

EL DES-APRENDIZAJE EN UN SISTEMA DE INNOVACIÓN: UNA PERSPECTIVA DESDE LA INTERACCIÓN ENTRE AGENTES

SANTIAGO QUINTERO RAMÍREZ

Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia

santiago.quintero@upb.edu.co

WALTER LUGO RUÍZ CASTAÑEDA

Universidad Nacional de Colombia, Sede – Medellín, Colombia

wlruizca@unal.edu.co

JORGE ROBLEDO VELÁSQUEZ

Universidad Nacional de Colombia, Sede – Medellín, Colombia

jrobledov@unal.edu.co

RESUMEN

El enfoque del des-aprendizaje, entendido como el rompimiento de la inercia del aprendizaje pasado frente al entorno, es un factor importante a la hora de comprender el esfuerzo voluntario que las firmas realizan para abandonar las capacidades que ya no son necesarias para competir en un sistema de innovación. Desde esta perspectiva, el des-aprendizaje es un fenómeno complejo que emerge junto con el aprendizaje. Modelar y simular el des-aprendizaje, permite conocer comportamientos emergentes producto no sólo del aprendizaje, sino también de las interacciones fallidas de los agentes y el entorno en que se desempeñan. El objetivo de este trabajo es representar el des-aprendizaje desde la perspectiva de la modelación basada en agentes. Para tal fin se realizaron tres fases. La primera fase fue de conceptualización, cuyo objetivo fue capturar los principales conceptos y requerimientos del sistema. La segunda fase se orientó al análisis y el diseño del modelo, obteniéndose la construcción conceptual del mismo. La fase tres consistió en traducir las fases anteriores a un código fuente en la plataforma Netlogo y su posterior verificación (estructura y comportamiento) computacional, para luego finalizar con los resultados y el análisis. Como conclusión, se obtuvo un modelo que permite representar el des-aprendizaje como una variación negativa en la acumulación de las capacidades; dicha variación depende del factor de des-aprendizaje y aprendizaje que adopten las firmas en un sistema de innovación. El modelo posibilita simular escenarios que relacionan los diferentes factores de des-aprendizaje y analiza, como resultados particulares, el equilibrio del sistema y la inhabilitación y desaparición de agentes.

INTRODUCCIÓN

La literatura de los sistemas de innovación (en lo sucesivo SI) resalta el conocimiento, el aprendizaje y la innovación como factores importantes para la competitividad global en una economía basada en el conocimiento (Lundvall, 1992; OECD, 2000). Sin embargo, el deterioro y la retención de la base de conocimiento de las organizaciones requieren de particular atención, debido a que las firmas no sólo adquieren nuevos conocimientos y aprenden como producto de sus interacciones, sino que también descartan algunos otros conocimientos voluntariamente, poniendo de manifiesto el fenómeno del des-aprendizaje. Del mismo modo, la literatura ha reconocido que las rutinas y viejas prácticas que son olvidadas intencionalmente, juegan un papel primordial a la hora de decidir en qué des-aprende y aprende la organización. El des-aprendizaje como un rompimiento de la inercia del aprendizaje pasado frente al medio o entorno (Hannan & Freeman, 1984), es comprendido en

la literatura como aquel esfuerzo voluntario que la organización realiza para librarse del conocimiento que ya no es necesario. Este argumento pone de manifiesto el hecho de que las firmas deben des-aprender de alguna manera las rutinas y las viejas prácticas, con el fin de aprender más adecuadas y mejoradas formas de hacer las cosas; en otras palabras, deben decidir qué capacidades acumular y cuáles des-acumular o no usar.

Por otro lado, algunos investigadores han argumentado que las firmas pueden olvidar accidentalmente; es decir, el conocimiento se puede perder sin ningún deseo explícito de eliminarlo de la organización. Varios autores han documentado cómo el conocimiento acumulado de una organización puede disiparse rápidamente y sin querer (Argote, Beckman, & Epple, 1990; Darr, Argote, & Epple, 1995; Argote, 1999) y cómo este olvido involuntario puede tener serios efectos negativos en la productividad, la rentabilidad y la competitividad (Argote, 1999, p. 60). Sin embargo, en el contexto estratégico de las organizaciones, el des-aprendizaje ocurre voluntariamente, debido a que las organizaciones crecen y se hacen más complejas, haciendo necesario convertir y readecuar sus estructuras formales, procedimientos, sistemas, rutinas y procesos en congruencia con la lógica dominante (Bettis, Wong, & Blettner, 2011) del mercado en el cual se desempeñan e interactúan.

Desde esta perspectiva, entonces, el des-aprendizaje puede ser considerado un fenómeno complejo que emerge en los SI al igual que el aprendizaje. El hecho de que las firmas aprendan nuevas y más apropiadas formas de hacer las cosas a través del uso y acumulación de sus capacidades implica, de alguna manera, dejar de usar y acumular algunas otras capacidades y viejas prácticas adquiridas de tiempo atrás. Desde esta perspectiva, entonces, podríamos preguntarnos cómo algunas regiones y sus agentes des-aprenden. Es sabido que la acumulación y des-acumulación de las capacidades le permite a las organizaciones adaptarse a los nuevos requerimientos del entorno y responder a las oportunidades de innovación. Sin embargo, los modelos tradicionales de los SI no han representado con claridad la complejidad del proceso de aprendizaje, mucho menos del des-aprendizaje. Modelar y simular el des-aprendizaje permite conocer comportamientos emergentes producto de la interacción o no de sus agentes y su entorno.

El presente trabajo tiene como objetivo representar el des-aprendizaje de un SI bajo la perspectiva de la modelación basada en agentes (en lo sucesivo ABM). Para tal fin, la primera fase establece un marco conceptual; a través de la exploración, se capturan los conceptos y requerimientos del sistema, como por ejemplo, el des-aprendizaje, el olvido, las oportunidades de innovación (entendidas como la demanda del entorno) y las características de los agentes, así como reglas de decisión para la interacción. La segunda fase se orienta al análisis, diseño y construcción del modelo, obteniéndose como resultado el modelo conceptual. En la fase tres se traducen los resultados de las fases anteriores a un código fuente en la plataforma Netlogo versión 5.1.0, para luego verificar la estructura y el comportamiento del modelo computacional resultante. El trabajo finaliza con el análisis de los resultados y las conclusiones pertinentes.

FASE DE CONCEPTUALIZACIÓN

Las diferentes perspectivas de los SI se han caracterizado por abordar problemáticas de carácter *top-down* más propias de los sistemas nacionales de innovación, dejando relegada la investigación bajo otras perspectivas como, por ejemplo, las perspectivas *bottom up* (Howells, 1999; Iammarino, 2005; Uyarra, 2010). Actualmente los métodos convencionales de análisis de los SI, y en particular de los sistemas regionales de innovación (SRI) y sus diferentes

tipologías, muestran dificultades a la hora de describir dinámicas complejas como lo son los procesos de innovación, el aprendizaje y el des-aprendizaje, por lo cual es necesario usar mecanismos de análisis alternativos como las simulaciones computacionales. La presencia de modelos de simulación que tienen por objeto de investigación los SI y sus procesos de innovación, como por ejemplo, el des-aprendizaje asociado al aprendizaje, son escasos en la literatura. Esto se debe a que la innovación como fenómeno social es sumamente compleja (Robledo & Ceballos, 2008); sin embargo, investigar estos procesos a través de la modelación y la simulación, podría ayudarnos a conocer y entender mejor los patrones de comportamiento y de desempeño de los agentes en un SI.

La presencia de los diferentes modelos de aprendizaje en la literatura especializada, representan diferentes dinámicas de los procesos que intervienen en la innovación (Ahrweiler, Pyka, & Gilbert, 2004); de igual forma, han ayudado a mejorar la comprensión de los procesos complejos de la innovación y el aprendizaje (Triulzi, Scholz, & Pyka, 2011). No obstante, la racionalidad limitada que es una característica de estos procesos, es poco considerada a la hora de representar no sólo las dinámicas de aprendizaje (Ponsiglione, Quinto, & Zollo, 2014) sino también del des-aprendizaje; estos modelos en algunos casos, limitan el aprendizaje interactivo a topologías de red, reglas de transacción exitosas y no exitosas, así como a tipologías de aprendizaje “altruista y egoísta” (Padgett, Lee, & Collier, 2003) poco conocidas en la literatura del aprendizaje interactivo.

El Des-aprendizaje

La perspectiva que argumenta que las firmas deben des-aprender sus viejas prácticas con el fin de permitir aprender nuevas formas de hacer las cosas, implica entonces, no sólo la creación de nuevas capacidades y conocimientos, sino también la eliminación de los ya existentes (Martin de Holan & Phillips, 2004). Des-aprender desde esta perspectiva es positivo; cuando un conocimiento es viejo y no se ha renovado o actualizado oportunamente, este podría impedirle a la firma la posibilidad de adaptarse a las nuevas exigencias del entorno en que compite; des-aprender, entonces, es la solución. Según Bo Hedberg (1981), des-aprender es un complemento necesario al concepto de aprendizaje organizacional y sostiene que “des-aprender es diferente a aprender; conceptualmente es necesario entender cómo las firmas aprenden porque el conocimiento crece y se convierte al mismo tiempo en obsoleto como su realidad cambie” (Hedberg, 1981, p. 3). Como resultado, las firmas necesariamente des-aprenden; es decir, se enganchan en un proceso a través del cual descartan algunos conocimientos (Hedberg, 1981) que, al no ser utilizados, afectan negativamente el uso y la práctica (des-acumulación) de algunas de algunas capacidades que pueden no ser necesarias para innovar.

El proceso de reducción o eliminación de los conocimientos o hábitos pre-existentes que de otra manera representan barreras formidables para el aprendizaje, es definido por Newstrom (1983) como des-aprendizaje. Muchos investigadores señalan que es necesario para que ocurra el aprendizaje la existencia del des-aprendizaje. Por ejemplo, Anand, Manz y Glick (1998) señalan que existen circunstancias en las que la memoria existente puede ser un obstáculo más que una ayuda (Anand, Manz, & Glick, 1998). Del mismo modo, Crossan, Lane y White (1999) argumentan que la tensión entre la asimilación del nuevo aprendizaje y el uso de lo que ya se ha aprendido, surge porque el aprendizaje se ha institucionalizado, impidiendo así la asimilación del nuevo aprendizaje (Crossan, Lane, & White, 1999). Este enfoque se conoce como enfoque de aprendizaje conductual, el cual se centra en las rutinas y los procesos estándar de operación de la organización.

Otros autores como Bettis y Prahalad (1995) y Miller (1993; 1994) han adoptado una visión más cognitiva acerca del aprendizaje, argumentado que el hecho de no descartar o des-aprender viejas lógicas dominantes, es una de las principales razones por las cuales las firmas encuentran tan difícil ajustar sus comportamientos a las nuevas condiciones ambientales, incluso cuando la propia organización presencia y evidencia claramente los cambios del entorno en el que se desempeña. Dicho enfoque nos ayuda a comprender el comportamiento de las organizaciones en el entorno en que se mueven y compiten.

Las oportunidades de innovación

Las oportunidades de innovación juegan un papel primordial en las organizaciones a la hora de ajustar comportamientos con relación a posibles nuevas condiciones del entorno. Cuando una firma se percata de una necesidad del mercado y su dificultad para responder, intentará diversificarse (incluso un cambio rápido en el *core* del negocio). Sin embargo, Bettis y Prahalad (1995) y Miller (1994) sostienen que no solo es un problema de las rutinas, sino también de las representaciones colectivas del entorno, que forman puntos de vista diferentes y alternativos que probablemente lo dificultan (racionalidad limitada), impidiendo a los miembros de la organización interactuar y capturar las realidades actuales necesarias para interpretar los cambios y comprender sus consecuencias, sin ser ajenos eso sí, a los estímulos del entorno (Kiesler & Sproull, 1982). Los estímulos podrían ser clave a la hora de interpretar los cambios del entorno y pueden estar presentes en las demandas entendidas como oportunidades de innovación. Una oportunidad de innovación puede ser definida como los atributos de una innovación exigidos por el mercado, que pueden ser satisfechos a través de las capacidades de innovación de las firmas competidoras que, a su vez, buscan un estímulo o recompensa del sistema. En consecuencia, las viejas lógicas dominantes o mega-rutinas, son uno de los factores más importantes que impiden a las firmas descartar el conocimiento antiguo, como una parte crucial del conocimiento organizacional para des-aprender cuando las circunstancias lo exigen, dado que son propiedades inherentemente adaptativas a la firma, siempre y cuando ni el dominio de la aplicación ni el entorno cambien significativamente (Bettis, Wong, & Blettner, 2011).

Las lógicas dominantes representan la visión cognitiva del aprendizaje, el cual es visto como un lente que le permite a la organización y sus miembros entender, de manera colectiva, cómo responder adecuadamente al entorno en que se desempeñan. En síntesis, las empresas que pueden des-aprender y re-plantear sus éxitos del pasado para adaptarse a las condiciones y situaciones ambientales cambiantes, tendrán una mayor probabilidad de supervivencia y adaptación en un sistema de innovación. Desde este enfoque se observa el des-aprendizaje como una dimensión fundamental del cambio, ya que, como Tsang y Zahra (2008) argumentan, des-aprender se refiere al descarte de viejas rutinas para dar paso a otras nuevas (Tsang & Zahra, 2008). Des-aprender se define, entonces, como el proceso de eliminar o descartar el conocimiento (y las capacidades asociadas) de forma voluntaria como propósito estratégico, sin que necesariamente se creen nuevos conocimientos y/o capacidades, aunque a menudo exista una estrecha asociación. Es de anotar que las capacidades no se eliminan ni se descartan tan fácilmente; para ello debe existir un proceso en el cual no se utilicen, usen ni practiquen; lo anterior lo denominaremos des-aprendizaje por la no-práctica.

El olvido

Al contrario con la corriente del des-aprendizaje, los investigadores del olvido enfatizan la importancia de no perder el conocimiento, y afirman que evitar el olvido es de suma

importancia para mantener niveles de rendimiento previamente alcanzados por la firma. Esta corriente está particularmente en desacuerdo con la teoría y modelos de las curvas de aprendizaje, que establece una relación positiva entre la experiencia y la productividad. Aunque los estudios de las curvas de aprendizaje se limitan generalmente a los ajustes de producción, la teoría ha sido extrapolada a otras dimensiones del aprendizaje organizacional (Abernathy & Wayne, 1974).

A pesar de las conclusiones sólidas que soportan las curvas de aprendizaje en la investigación de operaciones (para una revisión más detallada ver (Adler & Clark, 1991; Argote, Beckman, & Epple, 1990), la pérdida involuntaria del conocimiento (olvido), se ha documentado en los estudios de la producción intermitente durante más de medio siglo; sugieren fuertemente que, en situaciones en las que los cambios y otras interrupciones hacen que la producción acumulada no permanezca continua, el aprendizaje producto de la experiencia es seguido por el olvido y a su vez por el re-aprendizaje (Carlson & Rowe , 1976).

Varios investigadores han comenzado a explorar las importantes consecuencias estratégicas de estas observaciones. Por ejemplo, Besanko, Doraszelski, Kryukov y Satterthwaite (2010) afirman que si el aprendizaje por la práctica es desechado por el olvido de la organización, entonces el olvido de la organización es un antídoto contra el dominio del mercado. Esta observación surge del hecho de que el líder del mercado tiene más que olvidar que los seguidores del mercado; en este sentido, entonces, el olvido de la organización debería afectar al líder del mercado más que a los seguidores y, por tanto, el líder debe trabajar para igualar las diferencias entre las empresas. Sin embargo, tal afirmación iría en contra de las prácticas exitosas del pasado de las firmas, haciendo más difícil aún la pérdida de las capacidades para la innovación adquiridas de tiempo atrás y que han sido significativas para la firma; tal comportamiento no presenta ninguna relación con las rutinas que se han adquirido por la experiencia previa (Nelson & Winter, 1982) en las firmas.

Por último, la literatura especializada sugiere que el des-aprendizaje es positivo dado que ayuda a la organización a adaptarse a su entorno, mientras que el olvido es un fenómeno organizacional que puede tener consecuencias negativas. Además, la investigación disponible muestra que incluso en la más formalizada configuración de los conocimientos, la retención del conocimiento y el aprendizaje mediante la práctica “*learning by doing*” (Arrow, 1962), están lejos de ser perfectos y/o automáticos; por tal razón se configuran otros tipos de aprendizaje que lo complementan como, por ejemplo, el aprendizaje por el uso “*learning by using*” (Rosenberg, 1982) y la interacción *learning by interacting*” (Lundvall, 1992).

Características de los agentes

Gran cantidad de estudios reportados por la literatura acerca de los SI, presentan una foto estática de agentes e instituciones, en lugar de presentar procesos de ajuste y sus dinámicas permitiendo estudios longitudinales que consideren el aprendizaje localizado (Howells, 1999; Iammarino, 2005; Uyarra, 2010; Uyarra & Flanagan, 2010) y el des-aprendizaje de los agentes en un SI. Según Borrelli, Ponsiglione, Iandoli y Zollo (2005, p. 3), el enfoque teórico de la organización basada en el conocimiento de Fransman (1994), el cual considera que “[...] *Las empresas son repositorios del conocimiento* (Penrose, 1959), *así como sistemas integrados de conocimiento especializado* (Simon, 1961) *capaces de preservar y generar conocimiento* (Grant, 1996), *son sistemas capaces de aprender por ensayo y error del proceso* (Herriot, Levinthal , & March , 1975), *construyendo y seleccionando rutinas* (Nelson & Winter, 1982)”, puede ser de gran ayuda para considerar no solo las relaciones y

las interacciones, sino también para construir un sistema de aprendizaje.

Basados en el modelo social funcional de Talcott Parsons (1951) y en el concepto de aprendizaje organizacional definido por Schwandt (1997) como “[...] un sistema de acciones, actores, símbolos y procesos que permite a una organización transformar la información en conocimiento valioso que a su vez aumenta su capacidad de adaptación a largo plazo” (Schwandt, 1997, p. 3), Zollo, Crescenzo, y Ponsiglione (2011) proponen los componentes y características de un SRI a partir del sistema de aprendizaje de Schwandt y Marquardt (2000). Los componentes son cuatro subsistemas que caracterizan y esquematizan los agentes de un SRI; estos cuatro subsistemas proporcionan un marco analítico para la descripción y evaluación de las funciones dinámicas del sistema de aprendizaje de la organización; los flujos de conocimiento producto de la interacción entre agentes, dan origen a comportamientos emergentes de carácter evolutivo como un aprendizaje interactivo de carácter colectivo (para más detalles ver (Zollo, Crescenzo, & Ponsiglione, 2011)). Sobre esta base entonces, es posible definir las competencias de los cuatro actores de un SRI (exploradores, explotadores, intermediarios y gobierno regional).

Modelar y simular los procesos de innovación, aprendizaje y, en particular, el des-aprendizaje, ponen de antemano la necesidad de describir elementos relevantes e importantes que influyen en los agentes y sus procesos de innovación, como, por ejemplo, los recursos y las capacidades, así como el nivel de competencias de los agentes en el sistema. Diferentes enfoques y definiciones asociadas al concepto de capacidades en el contexto de las organizaciones han sido abordados en la literatura; entre los más relevantes se pueden mencionar los conceptos de capacidad tecnológica y capacidad de innovación. Lall (1992) permite reconstruir la evolución y distinguir las perspectivas acerca del concepto de capacidad; de igual forma, la perspectiva de los recursos (Penrose, 1959; Wernerfelt, 1984; Barney, 1991) y las capacidades son la piedra angular del modelo propuesto. Las capacidades se definen como “la habilidad para hacer uso de los recursos con el fin de realizar alguna tarea o actividad” (Hafeez, Zhang, & Malak, 2002). Otro elemento importante que influye no solo en el aprendizaje interactivo y el des-aprendizaje en un SI son las competencias nucleares (*core-competences*); Hafeez, Zhang y Malak (2002) las definen como aquellas capacidades que posibilitan a la empresa el despliegue de sus recursos de forma que le generen ventajas competitivas.

Acuñados en el concepto de capacidad organizacional de Renard y Saint-Amant (2003), Robledo, Gómez y Restrepo (2009) proponen una nueva redefinición de las capacidades de innovación tecnológica, como aquellas capacidades organizacionales sobre las que la organización hace posible el logro de sus objetivos estratégicos de innovación tecnológica; de igual forma, proponen una categorización, clasificando y definiendo las capacidades específicas de innovación tecnológica en cinco capacidades: capacidad de direccionamiento estratégico, capacidad de I+D, capacidad de producción, capacidad de mercadeo y capacidad de gestión de recursos. Desde la perspectiva anterior, se modeló y simuló el des-aprendizaje, teniendo en cuenta la acumulación y des-acumulación de las capacidades a través del *learning by doing* y el *unlearning by not doing* así como la interacción de agentes heterogéneos en un SI.

El modelo busca describir el des-aprendizaje, a partir del concepto de aprendizaje; este último es definido como aquellas dinámicas en las que, a partir de los recursos, la firma no solo acumula capacidades y, por ende, competencias nucleares (Robledo, 2013), sino que también des-acumula capacidades, rompiendo la inercia del aprendizaje pasado frente al medio o

entorno. La decisión de utilizar en el modelo las capacidades de innovación tiene una razón de ser, y es la aptitud de la firma para llevar a cabo las funciones organizacionales y lograr sus resultados de innovación a través del despliegue, la combinación y la coordinación de los componentes organizacionales, según las metas estratégicas de innovación previamente definidas por la firma o agente.

Interacción y reglas de decisión

Las dinámicas de aprendizaje y des-aprendizaje se presentan a través de reglas de decisión, las cuales son definidas como aquel comportamiento (búsqueda de agentes como socios localizados y complementarios y eventual establecimiento de alianzas) por el cual se dan las interacciones entre agentes en un SI. Las interacciones se presentan a través de dos mecanismos o reglas de decisión: la primera se denomina distancia de localización entre agentes, definida como la menor distancia geográfica que separa los agentes para sus interacciones. La segunda regla se denomina distancia de complementariedad en las capacidades, definida como la menor distancia entre el nivel de las capacidades de innovación de los agentes; por ejemplo, si el nivel de la capacidad de un agente es menor que el nivel del atributo de la innovación demandada por el mercado, el agente buscará un *partner* o socio capaz de suplir dicho nivel de capacidad, lo cual se podría denominar la satisfacción de la demanda del mercado o entorno; este procedimiento es lo que común mente genera múltiples mecanismos para conformar la división del trabajo y las cadenas productivas en los SI.

FASE DE DISEÑO Y ANÁLISIS DEL MODELO

Enfoques de modelación y simulación

Actualmente, la literatura especializada en gestión empresarial presenta un interés creciente en la simulación como aproximación metodológica para el desarrollo teórico en temas relacionados con la estrategia y las organizaciones (Robledo, 2013), debido a que la simulación revela los resultados de la interacción entre múltiples procesos organizacionales y estratégicos desarrollados en el tiempo (Davis, Eisenhardt, & Bingham, 2007). La modelación y la simulación son métodos apropiados para entender aquellos sistemas complejos donde la dinámica temporal es importante. La Tabla 1 describe un análisis comparativo de los diferentes enfoques de simulación y como complemento se agregan los ABM. El objetivo de los ABM es enriquecer el conocimiento de procesos que pueden aparecer en gran variedad de aplicaciones, mas no proporcionar una representación precisa de algún proceso empírico (Axelrod, 2005). Los ABM estudian la emergencia a nivel macro de patrones de comportamiento de un sistema a partir de las interacciones de agentes semi-inteligentes a nivel micro. La información y el conocimiento de los agentes respecto a otros agentes y al ambiente son limitados. Los agentes pueden colaborar, competir, coordinar, compartir e interactuar entre sí, así como con el ambiente en el que se desempeñan.

El modelo

El presente modelo se sustenta en los trabajos de investigación socializados y divulgados por Quintero y Robledo (2012; 2013) acerca del “Aprendizaje en los sistemas regionales de innovación: Un modelo basado en agentes”. El modelo representa cinco procedimientos: el primero de ellos es la demanda del mercado generada por el agente denominado “entorno competitivo”; el segundo procedimiento es la construcción de la oferta por los “agentes competidores”; el tercer procedimiento son las reglas de decisión que definen el comportamiento de los agentes; el cuarto procedimiento es la recompensa y su función de

costos y beneficios; y, por último, el procedimiento de des-aprendizaje producto del *unlearning by not doing* (UBND).

Tabla 1. Análisis comparativo de los enfoques de simulación.

Enfoque de simulación	Foco	Pregunta(s) de investigación	Asuntos claves	Lógica teórica	Experimentos comunes
Dinámica de sistemas Sastry (1997), Sterman, Repenning, & Kofman (1997).	Comportamiento de un sistema complejo con causalidad y medida del tiempo	¿Qué condiciones crean inestabilidad en el sistema?	Sistema de intersección, bucles causales; acumulación de niveles; flujos que especifican tasas del sistema.	Descripción de entradas; sistema interconectado por bucles, stocks y flujos que producen los resultados del sistema.	Añadir bucles causales; cambio de tasas de flujo; cambio en la variación de tasas de flujo.
Paisajes adaptativos de tipo NK Levinthal (1997), Gavetti & Levinthal (2000)	Velocidad y eficacia de adaptación de sistemas modulares vs el acoplamiento a un punto óptimo.	¿Cuánto tiempo se toma para encontrar el punto óptimo? ¿Cuál es el rendimiento del punto óptimo?	Sistema de N nodos y K acoplamiento; paisaje adaptativo que mapea el rendimiento de todas las combinaciones; adaptación por movimientos.	Adaptación modular para encontrar el punto óptimo por medio de (movimientos incrementales y saltos largos a partir de la estrategia).	Variar N y K; cambios en la adaptación añadiendo mapa del paisaje; generar cambios bruscos o shocks en el medio.
Algoritmos genéticos Holland (1975), Goldberg (1989), Bruderer & Singh (1996)	Adaptación de una población de agentes vía aprendizaje simple para una forma óptima del agente.	¿Qué afecta la tasa de adaptación (aprendizaje o cambio) ¿Cuándo y/o emerge una forma óptima?	Población de agentes y genes; variación vía mutación (errores) y cruce (recombinación); selección mediante aptitud (desempeño); Retención vía copia de agentes seleccionados.	Optimización; adaptación de una población de agentes utilizando un proceso evolutivo hacia una forma de agente óptimo; variación, selección y retención.	Variación en la probabilidad de mutación y cruce; variación en el tiempo de evolución; creación de shocks ambientales.
Simulación basada en agentes Holland (1992), (Axelrod, 1996) (Epstein & Axtell, 1996).	Emergencia a nivel macro de patrones de comportamiento de un sistema a partir de interacciones entre agentes autónomos del nivel micro	¿Cuáles son los efectos de los patrones de comportamiento en todo el sistema? ¿Qué tan rápido emerge un patrón, cuál es su evolución? ¿Cómo se adaptan y aprenden los agentes?	Población; variables globales; propiedades de la población; reglas de decisión para la interacción; evolución; agregación, adaptación y aprendizaje; inteligencia colectiva; racionalidad limitada.	Descripción de agentes; emergencia a partir de interacción o colaboración entre agentes; Agregación, no linealidad, flujos y diversidad; Etiquetas, modelos internos y bloques de construcción.	Cambio de reglas; variación en las características (especialización) de agentes y entorno; variación de agentes en el tiempo.
Autómatas celulares Lomi & Larsen (1996)	Macro modelos a partir de micro interacciones a través de procesos de propagación y competencia) en espaciales en una población.	¿Cómo emerge el patrón y el cambio ¿Qué tan rápido emerge un patrón? ¿Cuál es el grado (espacial) en que los agentes se influyen unos a otros (distancias a las que están situados)	Población de agentes semi-inteligentes organizados; agentes utilizan reglas (local y global) para la interacción, algunos basados en procesos espaciales; vecindario de agentes donde se aplican reglas locales.	Descripción; las interacciones entre los agentes siguen reglas que producen patrones de nivel macro.	Cambio de reglas; cambio del tamaño del vecindario.

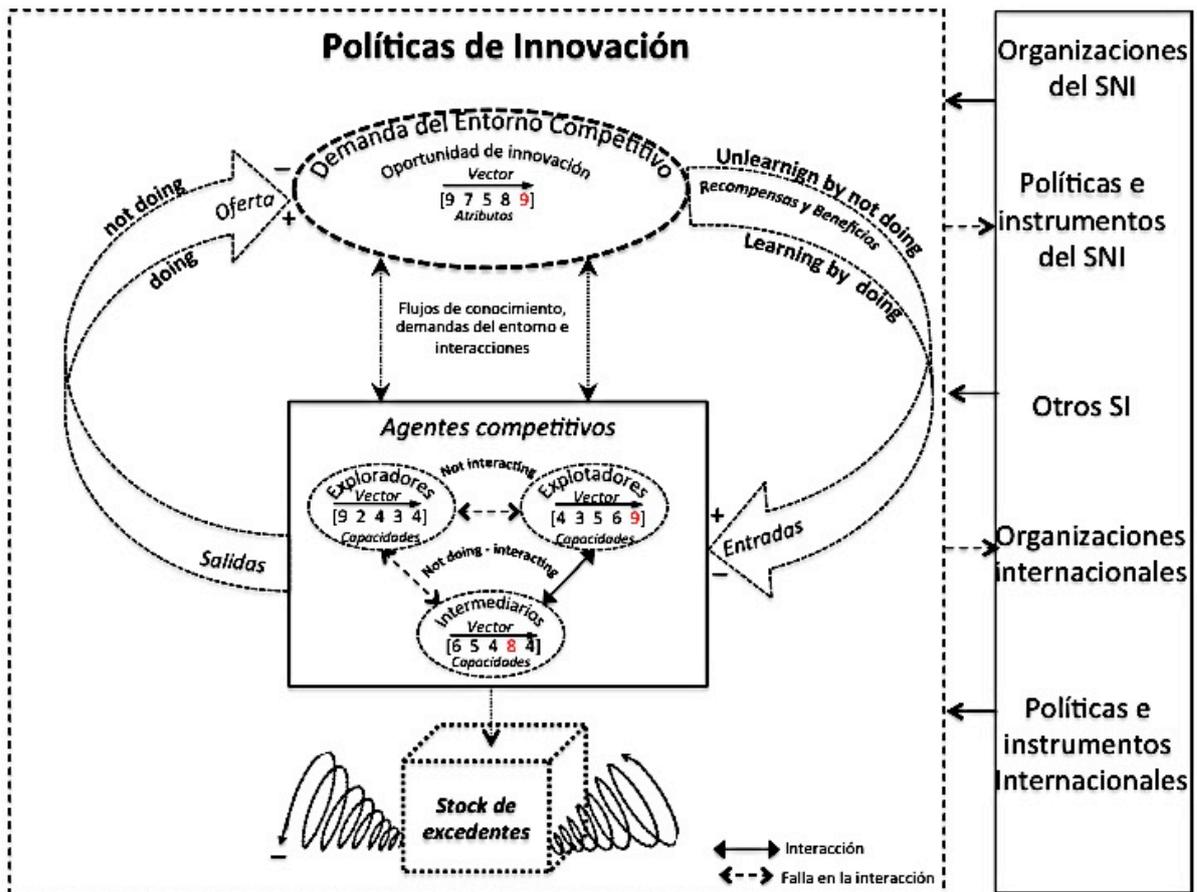
Fuente: Elaboración propia a partir de Davis, Eisenhardt y Bingham (2007)

El agente entorno competitivo es quien demanda nuevos bienes y servicios con sus respectivos atributos; dicha demanda está representada en un mensaje denominado oportunidad de innovación. De igual forma, el entorno es quien determina en un período de tiempo una demanda aleatoria y localizada. La demanda u oportunidad de innovación está definida por un vector l de n atributos, de cierta volatilidad (v) y tiempo del ciclo de vida ($tcvd$). Si los agentes del sistema son capaces de satisfacer la demanda recibirán beneficios en dicho periodo. La oferta se construye a través de la interacción entre los agentes competidores y el entorno competitivo. Un agente competidor puede responder y construir una o varias ofertas por medio de su vector l de n capacidades (para el presente modelo, $n=5$); dicha construcción puede ser individual o con otros agentes que puedan complementar sus capacidades. Los vectores para los dos tipos de agentes están conformados por diferentes posiciones y sus respectivas magnitudes. Cada posición señala un atributo específico que demanda el entorno y simboliza en el agente competidor el carácter explorador y explotador de las capacidades del agente. Cada capacidad está definida en una de las cinco posiciones del vector, así: las dos posiciones de la derecha del vector representan capacidades de explotación

(capacidad de produccion y de marketing); las dos posiciones de la izquierda representan las capacidades de exploracion (capacidad de I+D y de gestion de recursos); y la posicion central representa capacidades de intermediacion. La magnitud las posiciones en ambos vectores comprende valores inicialmente aleatorios entre 0 y 9, representando el grado del atributo requerido por la demanda y el nivel de la capacidad del agente competidor (ver Figura 1).

Las interacciones y las reglas de decision entre los agentes se dan a través de los dos mecanismos mencionados en la fase de conceptualizacion. El primero de ellos es la distancia geografica entre agentes y el segundo es la distancia de complementariedad de las capacidades. Con base en estas dos reglas se construyen las ofertas de los agentes competidores, así: una vez interactúa un agente competidor con la demanda por el mecanismo de localizacion, se da inicio al segundo mecanismo de interaccion que consiste en comparar las magnitudes de ambos vectores; si el vector de capacidades es mayor o igual en su última posicion al vector de atributos de la demanda, la demanda será visible para el agente competidor y se repetirá el proceso comparativo entre las posiciones siguientes en sentido de derecha a izquierda de los vectores de los agentes. Si un agente competidor presenta magnitudes iguales o superiores comparativamente con relación al vector de los atributos de la demanda en todas las posiciones, habrá entonces configurado una fórmula de éxito y será capaz por sí solo de construir una oferta.

Figura 1. Modelo del des-aprendizaje en un SI.



Ahora bien, si la magnitud en la posición del extremo derecho del vector de capacidades (capacidad de producción) es menor que la magnitud correspondiente del vector de atributos, el agente no identificará la demanda por mínima que sea su distancia geográfica al mercado que demanda la innovación; dicho comportamiento se puede observar en dinámicas de innovación *market-pull*, puesto que son los agentes explotadores de un SI quienes están en mejor capacidad de visualizar y evaluar una demanda. En caso de que el agente pueda identificar la oportunidad de innovación pero no sea capaz de configurar una fórmula de éxito por sí solo, buscará en su entorno geográfico próximo otros agentes con los que pueda hacerlo colaborativamente; eventualmente, varios agentes colaboradores podrán configurar una fórmula de éxito y aprovechar conjuntamente la oportunidad de innovación.

Los agentes competidores nacen provistos de recursos concebidos como el stock de excedentes (SE_t) del agente; este es asignado aleatoriamente. Las magnitudes del vector de atributos determinan el máximo beneficio (B_t) que pueden obtener los agentes competidores por aprovechar una oportunidad de innovación; dichos beneficios representan el procedimiento de recompensa. Los agentes que identifiquen y apropien una demanda y satisfagan una oportunidad de innovación a través de su oferta, obtendrán beneficios que son calculados en cada periodo de tiempo (en adelante, *tick*). Los beneficios se definen como los ingresos o recompensas por atributo que entrega la demanda; estos ingresos dependen de la magnitud de cada posición del atributo demandado y de la duración del ciclo de vida de la demanda (*tcvd*); el ciclo de vida de la demanda para el modelo es aleatorio y se le asigna un comportamiento gaussiano. Es de tener en cuenta que si la demanda solicita en cualquier atributo magnitudes o niveles altos, el beneficio será alto; sin embargo, los agentes también deben incurrir en costos (C_t) para sostener las capacidades con las cuales construyen fórmulas de éxito; dichos costos se definen como la sumatoria de las magnitudes del vector de las capacidades del agente competidor en un *tick*; en ese orden de ideas, SE_t se calcula mediante la Ecuación (1).

$$SE_{t+1} = SE_t + B_t - C_t, \quad \text{Ecuación (1)}$$

Las dinámicas del des-aprendizaje se describen en el modelo a partir del aprendizaje; dicha perspectiva es abordada desde los recursos y las capacidades de los agentes competidores. Teniendo en cuenta que el aprendizaje se manifiesta en las cercanías de las actividades previas de las firmas (Teece, 1988), el modelo considera que aquellos agentes que utilicen sus capacidades las reforzarán gracias a la experiencia y al premio o recompensa otorgado por el entorno, evidenciándose el *learning by doing*; de igual forma, aquellas capacidades que no se utilicen se debilitarán, evidenciándose el des-aprendizaje (UBND) hasta que el agente las pierda y muera. Este comportamiento corresponde a una dinámica de des-aprendizaje cuyas trayectorias son funciones sigmoideas o curvas en S decrecientes calculadas mediante la Ecuación (2).

$$\frac{X}{1 + e^{\delta t}} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde X representa la magnitud o valor máximo que puede tomar una capacidad, δ denota el factor de des-aprendizaje y t es el tiempo en que se usa la capacidad. Cuanto menos se utilice una capacidad en el tiempo t, su des-acumulación producto del *not doing* presentará una trayectoria dependiente del factor δ . Por ejemplo, capacidades básicas y avanzadas (magnitudes bajas y altas) al no ser utilizadas, presentan dinámicas de de-aprendizaje más

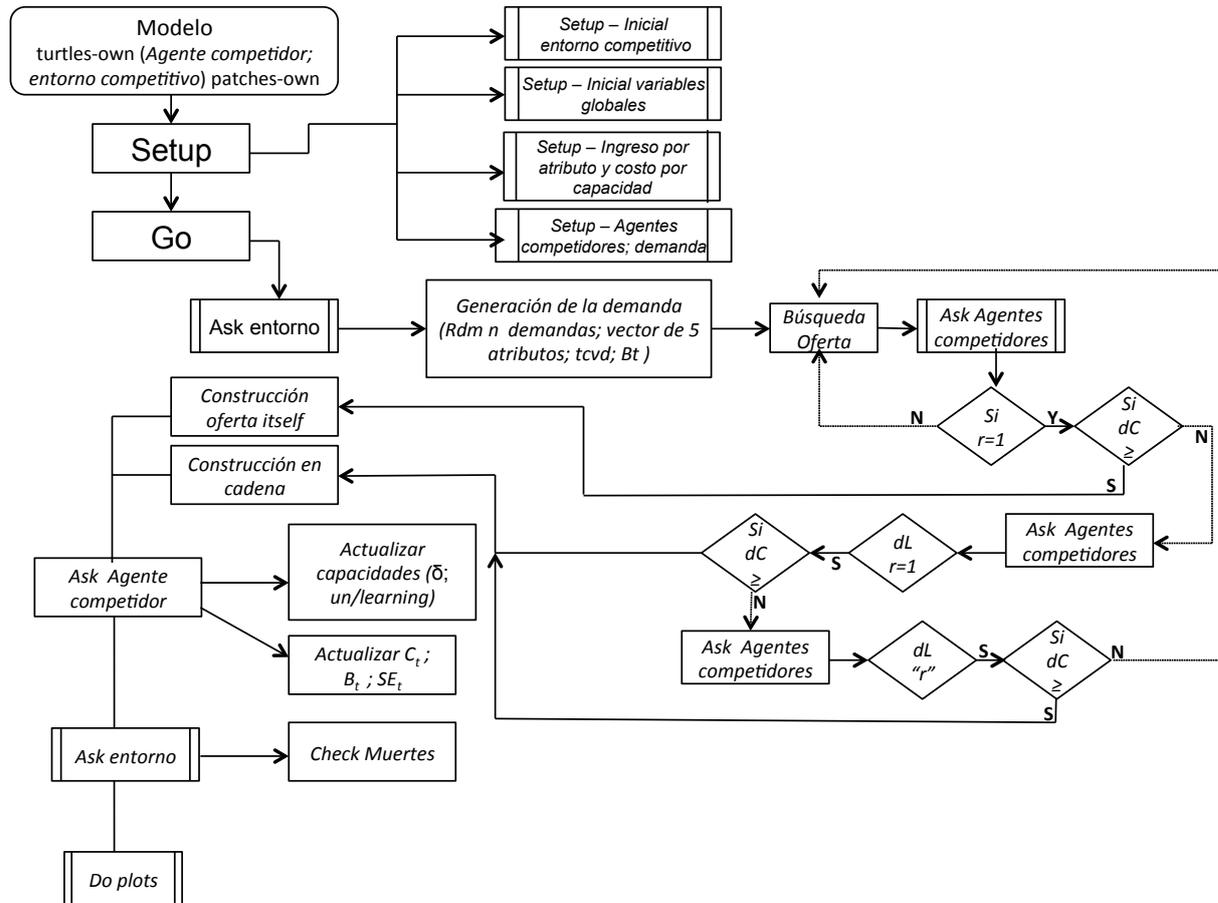
lentas y prolongadas que aquellas capacidades intermedias que presentan dinámicas de des-aprendizaje más rápidas. El modelo enfatiza no solo en las dinámicas de aprendizaje interactivo (Lundvall, 2007; Jensen, Johnson, Lorenz, & Lundvall, 2007), sino también en las dinámicas de des-aprendizaje y, en particular, en la des-acumulación de las capacidades de innovación por falta de práctica y uso de algunas capacidades o posiciones del vector, que tiene como consecuencia en algunos casos, una escasa generación de competencias en el sistema.

FASE DE RESULTADOS Y ANÁLISIS

Esta fase consistió en llevar a cabo la construcción del modelo computacional, para lo cual se tradujeron las fases anteriores a un diagrama de flujo (ver Figura 2) y su código fuente correspondiente en la plataforma Netlogo versión 5.1.0. De igual forma, se documentó el proceso de codificación, especificando algunos detalles significativos en el lenguaje de interfaz. Finalmente, se realizó una verificación computacional y validación del modelo. Mientras que la verificación del modelo computacional se preocupa porque el sistema desarrollado se ejecute como fue previsto, la validación se preocupa porque el modelo refleje la realidad tanto de estructura como del comportamiento (Barlas, 1996). La literatura especializada de los ABM y su validación empírica, presenta diferentes enfoques y técnicas (Windrum, Fagiolo, & Moneta, 2007; Sargent, 2013). Actualmente, el modelo presentado en este trabajo se ha verificado y validado en su forma computacional. La validación del comportamiento se ha abordado a partir de la técnica de validación denominada métodos históricos; dicha técnica presenta tres vertientes: 1) métodos históricos a partir del racionalismo, 2) métodos históricos a partir del empirismo y 3) métodos históricos a partir de la economía positiva, orientada esta hacia la prospección. La técnica escogida para la validación del modelo fue el método histórico racionalista, que consiste en verificar que los supuestos subyacentes del modelo son ciertos a partir de los estudios empíricos presentados por la literatura especializada.

La exploración de los comportamientos de los estudios realizados por Hobday (1995) en los países del Oriente Asiático (Corea del Sur, Taiwán, Hong Kong y Singapur), nos señalan cómo aprendieron y acumularon capacidades tecnológicas para la innovación las diferentes firmas del sector de la electrónica; dichos estudios relacionan los patrones de aprendizaje corporativo en los modelos occidentales convencionales de innovación. Aunque el estudio se centra en la electrónica, se reconoce que las rutas y patrones de aprendizaje tecnológico varían de sector a sector. Dichos patrones se presentaron a través de la interacción por medio de la subcontratación y la fabricación. Las interacciones actuaron como una escuela de formación para las empresas recién llegadas o entrantes, lo que permitió superar barreras de entrada para la asimilación en la fabricación y el diseño de las nuevas tecnologías. Las empresas recién llegadas comenzaron con mejoras incrementales en sus procesos de fabricación, lo cual llevó a innovaciones de producto de menor importancia. Es de anotar que dichas mejoras ayudaron a construir y acumular nuevas capacidades de producción por la vía del *doing – interacting* y, por ende, a des-aprender en otras capacidades que el entorno no demandaba. La evidencia sugiere que los orígenes y las trayectorias de los recién llegados siguen influyendo en las estrategias, estructuras y orientaciones tecnológicas de las industrias del sector en estudio, propiciando la acumulación de las capacidades tecnológicas y el aprendizaje y, de igual forma, propiciando la des-acumulación o des-aprendizaje tecnológico.

Figura 2. Diagrama de flujo del modelo computacional.



Análisis del modelo

El modelo requiere de ciertos atributos específicos como, por ejemplo, demandas exigentes. Dichas demandas propician en ciertos agentes, la imposibilidad para interactuar (producto de niveles muy bajos en sus capacidades) y, por ende, des-acumular capacidades y des-aprender. Las dinámicas tanto del aprendizaje como del des-aprendizaje, permiten conocer cómo se genera el desempeño económico en los agentes del SI. Aquellos agentes que no son capaces de responder satisfactoriamente a la demanda a través de la construcción de una oferta autónomamente o por la interacción con otros agentes competidores, des-acumularán sus capacidades dando paso al des-aprendizaje. Es de anotar que el des-aprendizaje también puede posibilitar a los agentes aprender en otras capacidades o posiciones a medida que el tiempo transcurre, lo cual podría facilitar la interacción del agente competidor para participar en la demanda que propicia el agente entorno competitivo, siempre y cuando sus activos o SE sean suficientes para su supervivencia. En la Tabla 2 se presentan las variables más significativas del modelo calibrado y su descripción.

Tabla 2. Descripción de variables.

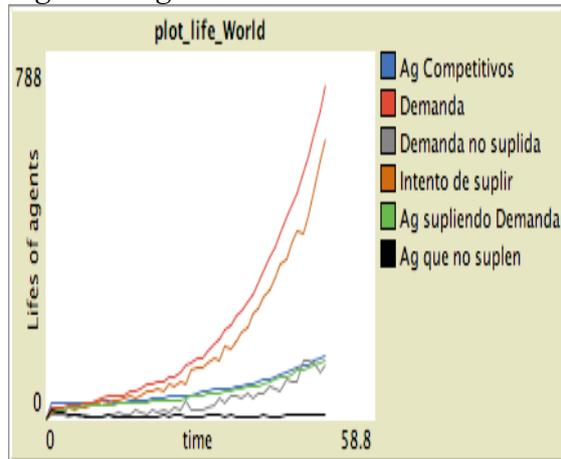
Variables	Descripción
vectores $l=5$	Longitud de cadena de un vector (atributos, capacidades); cada posición señala el atributo específico de la demanda y simboliza el carácter de exploración, explotación o intermediación del agente competente.
Magnitudes	Es la magnitud de cada posición del vector. Representa el grado del atributo en la demanda y señala el nivel de la capacidad en un agente competidor; comprende valores aleatorios entre 0-9.
Rata de nacimientos	Porcentaje de nacimientos de agentes competidores (6%) y demanda del entorno (18%) con relación a la población existente en t . Las tasas tienen por objetivo representar un sistema dinámico.
Factor (δ)	Es el cambio en la magnitud de una o varias posiciones del vector de capacidades que adoptan los agentes competidores en t . Para el modelo los factores (δ) toman valores entre 0,1 - 0,9.
tcvd	Periodo de tiempo en el cual una demanda suplida satisfactoriamente, produce beneficios. Para el modelo $tcvd$ es aleatorio y presenta un comportamiento igual a 6σ .
Ingreso o recompensa	Es el ingreso o la recompensa que entrega una demanda en una posición de su atributo. Los agentes capaces de suplir una o más posiciones con el vector de capacidades recibirán tal recompensa. Para el modelo calibrado los ingresos son de cinco unidades en cada posición.
Costo (C_i)	Es el costo que representa sostener una capacidad en una posición para un agente competidor; dicho costo es directamente proporcional a la magnitud de la posición del vector de capacidades. Para el modelo calibrado los costos son de una unidad por cada posición.
Stock de excedentes SE	Son los activos con los que un agente competidor cuenta al inicio de su creación o nacimiento. Todos los agentes que participen en fórmulas de éxito, tendrán la posibilidad de aumentar su SE siempre y cuando los beneficios sean superiores a sus costos; dicho SE le permite a un agente sobrevivir en el tiempo siempre y cuando SE sea positivo. Para el modelo el stock de excedentes es aleatorio entre 0 - 225 unidades.

Agentes que no interactúen ni participen con ninguna de las cinco capacidades para la construcción de la demanda, tendrán poca o nula probabilidad de aprender y sobrevivir en el sistema; tal escenario es producto de la incapacidad de los agentes para generar beneficios y contrarrestar el costo de mantener disponibles sus capacidades. Los SI que presenten dinámicas de des-aprendizaje prolongadas sin generar los beneficios suficientes, reflejarán un desempeño económico precario que se manifestará en la disminución del stock de excedente (SE) de los agentes competidores y su posterior inhabilitación. Por el contrario, los que participen en una o más demandas con sus capacidades, tendrán mayor probabilidad de sobrevivir en el tiempo. Las Figuras 2 y 3 representan el comportamiento de los agentes que sobreviven, así como el desempeño económico del sistema en un periodo de 50 años.

Cuando los agentes competidores adoptan factores de aprendizaje y des-aprendizaje iguales, como por ejemplo $\delta = 0,3$, se evidencia acumulación de las capacidades de los agentes y una variación negativa, lo cual se puede explicar porque que ciertos agentes aprenden capacidades específicas mientras que otros des-aprenden dichas capacidades específicas, respondiendo entonces a la demanda de manera colectiva a través de la división del trabajo, lo que lleva a la especialización. Es de anotar que dichos factores representan las trayectorias de acumulación o des-acumulación que pueden tomar las capacidades de un agente competidor en un periodo. El SE acumulado de los agentes competidores que suplen la demanda, refleja un desempeño económico similar a todos los agentes competidores del sistema que no son capaces de responder a la demanda y que, por ende, están des-acumulando sus capacidades. Es decir, son pocos los agentes competidores que responden a la demanda; sin embargo, estos pocos están generando beneficios suficientes que se reflejan en el desempeño económico del sistema y su supervivencia.

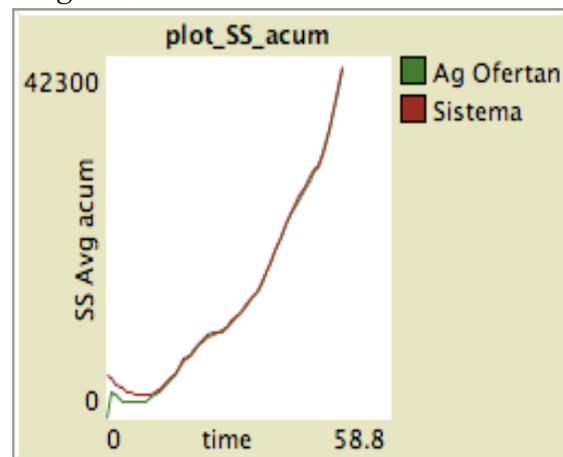
La variación en las capacidades de forma negativa se puede interpretar así: los agentes competidores que ofertan las diferentes demandas, utilizan y usan sus capacidades en una o varias posiciones de su vector; sin embargo, cada agente des-acumulará o des-aprenderá en las posiciones que no use o utilice para la construcción de la oferta. Por lo tanto, la variación negativa denota que pocos agentes competidores responden a la oferta en una posición, es decir, a medida que se configura la oferta a través de la interacción entre agentes competidores, estos utilizan a lo sumo una posición para participar en la oferta que suple la demanda (ver Figura 4).

Figura 2. Agentes del sistema.



Fuente: Programa Netlogo 5.1.0

Figura 3. SE acumulado.

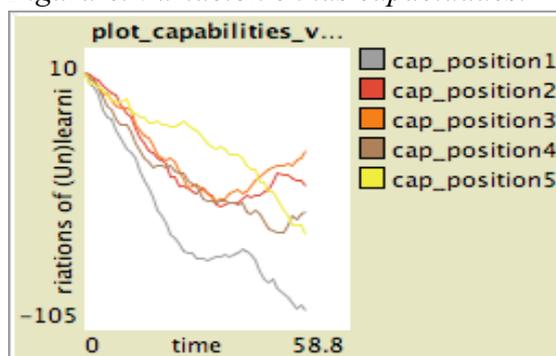


Fuente: Programa Netlogo 5.1.0

En otras palabras, los agentes aprenden en algunas posiciones específicas de sus capacidades, mientras que en otras posiciones no lo hacen, configurándose entonces la especialización y división del trabajo. Es de anotar que aquellos agentes con capacidades muy superiores se demorarán más tiempo para perderlas de acuerdo al factor de des-aprendizaje que asuma el sistema; esto indica que las rutinas del pasado han sido importantes para el agente.

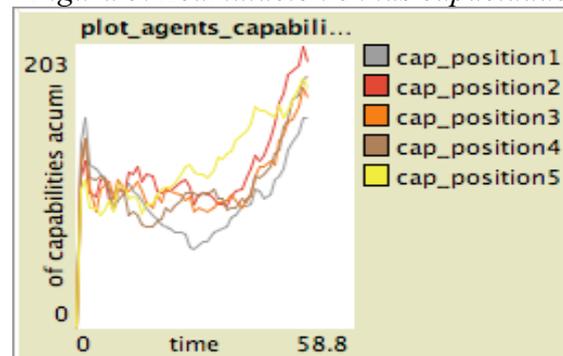
La Figura 5 muestra cómo los agentes del sistema acumulan capacidades en ciertas posiciones; la acumulación positiva refleja el aprendizaje por la vía del *learning by doing* y *learning by interacting*, reflejando el buen desempeño económico en el SE acumulado del sistema.

Figura 4. Variación en las capacidades.



Fuente: Plots programa Netlogo 5.1.0

Figura 5. Acumulación en las capacidades.



Fuente: Plots programa Netlogo 5.1.0

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

A pesar de que algunos modelos de SI abordan el concepto del aprendizaje, se le presta poca atención al proceso de des-aprender como una nueva forma de aprender. El des-aprendizaje se ha explorado y desarrollado teóricamente de manera extensa; sin embargo, a la hora de simular los procesos de innovación, los modelos disponibles hacen poco énfasis en el proceso de des-aprendizaje.

El modelo basado en agentes que se propone aquí, tiene como fin aportar a la comprensión de los fenómenos complejos de la innovación, el aprendizaje y el des-aprendizaje en un SI. De igual forma, el modelo permite conocer las dinámicas de des-aprendizaje y aprendizaje a través de la interacción entre agentes y ayuda a conducir y orientar la política y, en algunos casos, la estrategia de una región con el fin de mejorar el desempeño económico de los agentes del sistema. El modelo no está construido para realizar pronósticos; sin embargo, posibilita el análisis de escenarios. La fortaleza del modelo estriba en la posibilidad de integrar las teorías, conceptos y relaciones conocidas de los procesos de innovación desde una perspectiva *bottom-up* y bajo un solo modelo basado en agentes.

Como trabajo futuro, el modelo puede ser replicado en SI de alto, mediano o bajo desempeño económico para observar sus dinámicas de aprendizaje y des-aprendizaje. De igual forma, el modelo puede ser mejorado con el fin de estudiar el desempeño de un SI a través de los costos de transacción de los agentes que intermedian en el sistema. Por último, es deseable profundizar en las rutinas de aprendizaje y des-aprendizaje de los SI, proporcionando una mayor comprensión de los SI en aspectos como el cambio y la distribución de las características de la población del sistema, mediante mecanismos de interacción como la selección, la variación y la herencia.

REFERENCIAS

- Abernathy, W. J., & Wayne, K. (1974). Limits of the learning curve. *Harvard Business Review* , 52(5): 109. *Harvard Business Review* , 52 (5), 109.
- Adler, P., & Clark, K. B. (1991). Behind the learning curve: A sketch of the learning process. *Management Science* , 37 (3), 267–281.
- Ahrweiler, P., Pyka, A., & Gilbert, N. (2004). Simulating knowledge dynamics in innovation networks (SKIN). En u. R. in: Leombruni R. (Ed.), *The Agent-Based Computational Approach* (págs. 284-296). Singapore: World Scientific Press.
- Anand, V., Manz, C., & Glick, W. (1998). An organizational memory approach to information management. *Academy of Management Review* , 23 (4), 796–809.
- Argote, L. (1999). *Organizational Learning: Creating, Retaining, and Transferring Knowledge* . Boston: Kluwer Academic.
- Argote, L., Beckman, S. L., & Epple, D. (1990). The persistence and transfer of learning in industrial settings. *Management Science* , 36 (2), 140–155.
- Arrow, K. J. (1962). The Economic Implications of Learning by Doing. *The Review of Economics Studies* , 29 (3), 155-173.
- Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review* , 12 (3), 183-210.
- Bailey, C. (1989). Forgetting and the learning curve: A laboratory study. *Management Science* , 35 (3), 340-352.
- Barney, J. (1991). Firm Resources and Sustained Competitive Advantage . *Journal of Management* , 17, 99-120.
- Benard, C. L. (2000). Learning and forgetting: The dynamics of aircraft production. *American Economic Review* , 90 (4), 1034–1054.
- Bettis, R., & Prahalad, C. K. (1995). The dominant logic: Retrospective and extension. *Strategic Management Journal* , 16, 5-14.
- Bettis, R. A., Wong, S., & Blettner, D. (2011). Dominant logic, knowledge creation and managerial choice. En M. Easterby-Smith, & M. A. Lyles, *Handbook of Organizational Learning and Knowledge* (págs. 1-721). New York: Wiley-Blackwell.
- Besanko, D., Doraszelski, U., Kryukov, Y. S., & Satterthwaite, M. (2010). Learning-by-doing, organizational forgetting, and industry dynamics. *Econometrica* , 78, 453–521.
- Borrelli, F., Ponsiglione, C., Iandoli, L., & Zollo, G. (2005). Inter-organizational learning and collective memory in small firms clusters: an agent-based approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* , 8 (3).
- Borshchev, A., & Filippov, A. (2004). From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools. *The 22nd International Conference of the System Dynamics Society*. Oxford.
- Carlson, J. G., & Rowe, A. J. (1976). How much does forgetting cost? *Industrial Engineering* , 8 (9), 40.

- Crossan, M., Lane, H., & White, R. E. (1999). An Organizational Learning Framework. *Organizational Learning: From Intuition to Institution. Academy of Management Review*, 24 (3), 522–537.
- Darr, E., Argote, L., & Epple, D. (1995). The acquisition, transfer and depreciation of knowledge in service organizations: Productivity in franchises. *Management Science*, 41 (1), 1750-1762.
- Davis, J., Eisenhardt, K., & Bingham, B. C. (2007). Developing theory through simulation methods. *Academy of Management Review*, 32 (2), 480-499.
- Day, G. (1994). The capabilities of market-driven organizations. *Journal of Marketing*, 58, 37-52.
- Darr, E., Argote, L., & Epple, D. (1995). The acquisition, transfer and depreciation of knowledge in service organizations: Productivity in franchises. *Management Science*, 41 (1), 1750-1762.
- Fransman, M. (1994). Information, knowledge, vision and theories of the firm. *Industrial and Corporate Change*, 3 (2), 1-45.
- Grant, R. (1996). Toward a Knowledge-Based Theory of the Firm. *Strategic Management Journal*, 17, 109-122.
- Hafeez, K., Zhang, Y., & Malak, N. (2002). Determining key capabilities of a firm using analytic hierarchy process. *Journal of Production Economics*, 76, 39-51.
- Hannan, M. T., & Freeman, J. (1984). Structural inertia and organizational change. *American Sociological Review*, 49, 149-164.
- Hedberg, B. (1981). How organizations learn and unlearn. En P. Nystrom, & W. Starbuck, *Handbook of Organizational Design* (págs. 3-27). Oxford: Oxford University Press.
- Herriot, S., Levinthal, D., & March, J. (1975). Learning from Experience in Organizations. *American Economic Review*, 75, 298 – 302.
- Hirsch, W. (1952). Manufacturing progress functions. *Review of Economics and Statistics*, 34, 143-155.
- Hobday, M. (1995). *Innovation in East Asia. The Challenge to Japan*. Northanoton, Massachusetts, USA: Edward Elgar Publishing, Inc.
- Howells, J. (1999). Regional Systems of Innovation. In D. Archibugui, J. Howells, & J. Michie, *Innovation Policy in a Global Economy* (pp. 67-93). Cambridge: Cambridge University Press.
- Iammarino, S. (2005). An evolutionary Integrated View of Regional Systems of Innovation: Concepts, Measures and Historical Perspectives. *European Planning Studies*, 13 (4), 497-519.
- Jensen, M., Johnson, B., Lorenz, E., & Lundvall, B.-A. (2007). Forms of knowledge and modes of innovation. *Research Policy*, 36, 680-693.
- Kiesler, S., & Sproull, L. (1982). Managerial response to changing environments: Perspectives on problem sensing from social cognition. *Administrative Science Quarterly*, 27 (4), 548–570.
- Kim, L. (1993). National System of Industrial Innovation: Dynamics of Capability Building in Korea. En R. Nelson, *National Innovation Systems* (págs. 357-383). New York: Oxford University Press.
- Kim, L. (1997a). The Dynamics of Samsung's Technological Learning in Semiconductors. *California Management Review*, 39 (3), 86-100.
- Kim, L. (1997b). *Imitation to Innovation. The Dynamics of Korea's Technological Learning*. Massachusetts: Harvard Business School Press.
- Lall, S. (1992). Technological Capabilities and Industrialization. *World Development*, 20 (2), 165-186.
- Lundvall, B.-A. (1992). *National Systems of Innovation: towards a theory of innovation and interactive learning*. London: Pinter, London.
- Lundvall, B.-A. (2007). National Innovation Systems - Analytical Concept and Development Tools. *Industry and Innovation*, 14 (1), 95-119.
- Martin de Holan, P., & Phillips, N. (2004). Organizational forgetting as strategy. *Strategic Organization*, 2, 412–430.
- Miller, D. (1993). The architecture of simplicity. *Academy of Management Review*, 18 (1), 116-138.
- Miller, D. (1994). What happens after success: The perils of excellence. *Journal of Management Studies*, 31 (3), 327–358.
- Nelson, R., & Winter, S. (1982). *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge, Ma: Belknap Press.
- Newstrom, J. (1983). The management of unlearning: Exploding the 'clean slate' fallacy. *Training and Development Journal*, 37 (8), 36-39.
- Nonaka, I. (1994). A dynamic theory of organizational knowledge creation. *Organization Science*, 5 (1), 14–37.
- OECD. (2000). *Cities and Regions in the New Learning Economy*. Paris: OECD Publications.
- Padgett, J. F., Lee, D., & Collier, N. (2003). Economic Production as Chemistry. *Industrial and Corporate Change*, 12 (4), 843-877.
- Parsons, T. (1951). *The Social System*. New York: Free Press.
- Penrose, E. T. (1959). *The Theory of the Growth of the Firm*. New York: John Wiley.
- Ponsiglione, C., Quinto, I., & Zollo, G. (2014). Bridging the SKIN model to the debate on territorial innovation systems: the proposal of an agent-based model of self-sustained regional innovation systems. *3rd SKIN*

- Workshop: Joining Complexity Science and Social Simulation for Policy* (pág. N/A). Budapest: Eötvös Loránd University.
- Quintero, S., & Robledo, J. (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 *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., & Robledo, J. (2013). "El aprendizaje como propiedad emergente en los sistemas regionales de innovación. En *Memorias del XV Congreso Latino - Iberoamericano de Gestión Tecnológica, Altec*. Oporto, Portugal: Altec.
- Renard, L., & Saint-Amant, G. (2003). Capacité, capacité organisationnelle et capacité dynamique: une proposition de définitions. *Les Cahiers du Management Technologique*, 13 (1), 1-26.
- Robledo, J. (2013). *Introducción a la Gestión de la Tecnología y la Innovación*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia Sede - Medellín Facultad de Minas Departamento de Ingeniería de la Organización.
- Robledo, J., & Ceballos, Y. (2008). Study of an innovation process using system dynamics. *Cuadernos de Administración*, 21 (35), 127-159.
- Robledo, J., Gómez, F., & Restrepo, J. (2009). Relación entre capacidades de innovación tecnológica y el desempeño empresarial sectorial. En J. Robledo, F. Malaver, M. Vargas, J. Robledo, F. Malaver, & M. Vargas (Edits.), *Encuestas, datos y descubrimiento de conocimiento sobre la innovación en Colombia*. Bogotá: Javergraf.
- Rosenberg, N. (1982). *Inside the Black Box: Technology and Economics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sargent, R. G. (2010). Verification and validation of simulation models. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference* (págs. 166-183). Baltimore, Maryland, USA: B. Johansson, S. Jain, J. Montoya-Torres, J. Hugan, and E. Yücesan, eds.
- Schwandt, D. (1997). Integrating Strategy and Organizational Learning: A Theory of Action Perspective. En J. P. Walsh, & A. S. Huff, *Advances In Strategic Management (Vol. 14)*. JAI Press, Inc.: Greenwich CT.
- Schwandt, D., & Marquardt, M. (2000). *Organizational Learning: From World-Class Theories to Global Best Practices*. Chicago: St. Lucie Press.
- Simon, H. (1961). *Administrative Behavior, 2nd edition*. New York: 2nd edition John Wiley & Son.
- Teece, D. J. (1988). Technological change and the nature of the firm. En G. Dosi, C. Freeman, R. R. Nelson, G. Silverberg, & L. Soete (Edits.), *Technical change and economic theory*. London and New York: Pinter Publisher.
- Thompson, P. (2007). How much did the liberty shipbuilders forget? *Management Science*, 53 (6), 908-918.
- Triulzi, G., Scholz, R., & Pyka, A. (2011). *R&D and knowledge dynamics in university-industry relationships in biotech and pharmaceuticals: An agent-based model*. (C. f.-2. Hohenheim, Ed.) Obtenido de <https://ideas.repec.org/p/zbw/fziddp/332011.html>: Retrieved from <http://hdl.handle.net/10419/50176>
- Tsang, E., & Zahra, S. A. (2008). Organizational unlearning. *Human Relations*, 61, 14-35.
- Uyarra, E. (2010). What is evolutionary about "Regional Systems of Innovation"? Implications for regional policy. *Journal of Evolutionary Economics*, 20 (1), 115-137.
- Uyarra, E., & Flanagan, K. (2010). From regional systems of innovation to regions as innovation policy spaces. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 28 (4), 681-695.
- Wernerfelt, B. A. (1984). Resource-based view of the firm. *Strategic Management Journal*, 5, 171-180.
- Windrum, P., Fagiolo, G., & Moneta, A. (2007). Empirical Validation of Agent-Based Models: Alternatives and Prospects. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 10 (2), 1-19.
- Zollo, G., Crescenzo, E., & Ponsiglione, C. (2011). A gap analysis of regional innovation systems (RIS) with medium - low innovative capabilities: The case of campania region (Italy). *ESU European University Network on Entrepreneurship Conference* (págs. 1-19). Spain: University of Seville.