. Sci.*, vol. 54, no. 5, pp. 998–1014, May 2008.
- [58] E. Kiesling, M. Günther, C. Stummer, and L. M. Wakolbinger, “Agent-based simulation of innovation diffusion: a review,” *Cent. Eur. J. Oper. Res.*, vol. 20, no. 2, pp. 183–230, Jun. 2012.
- [59] J. García and F. Sancho, *NetLogo: Una Herramienta de Modelado*. Laboratorio CulturePlex, 2016.
- [60] J. García-Valdecasas, *Simulación Basada en Agentes. Introducción a NetLogo*. Madrid: Centro de Investigaciones Sociológicas, 2016.
- [61] J. Barney, “Firm Resources and Sustained Competitive Advantage,” *J. Manage.*, vol. 17, no. 1, pp. 99–120, Mar. 1991.
- [62] E. Pnerose, *The Theory of the Growth of the Firm*, 4th ed. New York: John Wiley, 1959.
- [63] B. Wernerfelt, “A resource-based view of the firm,” *Strateg. Manag. J.*, vol. 5, no. 2, pp. 171–180, Apr. 1984.
- [64] D. J. Teece, G. Pisano, and A. Shuen, “Dynamic capabilities and strategic management,” *Strateg. Manag. J.*, vol. 18, no. 7, pp. 509–533, Aug. 1997.
- [65] P. Bonacich, “Power and Centrality: a Family of Measures,” *Am. J. Sociol.*, vol. 92, no. 5, pp. 1170–1182, 1987.
- [66] R. L. de Andrade and L. C. Rêgo, “The use of nodes attributes in social network analysis with an application to an international trade network,” *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, vol. 491, pp. 249–270, Feb. 2018.
- [67] M. H. Batterink, E. F. M. Wubben, L. Klerkx, and S. W. F. (Onno) Omta, “Orchestrating innovation networks: The case of innovation brokers in the agri-food sector,” *Entrep. Reg. Dev.*, vol. 22, no. 1, pp. 47–76, Jan. 2010.
- [68] L. Klerkx, A. Hall, and C. Leeuwis, “Strengthening agricultural innovation capacity: are innovation brokers the answer?,” *Int. J. Agric. Resour. Gov. Ecol.*, vol. 8, no. 5/6, p. 409, 2009.
- [69] L. Klerkx and C. Leeuwis, “Matching demand and supply in the agricultural knowledge infrastructure: Experiences with innovation intermediaries,” *Food Policy*, vol. 33, no. 3, pp. 260–276, Jun. 2008.
- [70] M. Ramirez, P. Bernal, I. Clarke, and I. Hernandez, “The role of social networks in the inclusion of small-scale producers in agri-food developing clusters,” *Food Policy*, vol. 77, pp. 59–70, May 2018.
- [71] S. Monaghan, J. Lavelle, and P. Gunnigle, “Mapping networks: Exploring the utility of social network analysis in management research and practice,” *J. Bus. Res.*, vol. 76, pp. 136–144, Jul. 2017.
- [72] L. Freeman, “Centrality in social networks conceptual clarification,” *Cent. Soc. networks*, no. 1, pp. 215–239, 1978.
- [73] S. Q. Ramírez, W. L. Ruiz Castañeda, and J. R. Velásquez, “Representation of unlearning in the innovation systems: A proposal from agent-based modeling,” *Estud. Gerenciales*, vol. 33, no. 145, pp. 366–376, Oct. 2017.
- [74] S. Quintero Ramirez, W. L. Ruiz Castañeda, and J. Robledo Velásquez, “Aprendizaje en los sistemas regionales de innovación: Un modelo basado en agentes,” *Cuad. Adm.*, vol. 33, no. 57, pp. 7–20, Oct. 2017.
- [75] D. Watts and S. Strogatz, “Collective dynamics of small-world networks,” *Nature*, vol. 393, no. 6684, pp. 440–442, 1998.
- [76] B. Carlsson, S. Jacobsson, M. Holmén, and A. Rickne, “Innovation systems: analytical and methodological issues,” *Res. Policy*, vol. 31, no. 2, pp. 233–245, Feb. 2002.
- [77] J. Robledo-Velásquez, *Introducción a la Gestión Tecnológica*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 2017.