



Análisis de las dinámicas de interacción entre agentes en el proceso de transferencia de tecnologías

William Alejandro Orjuela Garzon

Universidad Pontificia Bolivariana
Escuela de Ingeniería / maestría en gestión Tecnológica
Medellín, Colombia
2020

Proyecto de Tesis
Doctorado en Ingeniería

Análisis de las dinámicas de interacción entre agentes en el proceso de transferencia de tecnologías

William Alejandro Orjuela Garzon
Trabajo de Grado para optar al título de Magíster en gestión tecnológica

Director
Santiago Quintero
Profesor Titular
Escuela de Ingeniería - Facultad de Ingeniería Industrial

Universidad Pontificia Bolivariana
Escuela de Ingeniería / maestría en gestión Tecnológica
Medellín, Colombia
2020

25 de febrero de 2021

William Alejandro Orjuela Garzon

Declaro que este trabajo de grado no ha sido presentado con anterioridad para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o en cualquiera otra universidad". Art. 92, parágrafo, Régimen Estudiantil de Formación Avanzada.

Firma

William Alejandro Orjuela Garzon

Nota de aceptación

Firma
Nombre
Presidente del jurado

Firma
Nombre
Presidente del jurado

Firma
Nombre
Presidente del jurado

Medellín, Colombia, 25 de febrero de 2020

Contenido

Resumen.....	6
1. Introducción	7
2. Marco teórico y Estado del arte	10
2.1 Sistemas tecnológicos de innovación.....	10
2.1.1 Estructura de los STI	11
2.2 Transferencia de tecnología TT	12
2.2.2 Transferencia de tecnologías emergentes	15
2.3 Toma de decisiones en los procesos de transferencia de tecnología	15
2.4 Las capacidades como elemento clave para la TT.....	19
2.4.1 Capacidades tecnológicas	20
2.5 Paradigmas de modelación y simulación	21
2.5.1 Modelación y simulación basada en agentes.....	23
3. El problema de la TT.....	24
3.1. Objetivos	25
4. Metodología	26
5. Alcance y contribución	29
5.1 Productos esperados.....	30
6. Cronograma.....	30
7. Referencias.....	31

Resumen

Las tecnologías emergentes como la Internet de las Cosas (por sus siglas en inglés IoT), Big Data, manufactura 3D o la inteligencia artificial entre otras, presentan un amplio potencial para impactar el desarrollo económico y la innovación tecnológica. Estas tecnologías exhiben aplicaciones en diferentes sectores, por ejemplo: transporte, construcción, salud, agricultura, telecomunicaciones y energía. No obstante, dichas tecnologías enfrentan un reto, pues por su novedad, rápido crecimiento e impacto, exigen que las organizaciones las incorporen para lograr una transición hacia la automatización y el control de sus procesos. Para lograrlo, se requiere de estrategias que permitan transferirles exitosamente, con el objetivo de lograr una correcta adopción y uso de estas tecnologías para la producción y comercialización de bienes y servicios.

El fenómeno de la transferencia de tecnología (en adelante TT) ha sido estudiado desde diferentes enfoques con el fin de mejorar la productividad y competitividad en las organizaciones. En este sentido y para esta propuesta, la TT se concibe como un proceso mediante el cual se transfiere *Know-How* entre organizaciones para crear ventajas competitivas (Zhao, L., y Reisman, 1992). Sin embargo, el proceso no siempre se presenta de manera exitosa entre los agentes que participan de la generación, difusión y uso de tecnologías emergentes, debido a la heterogeneidad y desigualdad en las capacidades tecnológicas (en adelante CT) de los agentes que hacen parte del proceso de transferencia, además del contexto geográfico, las redes de interacción y las reglas de decisión, factores claves para comprender el fenómeno de la TT.

El propósito de esta investigación es proporcionar una mejor comprensión del fenómeno de la TT, a partir del análisis de las dinámicas de interacción y los patrones de comportamiento entre los agentes (emisor-difusor-receptor) que participan en los procesos de TT de tecnologías emergentes en un Sistema Tecnológico de Innovación (en adelante STI). Lo anterior facilitará en gran medida la formulación de estrategias y políticas adecuadas por parte de los tomadores de decisión, que permitan un mejor desempeño económico e innovador de los procesos de TT en estos sistemas.

Entendiendo las la heterogeneidad de los agentes involucrados y la toma de decisiones en el proceso de TT, como herramienta de análisis se plantea usar el paradigma de modelación basado en agentes (en adelante MBA). Dicha técnica estudia la emergencia a nivel macro de patrones de comportamiento de un sistema a partir de las interacciones de agentes semi inteligentes del nivel micro. La MBA ostenta un enfoque *bottom-up* y no exhibe un planificador central que controle el sistema, por el contrario, exhibe a partir de las interacciones sistémicas entre agentes heterogéneos comportamientos emergentes mediante su agregación.

1. Introducción

La TT es un fenómeno social complejo en el cual las capacidades, la interacción y toma de decisiones de los agentes vinculados a los procesos de generación, difusión y uso de la tecnología (Carlsson y Stankiewicz, 1991), son un factor crítico para garantizar su éxito. Esta propuesta de investigación aborda tres aspectos que afectan los procesos de TT: 1) la interacción entre los agentes en los procesos de generación, difusión y uso de la tecnología, 2) el enfoque centrado en el usuario para la toma de decisiones, y 3) las CT.

El aspecto de interacción entre agentes se ha abordado desde los STI, que presentan un énfasis en la difusión y utilización de una tecnología en particular más que en su generación (Bergek et al., 2015). Esta interacción no ocurre de manera espontánea en un entorno geográfico, por el contrario, depende de las decisiones y características internas de los agentes involucrados en el proceso, es decir, que no se debe suponer que la existencia de una tecnología implica que esta sea conocida y usada de manera efectiva (Carlsson, 1994).

El segundo aspecto viene desarrollándose en la literatura especializada desde el enfoque de los modelos teóricos de aceptación de la tecnología tales como: la teoría del comportamiento planificado (por sus siglas en inglés - TPB) (Ajzen, 2005) y el modelo de aceptación tecnológica (por sus siglas en inglés - TAM) (Davis, 1989). Dichos modelos analizan las reglas o factores de comportamiento que guían la toma de decisiones en torno al uso de la tecnología (Muelder y Filatova, 2018; Verma y Sinha, 2018) desde un enfoque centrado en el usuario, sin embargo, excluyen los emisores y difusores como agentes activos del proceso.

El tercer aspecto hace alusión a las CT de los agentes (emisor-difusor-receptor) inmersos en el proceso de TT. Las CT se comprenden como los conocimientos y las habilidades que se requieren para adquirir, usar, absorber, adaptar, mejorar y generar nuevas tecnologías (Bell y Pavitt, 1995; Lall, 1992). Desde dicha perspectiva, los agentes de un sistema pueden ser caracterizados y representados de acuerdo a sus CT, y de este modo establecer qué agentes exhiben características particulares de emisores, difusores, receptores y/o el conjunto de dichas características propias de la transferencia al interior del sistema. Es de anotar que las CT le otorgan a los agentes particularidades de relacionamiento e intensidad de interacción, que impacta sobre el desempeño innovador (Fritsch y Slavtchev, 2011). Es así como las asimetrías en las CT de los agentes implican que el proceso de transferencia y adopción de tecnologías difiera en sus resultados.

Tecnologías emergentes tienen el potencial para impactar diferentes sectores, sin embargo, requieren para su desarrollo de la generación, difusión y uso a través de la interacción y cooperación de agentes que participan en el proceso de transferencia, además de las CT que estos exhiben para garantizar su apropiación e implementación exitosa (Shen y Chou, 2010). Desde esta perspectiva, la relación entre los recursos (Penrose, 1959), las capacidades (Teece, 2010) y las competencias (Barney, 1991) de aquellos agentes que participan en la TT, son claves a la hora de tomar ventaja de

las oportunidades y beneficios de la adopción de tecnologías (Li, Hou, Liu, y Liu, 2012) como un factor crítico en el desempeño económico (Lund, 2004) y la creación de valor (Koch y Mitlöhner, 2010).

Los problemas asociados a los procesos de TT antes descritos, esbozan que actualmente, no se precisan cuáles son las dinámicas y patrones de comportamiento que adoptan los agentes de un STI en los procesos de TT de tecnologías emergentes, producto de la interacción y toma de decisiones de los agentes, donde las CT son un factor clave para el desempeño económico e innovador del sistema. Además, tales patrones de comportamiento conducen a fenómenos emergentes no conocidos en los procesos de TT.

Desde tal perspectiva, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

¿Cómo se da el proceso de TT de tecnologías emergentes en los STI desde un marco evolutivo de la interacción entre agentes?

¿Cómo se pueden representar las dinámicas de interacción y toma de decisiones en los procesos de TT de tecnologías emergentes entre los agentes de un STI, de forma tal que se permita diferenciar políticas y estrategias adecuadas para un mejor desempeño del sistema?

¿Cuál es el conjunto de patrones de comportamiento que siguen los agentes de un STI cuando adoptan tecnologías y que conducen a fenómenos emergentes como la TT?

Para responder a estos interrogantes, el propósito de esta investigación es mejorar la comprensión del fenómeno de la TT, a partir del análisis de las dinámicas de interacción entre agentes y los patrones de comportamiento que emergen de los procesos de TT de las tecnologías emergentes en un STI. Dadas las características del fenómeno de la TT, se ha definido el uso de la MBA por su utilidad para simular los problemas del mundo real con mayor precisión (Gilbert, 2007) y tener en cuenta las características de los agentes y su heterogeneidad en contraste con los modelos matemáticos (Kiesling, Günther, Stummer, y Wakolbinger, 2012). La MBA permite estudiar la emergencia de macro-comportamientos producto de las interacciones a nivel micro (Quintero, 2016; Scalco, Ceschi, y Sartori, 2018) de agentes autónomos en el ambiente que se desempeñan (Quintero, 2016).

La principal contribución de esta investigación será aportar en la comprensión del fenómeno de la TT desde un enfoque en los comportamientos individuales a partir de las CT de los agentes que participan en los procesos de transferencia. Además, se pretende abordar el fenómeno de la TT desde una mirada que contemple las interacciones entre agentes emisores, difusores y receptores de la tecnología y la toma de decisiones. Lo anterior permitirá identificar puntos de apalancamiento en los procesos de TT para ayudar a los tomadores de decisión a definir políticas y estrategias que proporcionen un mejor desarrollo, aplicación y uso de tecnologías emergentes en los STI.

La propuesta investigativa se compone de cuatro secciones principales así: La primera corresponde al estado del arte, donde se discuten los enfoques teóricos que soportan la propuesta y los hallazgos

de la revisión de la literatura científica especializada; en la segunda sección, se presentan los objetivos planteados con base en el problema de investigación; en la tercera sección se expone la metodología a seguir según la herramienta de análisis a emplear, y, por último, en la cuarta sección, se define el alcance y contribución de la propuesta.

2. Marco teórico y Estado del arte

A continuación, se presenta la descripción de los referentes teóricos, estado y tendencias de investigación relacionadas con los sistemas de innovación, específicamente para los STI, la TT, los modelos teóricos de adopción de la tecnología, las CT. Finalmente, se plantean los modelos de simulación que vienen abordando el fenómeno de la TT.

2.1 Sistemas tecnológicos de innovación

Diferentes conceptos relacionados con los sistemas de innovación han emergido y se han consolidado en la literatura científica. Entre ellos se incluyen los sistemas nacionales de innovación (Freeman, 1987; Lundvall, 1988; Nelson, 1992), sistemas regionales de innovación (Cooke, Gomez Uranga, y Etxebarria, 1997), sistemas sectoriales de innovación y producción (Breschi y Malerba, 1997) y los STI (Carlsson y Stankiewicz, 1991). El concepto de sistema de innovación, surge como resultado de un mejor entendimiento sobre cómo ocurre la innovación a partir de agentes individuales o un conjunto de estos, que actúan de manera individual o en red. Autores como Souzanchi Kashani y Roshani (2019), han analizado las tendencias en la evolución de la producción científica sobre los sistemas de innovación en los últimos 30 años, clasificando el *core* de la literatura en cuatro grupos: bases intelectuales persistentes (Lundvall, 1988; Nelson, 1992), pioneros decrecientes (Edquist, 1997; Freeman, 1987), trabajos emergentes (Hekkert, Suurs, Negro, Kuhlmann, y Smits, 2007) y otros fluctuantes (Carlsson y Stankiewicz, 1991; Malerba, 2002), estos dos últimos como parte de la literatura de los STI.

Como marco de referencia, en el presente proyecto de investigación se ha seleccionado el enfoque de los STI, entendidos como “una red dinámica de agentes que interactúan en un área económica/industrial específica bajo una infraestructura institucional particular involucrada en la generación, difusión y uso de tecnología” (Carlsson y Stankiewicz, 1991, p. 111). Lo anterior obedece a tres aspectos concretos que los diferencian: *i)* el grado de énfasis en la difusión y la utilización como algo distinto de la creación de nuevas tecnologías; *ii)* como resultado, los STI tienden a poner más énfasis en los aspectos microeconómicos de la difusión y utilización de la tecnología y, por último, *iii)* la creación de nueva tecnología empuja la frontera de posibilidad de producción u oportunidad establecida (Carlsson, 1994).

Los STI varían en carácter y extensión de un área tecnológica a otra dentro de un país determinado. Por ejemplo, el número y las características de los agentes y su interdependencia, la infraestructura institucional, la concentración geográfica y el grado de internacionalización varían entre las áreas tecnológicas. Un país puede ser fuerte en un área tecnológica y débil en otra (Carlsson, 1994). El objetivo principal del STI es el de influir en el proceso de difusión de nuevas tecnologías para que toda la industria local, incluida la gran cantidad de pequeñas y medianas organizaciones, puedan identificar, adquirir y utilizar nuevas tecnologías antes que sus competidores.

La transferencia de tecnología es vista desde los STI como un proceso de uso y difusión de recursos tecnológicos existentes de una región para la creación de nuevos productos o nuevas empresas

(Carlsson, 2002). Los STI se enfocan en el análisis del proceso de TT desde los generadores a los difusores y desde los difusores hacia los usuarios con un enfoque en la comercialización para mejorar la competitividad de las empresas.

Se identifican dos características particulares para el desarrollo y la eficiencia de procesos de TT, denominadas características internas de las firmas y características del medio. Las características internas se relacionan con las capacidades organizacionales para llevar a cabo dichos procesos. Respecto a las características del medio, algunos estudios en TT en STI muestran que el desarrollo de nuevas empresas requiere de buena gestión, redes fuertes y existencia de intermediarios “difusores” (Carlsson, 2002).

La existencia de dichas redes de agentes puede ser entendida como una de las razones para el crecimiento rápido de las organizaciones en los STI, dado que puede acelerar el proceso de TT. Sin embargo, la falla en el proceso, particularmente desde los agentes generadores de conocimiento, puede ser considerada la razón de los problemas de competitividad (Carlsson, 2002), lo anterior se debe a que la existencia de estos agentes no implica una interacción lineal entre los mismos (König, Janker, Reinhardt, Villarroel, y Junge, 2018).

Cuando se pretende transferir recursos con características genéricas, los procesos de transferencia mejoran su eficiencia. Sin embargo, cuando el recurso a transferir involucra información más compleja (*know-how*), se requiere que esta esté bien definida y sea soportada en redes, tanto formales como informales, que apoyen el proceso (Carlsson, 2002). Un STI en etapa temprana se caracteriza por la fluidez en la emergencia de la tecnología y una débil o ausente infraestructura institucional de soporte, por lo que la interacción entre las redes de generación, difusión y uso de dichas tecnologías es vital para alcanzar la madurez (Suurs, Hekkert, Kieboom, y Smits, 2010).

Los estudios sobre difusión de tecnologías en los STI revelan un marcado interés por tecnologías como la energía eólica (Bento y Fontes, 2015; Edsand, 2017), energía fotovoltaica (Hanson, 2017; Quitzow, 2015), tecnologías de captura de carbón (Van Alphen, Hekkert, y Turkenburg, 2010), electricidad de bajo carbón (Foxon, Hammond, y Pearson, 2010), baterías de iones de litio (Stephan, Schmidt, Bening, y Hoffmann, 2017) y farmacéutica (Wang y Zhang, 2016). Sin embargo, no han sido estudiadas otras tecnologías emergentes como la IoT, que por su versatilidad de aplicación puede impactar diversos sectores como el de salud, transporte, construcción y especialmente el de la agricultura (Jiang y Zhang, 2013). Desde el enfoque de los STI puede ser estudiado el impacto en la transición tecnológica de estos sectores hacia la competitividad basada en la incorporación de tecnologías IoT por los diferentes agentes que participan en el sistema.

2.1.1 Estructura de los STI

Los STI son multidimensionales y la gama de instituciones involucradas es muy amplia. El sistema político, el sistema educativo (incluidas las universidades), la legislación sobre patentes y las instituciones que regulan las relaciones laborales, se encuentran entre muchos arreglos que pueden influir en la generación, el desarrollo, la transferencia y la utilización de las tecnologías (Carlsson y Stankiewicz, 1991).

Según Jacobsson y Bergek (2004), un STI está conformado por tres elementos principales:

Actores: pueden ser firmas, usuarios, proveedores o capitalistas de riesgo u otras organizaciones. Un actor particularmente importante es un "motor principal" o generador de sistemas, un actor (o conjunto de actores) es técnica, financiera y/o políticamente tan poderoso que puede influir fuertemente en el proceso de desarrollo y difusión (Jacobsson y Bergek, 2004); estos podrían ser desarrolladores de tecnología, adoptadores de la tecnología, o también podrían ser reguladores, financiadores, etc. (Suurs et al., 2010). Para identificar estos actores en una industria específica se pueden emplear métodos como: análisis de patentes, análisis bibliométricos y asociaciones industriales o entrevistas con "Gurús" (Bergek, Jacobsson, Carlsson, Lindmark, y Rickne, 2008).

Redes: constituyen canales importantes para la transferencia de conocimiento tácito y explícito. Estas redes pueden construirse alrededor de los mercados y, por lo tanto, pueden ser conducentes a la identificación de problemas y al desarrollo de nuevas soluciones técnicas. También pueden no estar relacionadas con el mercado y conducir a una difusión más general de la información o a la capacidad de influir en la configuración institucional.

Instituciones: estipulan las normas y reglas que regulan las interacciones entre los actores y la base de valores de varios segmentos de la sociedad. Los roles de las instituciones varían; algunos influyen en la conectividad del sistema, mientras que otros influyen en la estructura de incentivos o la estructura de la demanda.

La existencia, funcionalidad y estado de desarrollo de los elementos que componen el STI, establecen las bases sobre las diferencias regionales en el proceso de TT (Audretsch y Feldman, 1996). De igual manera, se resalta que las diferencias culturales, geográficas y políticas son importantes cuando se requiere comunicación efectiva para adelantar los procesos de TT (Carlsson y Jacobsson, 1994). Desde esta perspectiva, las interdependencias sistémicas entre estos elementos generan diferentes sinergias (Bergek et al., 2015) en el STI para el desarrollo del proceso de TT y, por ende, efectos en su eficiencia.

2.2 Transferencia de tecnología TT

Hoy en día, la TT juega un rol importante en el desarrollo, la productividad y mejora del rendimiento de pequeñas y medianas empresas en su esfuerzo hacia la globalización (Chehrehpak, Alirezaei, y Farmani, 2012; S. Lee, Kim, Kim, y Oh, 2012) y la creación de ventajas competitivas (Teece, Pisano, y Shuen, 1997).

La TT ha sido definida en la literatura científica de diferentes maneras, de acuerdo con la disciplina y el propósito de investigación (Bozeman, 2000). Investigadores como Zhao, L., y Reisman (1992) plantean que desde la disciplina de la economía el rol de la TT se relaciona directamente con el crecimiento económico; desde la antropología, su rol es el cambio cultural y avance de la sociedad; desde la sociología, su rol es el de mejorar la vida social y vehículo para el desarrollo de la capacidad del individuo, y desde la literatura de administración, la TT se ve como un vehículo para obtener o

mantener las ventajas competitivas de una empresa, o para aportar beneficios financieros y de otro tipo a las empresas colaboradoras.

En este sentido y para esta propuesta, la TT se comprenderá como “un proceso mediante el cual se transfiere *Know-How* entre firmas para crear ventajas competitivas” (Zhao, L., y Reisman, 1992). Esta definición pone atención a la interacción entre firmas, donde actúan emisores, difusores y receptores. La complejidad del proceso en sí mismo se concentra en la identificación, evaluación y priorización de procesos y estrategias de TT, lo anterior debido a la presencia de diferentes agentes decisores, la naturaleza cualitativa del proceso y la existencia de imprecisión e incertidumbre en la toma de decisiones (Dinmohammadi y Shafiee, 2017).

2.2.1 El proceso de transferencia de tecnología

La TT se desarrolla en un escenario donde el emisor, el usuario y la tecnología son protagonistas, reconociendo que existen otros, como los difusores o intermediarios. Los participantes del proceso de TT son usualmente heterogéneos, por lo que los receptores de la tecnología tienen un lenguaje diferente al de los emisores (Rogers, 2002). De igual manera, se presentan diferentes percepciones sobre la tecnología de parte de los generadores y usuarios, dando como resultado un proceso desordenado que involucra agentes con visiones diferentes acerca del valor y uso potencial de la tecnología (Gibson y Smilor, 1991).

El emisor es propietario del conocimiento y el beneficiario o demandante es llamado usuario. Sin embargo, se presupone que el simple hecho de que ambos existan hace que la transferencia se realice de manera natural y que no se necesiten mecanismos y canales de comunicación que impulsen el proceso (Khabiri, Rast, y Senin, 2012). En este sentido, el difusor juega un papel vital como interface entre las partes (Necoechea-Mondragón, Pineda-Domínguez, y Soto-Flores, 2013), sirviendo como canal intermedio entre la demanda y oferta de tecnologías.

Los líderes organizacionales de las compañías generadoras de la tecnología a menudo subestiman la dificultad del proceso de transferencia, pues entienden que es un proceso obvio, derivado del beneficio tecnológico y ventaja percibida por parte de los usuarios finales (Rogers, 2002). Una de las principales estrategias para mejorar el proceso de TT es vincular los generadores con los usuarios a través de difusores¹, quienes aplican su experiencia y reputación para mejorar el desempeño del proceso (Rogers, 2002).

El proceso de TT es concebido normalmente en una sola vía. Sin embargo, el proceso es más comprensivo cuando se plantea bidireccionalmente con usuarios que presentan problemas o necesidades tecnológicas y a su vez proveen una retroalimentación en su implementación al generador y el difusor. La comunicación de la tecnología se da a través de distintos tipos de canales:

¹ Su rol implica hacer que los usuarios potenciales tomen conciencia de las tecnologías apropiadas, asesorar a los usuarios sobre sus necesidades y, en general, servir como un agente de enlace entre las tecnologías y los usuarios.

persona a persona, grupo a grupo u organización a organización (Rogers, 2002); estas redes y su naturaleza explican la efectividad del proceso (Rogers, 2002).

Este proceso continuo e interactivo de comunicación de tecnologías implica el intercambio de ideas, tecnologías y conocimiento simultáneamente y continuamente (Gibson y Smilor, 1991), en el cual el nivel de complejidad de la tecnología implica una mayor cooperación entre las partes a fin de mejorar el uso futuro de la misma (Chen, 1995).

Los agentes que participan en la TT toman decisiones tanto objetivas como subjetivas en torno al uso de la tecnología, que involucran aspectos técnicos, estructurales y comportamentales que afectan el proceso (Madu, 1990). La evidencia empírica muestra que los procesos de colaboración difusor-usuario o generador-usuario no cumplen con las expectativas de las partes en un 50% de los casos (Koza y Lewin, 2000), por lo que la identificación de los direccionadores del éxito del proceso de transferencia es un tema crítico de investigación (Lichtenthaler y Lichtenthaler, 2010).

Autores como Kim y Huarng (2011) enfatizan en la necesidad de exploración de la naturaleza compleja del proceso inter-organizacional de intercambio de conocimiento y tecnologías, donde las interacciones efectivas y de calidad entre los participantes del proceso mejoran el desarrollo del mismo. Sin estas interacciones entre las partes, el proceso de TT no puede llevarse a cabo, pues la liberación de la tecnología por sí misma no garantiza que los procesos de transferencia y difusión se lleven a cabo espontáneamente.

En un análisis del proceso interactivo de comunicación entre agentes vinculados a la TT mediante un estudio empírico, Gibson y Smilor (1991) identifican cuatro variables críticas en el proceso: interactividad comunicacional, distancia geográfica y cultural, tecnología equívoca y motivación personal. La primera se refiere al grado de eficiencia y precisión para entregar una información relevante entre generadores y usuarios; la segunda, relacionada con la distancia, involucra los aspectos culturales como elementos críticos en el éxito de la TT (Madu, 1990) por encima de los geográficos; la tercera hace referencia al grado de concreción de la tecnología, es decir, qué tan empaquetada y comprensible es para el usuario, y, por último, la variable motivación se relaciona con el reconocimiento de la importancia de las actividades de TT. Bajo esta perspectiva, la interacción exitosa mediante encuentros repetidos entre las partes aumenta la probabilidad de llegar al éxito en el proceso de transferencia (Leischnig, Geigenmueller, y Lohmann, 2014).

El proceso de TT no es lineal, sino que, por el contrario, es un proceso complejo que debe tener en cuenta tanto el generador, como el difusor, el usuario y elementos propios de la tecnología para mejorar el éxito, el desempeño económico e innovador (Fritsch y Slavtchev, 2011; Lund, 2004) y la eficiencia. Es decir, el éxito de la transferencia no se explica totalmente por la tecnología, sino que tiene inmersos otros factores que operan en el ambiente en el cual esta se transfiere (Madu, 1990).

2.2.2 Transferencia de tecnologías emergentes

Las tecnologías emergentes son innovaciones basadas en ciencia que tienen el potencial de crear una nueva industria o transformar una existente (Day y Schoemaker, 2000), además de impactar rápidamente el mercado y establecer nuevos modelos de negocio, fomentan el desarrollo de nuevas capacidades para su generación, difusión y uso (Porter, Roessner, Jin, y Newman, 2002). Las tecnologías emergentes presentan atributos clave que las diferencian claramente. Estos son: novedad radical, crecimiento relativamente rápido, coherencia, impacto prominente e incertidumbre sobre su evolución (Rotolo, Hicks, y Martin, 2015).

Tecnologías emergentes como la IoT presentan amplias alternativas para impactar de manera positiva la productividad y competitividad de las organizaciones que adoptan estas tecnologías. Estos dispositivos que captan y transmiten datos se están convirtiendo en protagonistas de lo que se ha denominado la cuarta revolución industrial (Shin, 2017), por lo que el potencial que tienen estos datos de crear valor y convertirse en fuente de toma de decisiones e innovación es alta (Hsu y Yeh, 2017).

Entre los campos de aplicación de la IoT se encuentra el transporte, las redes eléctricas, el seguimiento de activos e inventarios, la automatización de ciudades y, finalmente, uno de los sectores con más alto potencial, el de la agricultura. Sin embargo, no en todos los sectores la transferencia y adopción de tecnologías IoT presenta dinámicas similares.

Este tipo de innovaciones tecnológicas como la IoT presentan características propias, que por su novedad las hacen más difíciles de transferir y que a nivel empírico han sido validadas como: la facilidad de uso (Balaji y Roy, 2017), la utilidad (Gao y Bai, 2014) o el nivel de desarrollo de la tecnología (Caputo, Scutto, Carayannis, y Cillo, 2018). Otro aspecto que juega un papel clave en el proceso de TT de la IoT es la confianza (Gao y Bai, 2014) entre el difusor-usuario o generador-usuario, puesto que la privacidad y seguridad de los datos (Hsu y Yeh, 2017; Kowatsch y Maass, 2012) que se deriven de la implementación de la tecnología en una industria podrían estar en riesgo.

Siendo estos los retos más importantes para lograr la masificación y uso de la IoT, pueden afrontarse bajo esquemas de interacción y comunicación entre las partes. Se requiere entonces de parte de los generadores, difusores y usuarios estrategias que les permitan mejorar el desempeño económico e innovador, y las dinámicas con que se desarrollan de los procesos de TT en los diferentes sectores de aplicación.

2.3 Toma de decisiones en los procesos de transferencia de tecnología

Los procesos de TT se ven afectados por la toma de decisiones de las partes involucradas (emisor, difusor, usuario) en el desarrollo exitoso del proceso de transferencia. Las características individuales, aspectos culturales y demográficos que presentan los emisores, difusores y usuarios determinan los factores sobre los que se sustentan la toma de decisión y el comportamiento de los

mismos. Estos factores pueden influenciar los procesos de TT cuando se realiza una mirada a los motivadores sobre la adopción y uso de la tecnología en un sistema social.

La literatura especializada presenta varios modelos teóricos en el campo de la difusión y aceptación de las tecnologías de la información, que encuentran fundamentación desde la disciplina de la sociología en los estudios adelantados por Rogers (1962). Cada uno de estos modelos postula variables que intentan explicar los principios sobre los cuales se establecen los comportamientos en torno a las decisiones de adopción (o no) de una tecnología desde el lado de los receptores. Entre ellos se incluyen la teoría de la acción razonada (por sus siglas en inglés TRA), teoría del comportamiento planificado (por sus siglas en inglés TPB), teoría de la difusión de la innovación (por sus siglas en inglés IDT o DOI), la teoría unificada de aceptación y uso de tecnología (por sus siglas en inglés UTAUT) y el modelo de aceptación de tecnología (por sus siglas en inglés TAM) (Tohidyan y Rezaei-Moghaddam, 2017). A continuación, se presentan las principales variables explicativas de la toma de decisiones abordadas en los modelos teóricos de la aceptación de tecnologías:

Tabla 1: Variables clave de los modelos teóricos de la aceptación de tecnologías

Modelo de adopción	Variables clave de decisión	Referencia
TRA	Actitud hacia el comportamiento	Fishbein y Ajzen (1975)
	Norma subjetiva	
IDT	Imagen	Moore y Benbasat (1996)
	Ventaja relativa	
	Complejidad	
	Compatibilidad	
	Triabilidad	
	Observabilidad	
	Actitud	
TAM	Facilidad de uso percibida	Davis (1989)
	Utilidad percibida	
TAM2	Norma Subjetiva	Venkatesh y Davis (2000)
	Imagen	
	Relevancia del trabajo	
	Resultados de calidad	
	Demostrabilidad de los resultados	
TAM3	Autoeficacia de la computadora	Venkatesh y Bala (2008)
	Percepción de control externo	
	Ansiedad informática	
	Agrado de computadora	
	Disfrute Percibido	
	Objetivo de usabilidad	
UTAUT	Expectativa de rendimiento	Venkatesh, Morris, Davis, y Davis (2003)
	Esperanza de esfuerzo	
	Condiciones facilitadoras	
	Influencia social	
UTAUT2	Valor hedónico	Venkatesh, Thong, y Xu (2012)
	Valor del precio	
	Hábitos	

Modelo de adopción	Variables clave de decisión	Referencia
UTAUT3	Innovación personal	Farooq et al. (2017)
TPB	Actitud hacia el comportamiento	Azjen (2005)
	Norma subjetiva	
	Control conductual percibido	

Fuente: Elaborado por el autor basado en: (Gupta, Bhaskar, y Singh, 2017)

Los modelos teóricos de aceptación de la tecnología han sido aplicados en diferentes sectores como el educativo, la agricultura, la industria textil e industria de la construcción con el objetivo de comprender las variables clave que influyen en los procesos de aceptación y difusión de la tecnología desde los usuarios. Con el fin de estimar las relaciones causales entre dichas variables y priorizar las de mayor influencia en el proceso, se han empleado diferentes técnicas como modelos de ecuaciones estructurales, análisis factorial confirmatorio y mínimos cuadrados parciales.

Entre las aplicaciones de los modelos teóricos de aceptación de la tecnología para la agricultura, se encuentran agricultura de precisión (Adrian, Norwood, y Mask, 2005; Tohidyan Far y Rezaei-Moghaddam, 2017), servicios móviles de extensión (Verma y Sinha, 2018), tecnologías IoT y estrategias de producción sostenible (Naspetti et al., 2017; Silva, Canavari, y Sidali, 2017).

Las actitudes de confianza hacia el uso de las tecnologías agrícolas de precisión, las percepciones del beneficio neto, el tamaño de la propiedad y los niveles educativos de los agricultores influyeron positivamente en la intención de adoptar tecnologías agrícolas de precisión (Adrian et al., 2005; Tohidyan Far y Rezaei-Moghaddam, 2017). Los hallazgos de Verma y Sinha (2018) para las tecnologías de servicios móviles de extensión indican que ni la actitud ni la intención de comportamiento (por sus siglas en inglés BI) se ve afectada por el bienestar económico percibido (por sus siglas en inglés PEWB). Una contribución de esta investigación a la literatura del TAM es que el bienestar económico percibido es un antecedente de la utilidad percibida.

Para las tecnologías IoT, la confianza y el valor percibido son factores clave en la adopción de este tipo de tecnologías emergentes, más cuando los agricultores plantean preocupaciones sobre el manejo de los datos obtenidos mediante la IoT (Cardenas Tamayo, Lugo Ibarra, y Garcia Macias, 2010; Jayashankar, Nilakanta, Johnston, Gill, y Bures, 2018; Ullah, Sepasgozar, y Wang, 2018). Se observa que, para cada tipo de tecnología emergente, el usuario final se inclina a realizar cambios comportamentales para aceptar y, subsecuentemente, adoptar tecnologías.

Para las estrategias de producción sostenible, los resultados del modelo muestran que la intención de adoptar cierta tecnología de producción limpia, está fuertemente influenciada por la comprensión de la utilidad de la innovación en sí misma, mientras que esta comprensión está fuertemente influenciada por la opinión de "otros relevantes: compañeros agricultores, asesores, otros proveedores miembros de la cadena" (Naspetti et al., 2017; Silva et al., 2017).

Aunque los resultados de estas investigaciones muestran los factores de decisión relevantes en la adopción y uso de tecnologías por parte de los usuarios, otras investigaciones se han enfocado en la ampliación de estos enfoques teóricos a modelos más robustos que no solo tengan en cuenta la

toma de decisión del usuario, sino las de los emisores y difusores desde una mirada global del proceso.

2.3.1 Una mirada sistémica al proceso de toma de decisiones

Dado el enfoque sistémico que plantean los STI en el análisis de los procesos de TT, es necesario identificar elementos que impulsan o afectan la TT no solo desde el receptor, sino desde la interacción entre todos los agentes del sistema. En cuanto la identificación y priorización de factores críticos que afecten o faciliten los procesos de TT, se han aplicado diversos métodos de decisión multicriterio entre los que se encuentran proceso analítico jerárquico (por sus siglas en inglés AHP), proceso analítico en red (por sus siglas en inglés ANP), proceso analítico en red difuso (por sus siglas en inglés FANP), método delphi, delphi difuso, teoría de conjuntos difusos y técnica de orden de preferencia por similitud con la solución ideal (por sus siglas en inglés TOPSIS). Se destaca que, para cada contexto geográfico, sector o aplicación específica, se identifican factores y sub-factores particulares que influyen tanto positivamente como negativamente el proceso de TT.

La tabla 2 muestra los resultados de priorización de factores y sub-factores de toma de decisión en procesos de TT que no solo han tenido en cuenta los relacionados con el receptor, sino que también han puesto atención en otros factores que son determinantes en el proceso. Para cada uno de estos se han aplicado diferentes métodos de decisión multicriterio en donde el más destacado es el AHP.

Tabla 2: Métodos de decisión multicriterio aplicados a la priorización de factores y sub-factores para la toma de decisiones en procesos de TT

Método	Autor	# Factores identificados	# Sub-factores identificados
AHP	(S. Lee et al., 2012)	7	23
	(Kumar, Luthra, y Haleem, 2015)	6	20
	(Kumar, Luthra, Haleem, Mangla, y Garg, 2015)	5	24
	(Wen-Hsiang y Chien Tzu, 2009)	4	15
	(Mustafa Kamal y Alsudairi, 2009)	5	21
	(Gupta et al., 2017)	4	11
	(Ma, Chang, y Hung, 2013)	3	10
ANP	(H. Lee, Lee, y Park, 2009)	5	21
FANP	(Nilashi, Ahmadi, Ahani, Ravangard, y Ibrahim, 2016)	4	17
	(A. H. I. Lee, Wang, y Lin, 2010)	5	31
Método Delphi	(Ma et al., 2013)	3	10
Delphi difuso	(A. H. I. Lee et al., 2010)	5	31
Fuzzy set theory	(Wen-Hsiang y Chien Tzu, 2009)	4	15
TOPSIS	(Tektaş y Gozlu, 2008)	5	14

Fuente: Elaborado por el autor

A partir de la revisión a profundidad de la literatura, se identificaron un total de 9 factores (relacionados con el emisor, relacionados con el receptor, relacionados con la tecnología, relacionados con el ambiente de transferencia, relacionados con la apropiabilidad de la tecnología, relacionados con aspectos socio-culturales, relacionados con las políticas, relacionados con aspectos económicos y relacionados con el mercado) y 43 sub-factores que tienen una relación directa con la

toma de decisión en el proceso de TT y que muestran la relevancia de ampliar el enfoque de análisis y permita vincular estos direccionadores del comportamiento en los agentes vinculados al proceso.

Estas variables de decisión afectan positiva y negativamente el desempeño de los procesos de TT, dado que permiten establecer los criterios sobre los que se fundamenta la toma de decisiones sobre la transferencia y uso de una tecnología, es decir, puntos clave a tener en cuenta en el diseño de estrategias que permitan mejorar el desempeño económico e innovador (Fritsch y Slavtchev, 2011; Lund, 2004), y la velocidad del proceso.

Estas variables de toma de decisiones en el proceso de transferencia guardan relación con las características de los agentes involucrados. Es decir, desde una mirada de generador, emisor y receptor de la tecnología, estos agentes presentan conocimientos y habilidades diferenciadas para adquirir, usar, absorber, adaptar, mejorar y generar nuevas tecnologías, por lo que un elemento clave en el proceso de TT es conocer las características de los agentes según sus capacidades, lo que contribuirá a una mejor comprensión del sistema.

2.4 Las capacidades como elemento clave para la TT

Las características diferenciadas de desempeño de los agentes que participan en el proceso de TT están dadas por sus conocimientos, habilidades, competencias y la forma en que estas explotan sus recursos. Estas capacidades les permiten participar de manera eficiente en los procesos de TT, pues los conocimientos previos y las rutinas les posibilitan reconocer el valor de nuevas tecnologías, asimilarlas y aplicarlas para fines comerciales. Las nuevas tecnologías y conocimientos remplazan entonces los existentes y estas mejoran sus capacidades competitivas.

El conocimiento como fuente de ventaja competitiva en entornos altamente dinámicos y de rápido cambio tecnológico ha sido estudiado desde diversas aproximaciones teóricas, como es el caso de las capacidades dinámicas (Teece et al., 1997) o las competencias nucleares (Prahalad y Hamel, 1990). La firma, que aprende a usar nuevas tecnologías, a adaptarlas, a mejorarlas y a crear nuevos conocimientos (Lall, 1998), mejora su capacidad para direccionar el cambio técnico y así crear nuevas ventajas competitivas que le permiten sostenerse en el mercado de alta incertidumbre y apalancado por las tecnologías de frontera.

La literatura en este campo de conocimiento se ha focalizado en los procesos de aprendizaje que fundamentan la construcción y acumulación de capacidades. Tres tipos clave de capacidades son analizadas: las tecnológicas, las de innovación y las de absorción (Lugones, Gutti, y Le Clech, 2007). Sin embargo, las CT incluyen en su composición las capacidades de innovación y de absorción (Lugones et al., 2007), pues en el caso de las capacidades de absorción, Cohen y Levinthal (1990) las consideran críticas para alcanzar capacidades de innovación y estas, a su vez, son un componente clave para desarrollar las CT (Dahlman, Ross-Larson, y Westphal, 1987). A continuación, se presenta una ampliación del concepto de CT y su relación directa con la TT.

2.4.1 Capacidades tecnológicas

Las CT son comprendidas como aquellos recursos que son necesarios en las organizaciones para generar y gestionar el cambio técnico, incluidas las habilidades, el conocimiento, la experiencia, las estructuras y vínculos institucionales (Bell y Pavitt, 1993). El desarrollo de las CT es el resultado de las inversiones realizadas por la empresa en respuesta a estímulos externos e internos, y en interacción con otros agentes económicos, tanto privados como públicos, locales y extranjeros (Lall, 1992).

Las CT también son definidas como los conocimientos y habilidades para adquirir, usar, absorber, adaptar, mejorar y generar nuevas tecnologías (Bell y Pavitt, 1995; Lall, 1992). Según Lall (1992), existen varias formas de categorizar las CT de las organizaciones. Estas pueden ser clasificadas por complejidad como básicas (rutinas simples basadas en experiencia), intermedias (adaptativas, basadas en búsqueda) y avanzadas (innovativas, basadas en investigación). De igual manera, en esta taxonomía se incluyen tres tipos de capacidades: capacidades de inversión, de producción y de vinculación.

Para el desarrollo de procesos de TT es necesario que los agentes según su rol (generador, difusor, usuario) desarrollen CT de complejidad básica, intermedia y avanzada. Sin embargo, estas capacidades se encuentran distribuidas asimétricamente entre los agentes. Es decir, no todos los agentes según su rol en el proceso de TT presentan las mismas condiciones para adquirir, usar, absorber, adaptar, mejorar y generar nuevas tecnologías. Pueden existir organizaciones que sean buenas generando conocimiento, pero no tienen las capacidades para transferirlo (Park, 2011), por lo que deben establecer relaciones e interacciones con otros agentes que tengan mejores capacidades de difusión. Algunos de los factores que influyen en esta actividad son: comunicación entre involucrados, entrenamiento y participación gerencial (Martin y Salomon, 2003).

En cuanto a la medición de las CT, autores como Quintero, Ruiz, y Robledo (2017c, 2017b), han medido y representado estas como vectores dotados de posición y magnitud, características que representan el grado o nivel de la capacidad que ha adquirido un agente en el tiempo, permitiendo entender a través de la MBA cómo se acumulan o desacumulan tales capacidades de los agentes de un sistema de innovación. El modelo desarrollado por Quintero (2016), permite caracterizar y diferenciar los agentes de un sistema de innovación a partir de las CT, las cuales están asociadas a las funciones de generación, difusión y uso que debe tener cualquier sistema de innovación así:

- Función de generación de conocimiento y tecnología (capacidad de investigación y capacidad de desarrollo)
- Función de difusión de conocimiento y tecnología (Capacidad de vinculación)
- Función de uso del conocimiento y tecnología (capacidad de producción y capacidad de mercadeo de la innovación)

Es necesario entonces abordar el fenómeno de la transferencia desde nuevos enfoques que permitan caracterizar y analizar los diversos agentes, redes e interacciones que exhiben los STI. Además, comprender los mecanismos de transferencia y toma de decisiones asociadas al comportamiento de los agentes, por tanto, la literatura especializada muestra un enfoque centrado en el análisis y la acción individual de los agentes sin tener en cuenta una mirada más sistémica a partir de sus interacciones, permitiendo así establecer escenarios que posibiliten comprender mejor el fenómeno de la TT y definir políticas y estrategias adecuadas que mejoren el desempeño económico e innovador (Fritsch y Slavtchev, 2011; Lund, 2004) de la transferencia en un STI.

Las evidencias encontradas en la literatura presentan diferentes tipos de modelos que abordan los fenómenos emergentes como la TT de tecnologías emergentes, entre ellos se pueden encontrar modelos estocásticos, determinísticos, estáticos, dinámicos, los que optimizan y los que simulan. Tales modelos son presentados desde diferentes enfoques y paradigmas de modelación, algunos han permitido la construcción de teoría (Davis, Eisenhardt, y Bingham, 2007) y otros han facilitado una mayor operacionalización de dichos sistemas.

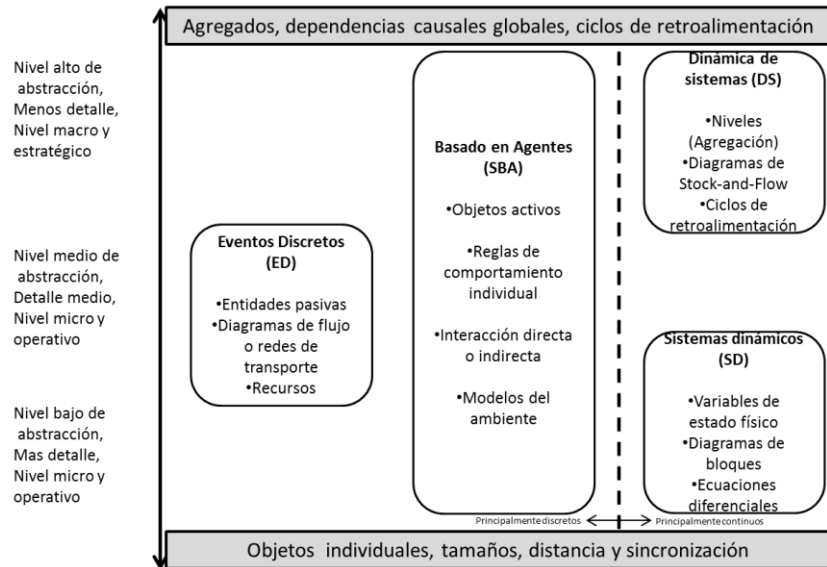
2.5 Paradigmas de modelación y simulación

La modelación y simulación permiten resolver problemas de la vida real que no pueden ser prototipados o experimentados en condiciones reales debido a que es imposible o altamente costoso (Borshchev y Filippov, 2004). Los paradigmas o propuestas de modelación y simulación se han agrupado en cuatro bloques principales (ver Figura 1), entre los que se encuentran: i) dinámica de sistemas (DS), ii) simulación de eventos discretos (SED), iii) simulación basada en agentes (SBA) y iv) sistemas dinámicos (SD). DS y SED han sido ampliamente utilizados en la literatura; SBA es un paradigma mucho más nuevo y SD se emplea para modelar y diseñar sistemas físicos (Borshchev y Filippov, 2004).

Según el nivel de abstracción, los sistemas dinámicos se encuentran en la base de la Figura 1; estos son usados en disciplinas de la ingeniería como mecánica, eléctrica, química y otras. Trata con variables continuas como velocidad, aceleración, presión y concentración. En un nivel medio de abstracción se encuentra la simulación de eventos discretos y la simulación basada en agentes con un nivel medio de detalle. La primera es más usada en manufactura, logística o centros de servicio, mientras que la segunda se aplica a ciencias de la complejidad, inteligencia artificial y teoría de juegos (Borshchev y Filippov, 2004).

En un último nivel de abstracción superior, más global y de menos detalle se encuentra la dinámica de sistemas y simulación basada en agentes, cuyo foco se orienta al tratamiento de problemas de índole industrial, organizacional, dinámicas poblacionales y negociación, entre otros (Borshchev y Filippov, 2004). La SBA pertenece al enfoque de modelado de "abajo hacia arriba"; no hay un planificador central que controle el sistema como un todo y para ese efecto controla el comportamiento de los agentes individuales en el nivel agregado (Happe, 2004).

Figura 1: Paradigmas de la modelación y simulación según la escala de abstracción



Fuente: Adaptado de (Borshchev y Filippov, 2004).

Los paradigmas de modelación y simulación han sido aplicados específicamente para entender los procesos de TT y la emergencia de los STI. Autores como Quang, Schreinemachers y Berger (2014) evaluaron cómo la interacción dinámica entre la pérdida de fertilidad del suelo y la toma de decisiones en la granja afecta el uso de métodos de conservación del suelo. Más específicamente, el estudio tiene como objetivo evaluar ex-ante el potencial de tres métodos de bajo costo para la conservación de suelos implementando MBA.

Schreinemachers y Berger (2011), describen un paquete de software de MBA denominado sistema multi-agentes basado en programación matemática (*Mathematical Programming-based Multi Agent Systems (MP-MAS)*), el cual está construido bajo el uso de una optimización con restricciones para simular la toma de decisiones en sistemas agrícolas. Su propósito es entender cómo la tecnología agrícola, mercados dinámicos, cambio ambiental e intervención política pueden afectar una población heterogénea de agricultores y los recursos agroecológicos que estos emplean.

Otra aplicación de la MBA para el proceso de TT ha sido desarrollada por Beretta, Fontana, Guerzoni, y Jordan (2018). El estudio proporciona un modelo teórico de adopción de tecnología basado en la idea de que la difusión de información sobre una tecnología depende tanto de la estructura social de los adoptantes como del grado de asertividad.

Para el caso de los modelos de simulación aplicados a los STI, Walrave y Raven (2016) desarrollan un modelo que integra el concepto de motor de innovación para describir las dinámicas de los STI, intentando responder a la pregunta ¿Cómo emergen los STI en el contexto de varias vías de transición socio técnica? En investigaciones posteriores, Raven y Walrave (2018), emplean un modelo de dinámica de sistemas para comprender el impacto los fallos en políticas de innovación en la transformación de sistemas enteros de producción y consumo desde una mirada de los STI y

la transición sostenible. El modelo combina el concepto de motores de innovación con el de vías de transición en sistemas sociotécnicos. Los resultados del modelo muestran que una combinación inteligente de intervenciones de políticas en otras partes del sistema puede llevar a mejoras suficientes en el rendimiento de los STI emergentes.

Azad y Ghodsypour (2017) utilizan la modelación como mecanismo para identificar las relaciones entre agentes y mercado en un sistema híbrido denominado tecno-sectorial, identificando las funciones de comportamiento dentro del ciclo de vida tecnológico en la industria petroquímica. Los resultados muestran que, para los dos escenarios definidos, la relación entre competidores y emprendedores juega un papel clave en la relación de beneficio en el sistema.

Algunos modelos de simulación presentados en la literatura especializada, analizan los procesos de TT desde un enfoque de aprendizaje tecnológico para distintos sectores, como la base del cambio técnico y la transición tecnológica y donde la simple existencia de la tecnología no implica la adopción y uso de la misma (Raven y Walrave, 2018). En esencia, la literatura de los STI se enfoca en la comprensión de cómo los nuevos sistemas de innovación emergen alrededor de innovaciones como los vehículos eléctricos, la tecnología fotovoltaica y el biogás (Walrave y Raven, 2016).

La literatura científica muestra que estos paradigmas de simulación han sido empleados para comprender los procesos de TT para el desarrollo de modelos teóricos de adopción de tecnología sobre la base del entendimiento de la heterogeneidad de los agentes (Davis et al., 2007). En efecto, la MBA presenta una alternativa promisorio para intentar entender cómo los procesos sociales funcionan a través del tiempo (Scalco et al., 2017), debido principalmente a que la MBA permite modelar los comportamientos e interacción de los agentes en el ambiente, empleando tanto datos cuantitativos como cualitativos para definir dichas relaciones (Muelder y Filatova, 2018). Otro aspecto interesante es que la MBA permite incluir factores estocásticos que generan una recreación más realista de los actos que se generan por arte de los agentes y que podrían no estar acordes a los patrones preestablecidos (Scalco et al., 2017).

2.5.1 Modelación y simulación basada en agentes

El modelado y la simulación tienen el objetivo de reproducir e imitar el comportamiento de un sistema en la vida real (Guerrero, Schwarz, y Slinger, 2016). El modelado basado en agentes MBA es una técnica formada de las ciencias sociales computacionales que involucra la construcción de modelos que son programas de computador (Gilbert, 2007).

Esta técnica ha sido ampliamente usada en las ciencias sociales ya que involucra la creación de modelos que contempla agentes, cada uno de los cuales representa un actor social y un ambiente en el cual estos actúan. Los agentes son capaces de interactuar entre ellos y son programados para ser proactivos, autónomos y capaces de percibir el mundo virtual (Gilbert, 2008). Los modelos computacionales son formulados como programas de computador en los cuales hay algunas entradas (como variables independientes) y algunas salidas (como variables dependientes). Los

patrones, estructuras y comportamientos que emergen se manifiestan por la interacción entre agentes (Macal y North, 2010).

Una estructura básica de un modelo basado en agentes contiene tres elementos (Gilbert y Terna, 2000):

1. Un conjunto de agentes, sus atributos y comportamientos.
2. Un conjunto de relaciones de agentes y métodos de interacción: una topología de conexiones define cómo y con quién interactúan los agentes.
3. El entorno de los agentes: los agentes interactúan con su entorno además de otros agentes.

Los agentes son partes distintas de un programa que se utilizan para representar a los actores sociales: personas u organizaciones. Una característica crucial de los agentes es que pueden pasar mensajes entre ellos y actuar sobre la base de lo que aprenden de estos mensajes (Gilbert, 2007). De igual manera, los agentes están dotados de comportamientos que les permiten tomar decisiones independientes. Las características que los condicionan son percepción, actuación, memoria y políticas. Un agente puede percibir el ambiente y otros agentes en el entorno, exhibiendo comportamientos capaces de reproducir como comunicación e interacción. Los agentes presentan memoria, es decir, pueden recordar estados previos y acciones, y, por último, tienen reglas o estrategias que determinan su situación (Elsenbroich y Gilbert, 2014).

El conjunto de relaciones entre los agentes está dado específicamente por el entorno, las políticas y estrategias en donde estos se desarrollan, promoviendo de manera natural la interacción entre dichos agentes. El entorno es el mundo virtual en el que actúan los agentes. Comúnmente, los entornos representan espacios geográficos (Gilbert, 2007).

El estudio de los procesos de TT como un fenómeno social complejo, desde un enfoque de los modelos de simulación basada en agentes, permite comprender las dinámicas de interacción de los agentes del sistema (emisor-difusor-receptor) que se generan en el uso de una tecnología. Sin embargo, el fenómeno no ha sido totalmente estudiado desde un enfoque sistémico que involucre las redes, los agentes y las instituciones del STI y además amplíe las reglas de toma de decisión, no solo desde el receptor, sino que además tenga en cuenta las CT de los agentes emisores, difusores y receptores que hacen parte del proceso de transferencia tecnológica en un STI.

3. El problema de la TT

Como se planteó en el marco teórico y el estado del arte, es de interés analizar específicamente las interacciones, la toma de decisiones y las CT de los agentes que participan en el proceso, no solo desde la mirada del receptor, sino contemplando también a los generadores y difusores como agentes heterogéneos que actúan en el sistema. Lo anterior abre la oportunidad de mejorar la comprensión de cómo ocurre el proceso de TT bajo ciertos escenarios.

A partir de los problemas asociados a los procesos de TT antes descritos, *se plantea el siguiente problema de investigación:*

Actualmente, no se precisan cuáles son las dinámicas y patrones de comportamiento que adoptan los agentes de un STI en los procesos de TT de tecnologías emergentes, producto de la interacción y toma de decisiones de los agentes, donde las CT son un factor clave para el desempeño económico e innovador del sistema. Además, tales patrones de comportamiento conducen a fenómenos emergentes no conocidos en los procesos de TT.

Lo cual lleva a plantear las siguientes preguntas de investigación:

¿Cómo se da el proceso de TT de tecnologías emergentes en los STI desde un marco evolutivo de la interacción entre agentes?

¿Cómo se pueden representar las dinámicas de interacción y toma de decisiones en los procesos de TT de tecnologías emergentes entre los agentes de un STI, de forma tal que se permita diferenciar políticas y estrategias adecuadas para un mejor desempeño del sistema?

¿Cuál es el conjunto de patrones de comportamiento que siguen los agentes de un STI cuando adoptan tecnologías y que conducen a fenómenos emergentes como la TT?

Partiendo de esta pregunta de investigación, y teniendo como herramienta de análisis la MBA, se plantea la siguiente hipótesis:

A mayor interacción entre agentes de un STI en los procesos de TT de tecnologías IoT, mejor será el desempeño económico e innovador del sistema, además, dichos procesos permiten comprender mejor como emergen los patrones de especialización de las capacidades tecnológicas de los agentes en el sistema.

3.1. Objetivos

General: Analizar las dinámicas de interacción y los patrones de comportamiento entre agentes que participan en procesos de TT de tecnologías emergentes en un STI.

Específicos

- Caracterizar los elementos que integran el proceso de TT de tecnologías emergentes en un STI (influencias, redes, variables, interacciones, capacidades de los agentes).
- Desarrollar un modelo de simulación basado en agentes que permita analizar las dinámicas de interacción y los patrones de comportamiento entre agentes que participan en los procesos de TT de tecnologías emergentes en un STI.

- Evaluar escenarios de política que mejoren el desempeño del proceso de TT de tecnologías emergentes en un STI.

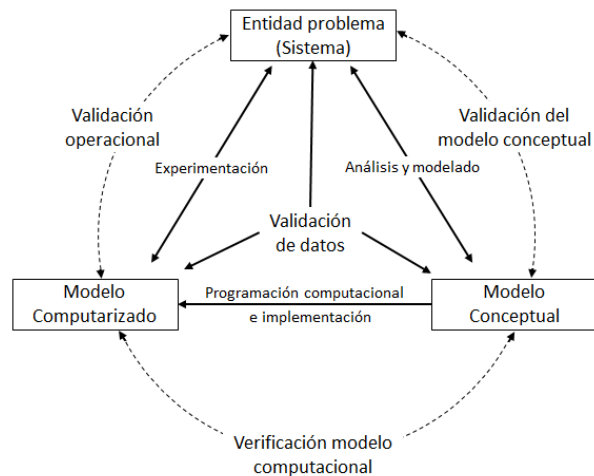
4. Metodología

Las características diferenciadas de los agentes y la capacidad de interacción según las reglas de toma de decisión, implican un análisis de tipo *bottom-up* que permita comprender cómo a partir de comportamientos individuales emergen macro-comportamientos (Scalco et al., 2018). La estrategia seleccionada para estudiar el fenómeno de la TT de tecnologías emergentes en STI ha sido la MBA, en este sentido, este marco de análisis puede ayudar al desarrollo de representaciones válidas de los comportamientos de los agentes en simulaciones computacionales (Scalco et al., 2018), enfocándose principalmente en su heterogeneidad, las interacciones sociales, los procesos de toma de decisión (Kiesling et al., 2012), y los aspectos estructurales del sistema como políticas e infraestructura (Rai y Robinson, 2015) que pueden ser modelados explícitamente.

La MBA ha sido empleada en el estudio de fenómenos sociales complejos como dinámicas de opinión, adopción de tecnologías, mercadeo, redes sociales y segregación (Elsenbroich y Gilbert, 2014), puesto que permite establecer escenarios que facilitan la comprensión de los fenómenos a través del tiempo, dejando a un lado la mirada estática de otros marcos analíticos.

La presente propuesta de investigación contempla cinco fases, sustentadas en una adaptación del modelo metodológico para la construcción y validación de un modelo de simulación de Sargent (2013) (ver figura 2). Para tal fin, la metodología adoptará un enfoque *bottom-up* propio de la MBA, donde inicialmente se caracterizarán las especificidades de los agentes, sus reglas de decisión y el relacionamiento. Además, se formularán los supuestos que representan el modelo de transferencia tecnológica, para luego proponer un modelo conceptual que posteriormente se llevará a un modelo computacional; seguido se realizará una validación de los supuestos y del comportamiento del modelo, y, finalmente, se identificarán los parámetros sensibles del modelo con el fin de plantear escenarios que permitan evaluar un conjunto de políticas en el desempeño del sistema. El modelo a desarrollar se abordará desde un corte exploratorio, y estará sujeto a la consecución de datos para el análisis del proceso de TT de una tecnología emergente como la IoT en un STI, específicamente en el sector agrícola.

Figura 2: Modelo simplificado para la construcción y validación de un modelo de simulación



Fuente: Adaptado de (Sargent, 2013)

Fase I: Delimitación del problema. El primer paso para desarrollar un proceso de modelación es establecer claramente cuál es el problema de investigación, por qué este es un problema y cuáles deben ser los conceptos, variables clave y comportamientos problemáticos que se deberán considerar. Es importante ser claro, conciso y específico para la formulación del modelo, es decir, informar por qué es necesario construirlo y qué se espera obtener con el mismo (Grimm et al., 2006).

Fase II. Conceptualización del sistema. Se definen los elementos que integran la descripción del sistema, así como las influencias que se producen entre estos. Así mismo, se establece la frontera del sistema, es decir, qué es considerado endógeno o exógeno.

Para esta fase se aplicará el proceso de construcción propuesto por Wilensky (1999), que plantea tres etapas y que posteriormente servirá de fundamento para el desarrollo de la MBA. La primera etapa consiste en realizar unas preguntas iniciales que permiten dar claridad sobre cómo el modelo aporta a la comprensión del fenómeno, entre estas se encuentran:

- ¿Cuál es la pregunta de investigación?
- ¿Qué se quiere modelar?
- ¿Qué ideas requieren ser examinadas?
- ¿Cuáles son los detalles esenciales del sistema y cuáles no?
- ¿Cómo el modelo ayuda a la comprensión del fenómeno?

La segunda etapa consiste en exponer las respuestas obtenidas a la teoría, buscando que el modelo refleje de forma adecuada los conceptos que lo soportan teóricamente. En la tercera etapa se formulan hipótesis que permitan construir el modelo conceptual.

Fase III. Formulación del modelo de simulación. En este paso se definen la estructura, las reglas de decisión, los parámetros, las relaciones de comportamiento y condiciones iniciales. Este debe ser

verificado computacionalmente antes de que pueda ser utilizado, para evaluar la consistencia y el cumplimiento de la delimitación propuesta.

Supuestos del modelo: son las premisas bajo las cuales se construye el modelo, es decir, los argumentos que soportan el funcionamiento del mismo.

Modelo conceptual: representa los procedimientos y los vínculos que se generan entre los agentes en el entorno, además de las clases generales de agentes, su cantidad aproximada (Rand y Rust, 2011), propiedades y comportamientos que los describen.

Reglas de decisión: las interacciones entre los agentes se dan a través de mecanismos o reglas de decisión, los cuales pueden ser descritos usando un diagrama de flujo del modelo. A través del diagrama de flujo se busca también aclarar el orden en el que se dan los procesos, intentando dar respuesta a cómo las acciones pasan realmente y qué acciones son fijas, sincrónicas o asincrónicas.

Parámetros y parametrización: se debe aclarar qué procesos, individuales o del ambiente, se construirán en el modelo (Grimm et al., 2006), para llevar a cabo las simulaciones, y cuáles son los valores elegidos de cada uno de los parámetros. Se debe establecer si estos son seleccionados arbitrariamente o basados en datos.

Construcción del modelo de simulación: el objetivo es crear e implementar una versión del modelo que pueda ser ejecutada computacionalmente y que corresponda con el modelo conceptual antes planteado (Rand y Rust, 2011). Esta programación consiste en la construcción de varios procedimientos, equivalentes a submodelos que componen todo el modelo.

Verificación computacional: la verificación determina el nivel de correspondencia entre el modelo implementado y el modelo conceptual, es decir, asegura que el programa computacional y la implementación del modelo conceptual son correctos (Sargent, 2013). Se aplicará la técnica de validación de trazas que consiste en el seguimiento de los comportamientos de las entidades en cada submodelo y del modelo general, para determinar si la lógica es correcta y si es obtenida la precisión necesaria

Fase IV. Validación del modelo. Debido a que todos los modelos, mentales o formales, son representaciones limitadas y simplificadas del mundo real, estos difieren de la realidad. Este paso pretende evaluar si la estructura interna del modelo es suficientemente fiel al sistema real. Se ponen a prueba los supuestos y reglas de decisión establecidas, así como el comportamiento del modelo.

Se realizará una validación conceptual y otra operacional. La primera busca garantizar que el modelo está correctamente sustentando según los supuestos y reglas de decisión; la segunda, la validación operacional, busca que el comportamiento resultante capture la dinámica real del sistema, con un rango de precisión satisfactorio. Sargent (2013), describe una serie de técnicas y test usados para la verificación y validación de modelos de simulación, entre las que se encuentran: animación,

comparación con otros modelos, pruebas degeneradas, validez de eventos, pruebas en condiciones extremas, validez de cara, validación histórica de datos, métodos históricos (racionalismo-empirismo), trazas y validez multietapas, entre otras técnicas.

De igual manera, otras propuestas de validación son desarrolladas por Windrum, Fagiolo, y Moneta (2007) como calibración indirecta y el modelo histórico amigable (*History Friendly Models* "HFM"). Este último busca llevar el modelo más cerca de la evidencia empírica. La diferencia de este enfoque es que utiliza casos históricos específicos de una industria o sector para obtener los parámetros del modelo, interacciones y reglas de decisión de los agentes (Windrum et al., 2007). Este enfoque ha sido desarrollado en diferentes estudios (Malerba, Nelson, y Winter, 1999). Para la validación conceptual se empleará el método histórico del racionalismo y para la validación operacional se empleará el modelo histórico amigable.

Fase V: Análisis de comportamiento del modelo. Se aplica un análisis de sensibilidad para mejorar el entendimiento del comportamiento del modelo según los parámetros, condiciones iniciales, delimitación del modelo y agregación, esto permitirá identificar parámetros sensibles. En esta etapa es definida una base para la comparación de los comportamientos. Posteriormente, se plantean escenarios y se estudian los cambios generados, comparando los diferentes resultados para analizar las dinámicas de interacción y los patrones de comportamiento en los procesos de TT. Finalmente, se evalúan un conjunto de políticas para valorar el efecto de estas sobre el sistema de estudio.

5. Alcance y contribución

Se desarrollará un modelo basado en agentes que permita conocer mejor el proceso de TT desde una mirada a los comportamientos individuales y las capacidades de los agentes que participan en el proceso. Además, se pretende mejorar la comprensión del fenómeno de TT desde una mirada que contemple la participación de emisores, difusores y receptores de la tecnología en un STI con base en las reglas de toma de decisiones y sus CT, identificando puntos de apalancamiento para que los tomadores de decisión en materia de política definan estrategias para mejorar el desarrollo, aplicación y uso de tecnologías emergentes.

En este sentido, la investigación permitirá comprender cómo las reglas de toma de decisiones de los agentes y las asimetrías en las CT afectan el desempeño económico e innovador del proceso de TT. Otro aporte derivado de la investigación será generar conocimiento que soporte a los tomadores de decisión para el diseño de políticas basadas en los comportamientos y capacidades de los emisores, difusores y usuarios de la tecnología. Lo anterior debido a que el diseño de la investigación permite considerar aspectos que generalmente se ignoran en los modelos analíticos: variabilidad entre individuos, interacciones, ciclos del proceso completo y, en particular, comportamiento individual que se adapta al entorno interno y externo cambiante del agente.

5.1 Productos esperados

- Un modelo basado en agentes que sirva de apoyo a los tomadores de decisiones para el diseño de políticas y estrategias que mejoren el desempeño del proceso de TT.
- Documento con la disertación doctoral.
- Dos artículos científicos sometidos en revistas indexadas por Scopus en Q1 o Q2.
- Participación en al menos 2 congresos de talla internacional.
- Un registro de software.

6. Cronograma

Objetivo	Fases y actividades	Año 1				Año 2			
		trimestres							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Objetivo específico 1	Fase I: Delimitación del problema.								
	Ampliación del marco teórico y el estado del arte de las problemáticas que subyacen del proceso TT de tecnologías emergentes en STI y la forma en que han sido abordados dichos problemas desde la modelación.								
	Fase II. Conceptualización del sistema.								
	Definición de los elementos que integran la descripción del sistema.								
	Determinar las comunicaciones e interacciones, así como las influencias que se dan entre los agentes.								
	Establecer la relación de los supuestos con la teoría.								
Objetivo específico 2	Fase III. Formulación del modelo de simulación.								
	Definición de la estructura, supuestos del modelo, las reglas de decisión, los parámetros, las relaciones de comportamiento y condiciones iniciales.								
	Construcción del modelo de simulación.								
	Corrida y verificación computacional.								
	Fase IV. Validación del modelo.								
	Validación conceptual.								
	Validación operacional.								
Objetivo específico 3	Fase V: Análisis de comportamiento del modelo.								
	Análisis de sensibilidad del modelo y localización de parámetros sensibles.								
	Análisis de política, a partir de escenarios que mejoren la comprensión del efecto del cambio en los parámetros sensibles sobre el sistema.								

7. Referencias

- Adrian, A. M., Norwood, S. H., & Mask, P. L. (2005). Producers' perceptions and attitudes toward precision agriculture technologies. *Computers and Electronics in Agriculture*, *48*(3), 256–271. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2005.04.004>
- Audretsch, D. B., & Feldman, M. P. (1996). R&D Spillovers and the Geography of Innovation and Production. *The American Economic Review*, *86*(3), 630–640. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2118216>
- Azad, S. M., & Ghodsypour, S. H. (2017). Modeling the dynamics of technological innovation system in the oil and gas sector. *Kybernetes*, *47*(4), 771–800. <https://doi.org/10.1108/K-03-2017-0083>
- Azjen, I. (2005). *Attitudes, Personality and Behaviour*. (T. Manstead, Ed.). New York: McGraw-Hill.
- Balaji, M. S., & Roy, S. K. (2017). Value co-creation with Internet of things technology in the retail industry. *Journal of Marketing Management*, *33*(1–2), 7–31. <https://doi.org/10.1080/0267257X.2016.1217914>
- Barney, J. (1991). Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management*, *17*(1), 99–120. <https://doi.org/10.1177/014920639101700108>
- Bell, M., & Pavitt, K. (1993). Technological Accumulation and Industrial Growth: Contrasts Between Developed and Developing Countries. *Industrial and Corporate Change*, *2*(2), 157–210. <https://doi.org/10.1093/icc/2.2.157>
- Bell, M., & Pavitt, K. (1995). The Development of Technological Capabilities. In *Trade, technology, and international competitiveness* (pp. 69–101). Washington D.C: Economic Development Institute of The World Bank.
- Bento, N., & Fontes, M. (2015). The construction of a new technological innovation system in a follower country: Wind energy in Portugal. *Technological Forecasting & Social Change*, *99*, 197–210. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.06.037>
- Beretta, E., Fontana, M., Guerzoni, M., & Jordan, A. (2018). Cultural dissimilarity: Boon or bane for technology diffusion? *Technological Forecasting and Social Change*, (September 2017). <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.03.008>
- Bergek, A., Hekkert, M., Jacobsson, S., Markard, J., Sandén, B., & Truffer, B. (2015). Technological innovation systems in contexts: Conceptualizing contextual structures and interaction dynamics. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, *16*, 51–64. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2015.07.003>
- Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S., & Rickne, A. (2008). Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. *Research Policy*, *37*(3), 407–429. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.12.003>
- Borshchev, A., & Filippov, A. (2004). From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling : Reasons , Techniques , Tools. *22nd International Conference of the System Dynamics Society, 25-29 July 2004*, 45.
- Bozeman, B. (2000). Technology transfer and public policy: a review of research and theory. *Research Policy*, *29*(4–5), 627–655. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00093-1](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00093-1)
- Breschi, S., & Malerba, F. (1997). Sectoral Innovation Systems: Technological Regimes, Schumpeterian Dynamics, and Spatial Boundaries. In C. Edquist (Ed.), *Systems of innovation: Technologies, institutions and organizations* (p. 446). <https://doi.org/10.1016/S0024->

6301(98)90244-8

- Caputo, F., Scuotto, V., Carayannis, E., & Cillo, V. (2018). Intertwining the internet of things and consumers' behaviour science: Future promises for businesses. *Technological Forecasting and Social Change*, 136(March 2017), 277–284.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.03.019>
- Cardenas Tamayo, R. A., Lugo Ibarra, M. G., & Garcia Macias, J. A. (2010). Better crop management with decision support systems based on wireless sensor networks. *2010 7th International Conference on Electrical Engineering Computing Science and Automatic Control*, (Cce), 412–417. <https://doi.org/10.1109/ICEEE.2010.5608629>
- Carlsson, B. (1994). Technological Systems and Economic Growth: Comparing Finland, Sweden, Japan, and the United States. In S. Vuori & P. Vuorinen (Eds.), *Explaining Technical Change in a Small Country* (pp. 159–183). Heidelberg: Physica-Verlag HD. https://doi.org/10.1007/978-3-642-95913-4_7
- Carlsson, B. (2002). *Technological Systems in the Bio Industries*. (B. Carlsson, Ed.) (Vol. 26). Boston, MA: Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0915-8>
- Carlsson, B., & Jacobsson, S. (1994). Technological systems and economic policy: the diffusion of factory automation in Sweden. *Research Policy*, 23(3), 235–248.
[https://doi.org/10.1016/0048-7333\(94\)90036-1](https://doi.org/10.1016/0048-7333(94)90036-1)
- Carlsson, B., & Stankiewicz, R. (1991). On the nature, function and composition of technological systems. *Journal of Evolutionary Economics*, 1(2), 93–118.
<https://doi.org/10.1007/BF01224915>
- Chehrehpak, M., Alirezaei, A., & Farmani, M. (2012). Selecting of optimal methods for the technology transfer by using analytic hierarchy process (AHP). *Indian Journal of Science and Technology*, 5(4), 2540–2546.
- Chen, Y. (1995). *Teaching material in technology transfer*. Jongli City: Yuan Ze University Press.
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128–152.
<https://doi.org/10.2307/2393553>
- Cooke, P., Gomez Uranga, M., & Etzebarria, G. (1997). Regional innovation systems: Institutional and organisational dimensions. *Research Policy*, 26(4–5), 475–491.
[https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(97\)00025-5](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(97)00025-5)
- Dahlman, C. J., Ross-Larson, B., & Westphal, L. E. (1987). Managing technological development: Lessons from the newly industrializing countries. *World Development*, 15(6), 759–775.
[https://doi.org/10.1016/0305-750X\(87\)90058-1](https://doi.org/10.1016/0305-750X(87)90058-1)
- Davis, Eisenhardt, K. M., & Bingham, C. B. (2007). Developing Theory Through Simulation Methods. *Academy of Management Review*, 32(2), 480–499.
<https://doi.org/10.5465/amr.2007.24351453>
- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness , Perceived Ease of Use , and User Acceptance of information technology. *Management Information System Research Center*, 13(3), 319–340. Retrieved from www.jstor.org/stable/249008
- Day, G. S., & Schoemaker, P. J. H. (2000). Avoiding the Pitfalls of Emerging Technologies. *California Management Review*, 42(2), 8–33. <https://doi.org/10.2307/41166030>
- Dinmohammadi, A., & Shafiee, M. (2017). Determination of the Most Suitable Technology Transfer Strategy for Wind Turbines Using an Integrated AHP-TOPSIS Decision Model. *Energies*, 10(5), 1–17. <https://doi.org/10.3390/en10050642>
- Edquist, C. (1997). Systems of innovation approaches - their emergence and characteristics. In

- Systems of innovation: Technologies, institutions and organizations* (pp. 3–37).
- Edsand, H. E. (2017). Identifying barriers to wind energy diffusion in Colombia: A function analysis of the technological innovation system and the wider context. *Technology in Society*, 49, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2017.01.002>
- Elsenbroich, C., & Gilbert, N. (2014). *Modelling norms. Modelling Norms*. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7052-2>
- Farooq, M. S., Salam, M., Jaafar, N., Fayolle, A., Ayupp, K., Radovic-Markovic, M., & Sajid, A. (2017). Acceptance and use of lecture capture system (LCS) in executive business studies: Extending UTAUT2. *Interactive Technology and Smart Education*, 14(4), 329–348. <https://doi.org/10.1108/ITSE-06-2016-0015>
- Fishbein, M., & Ajzen, I. (1975). *Belief, attitude, intention and behaviour: An introduction to theory and research* (Vol. 27). Addison-Wesley.
- Foxon, T. J., Hammond, G. P., & Pearson, P. J. G. (2010). Developing transition pathways for a low carbon electricity system in the UK. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(8), 1203–1213. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.04.002>
- Freeman, C. (1987). *Technology policy and economic performance: lessons from Japan*. Pinter publishers London. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(88\)90011-X](https://doi.org/10.1016/0048-7333(88)90011-X)
- Fritsch, M., & Slavtchev, V. (2011). Determinants of the efficiency of regional innovation systems. *Regional Studies*, 45(7), 905–918. <https://doi.org/10.1080/00343400802251494>
- Gao, L., & Bai, X. (2014). A unified perspective on the factors influencing consumer acceptance of internet of things technology. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 26(2), 211–231. <https://doi.org/10.1108/APJML-06-2013-0061>
- Gibson, D. V., & Smilor, R. W. (1991). Key variables in technology transfer: A field-study based empirical analysis. *Journal of Engineering and Technology Management*, 8(3–4), 287–312. [https://doi.org/10.1016/0923-4748\(91\)90015-J](https://doi.org/10.1016/0923-4748(91)90015-J)
- Gilbert, N. (2007). *Agent-based models*. Guildford.
- Gilbert, N. (2008). *Agent Based Models: Quantitative Applications in the Social Sciences*. SAGE publications. <https://doi.org/10.4135/9781412983259>
- Gilbert, N., & Terna, P. (2000). How to build and use agent-based models in social science. *Mind & Society*, 1(1), 57–72. <https://doi.org/10.1007/BF02512229>
- Grimm, V., Berger, U., Bastiansen, F., Eliassen, S., Ginot, V., Giske, J., ... DeAngelis, D. L. (2006). A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological Modelling*, 198(1–2), 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.04.023>
- Guerrero, C. N., Schwarz, P., & Slinger, J. H. (2016). A recent overview of the integration of System Dynamics and Agent-based Modelling and Simulation. *34th International Conference of the System Dynamics Society*, 1–13.
- Gupta, K. P., Bhaskar, P., & Singh, S. (2017). Prioritization of factors influencing employee adoption of e-government using the analytic hierarchy process. *Journal of Systems and Information Technology*, 19(1/2), 116–137. <https://doi.org/10.1108/JSIT-04-2017-0028>
- Hanson, J. (2017). Established industries as foundations for emerging technological innovation systems : The case of solar photovoltaics in Norway. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, (July 2016), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2017.06.001>
- Happe, K. (2004). *Agricultural policies and farm structures Agent-based modelling and application to EU-policy reform*.
- Hekkert, M. P., Suurs, R. A. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S., & Smits, R. E. H. M. (2007). Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological*

- Forecasting and Social Change*, 74(4), 413–432.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.03.002>
- Hsu, C. W., & Yeh, C. C. (2017). Understanding the factors affecting the adoption of the Internet of Things. *Technology Analysis and Strategic Management*, 29(9), 1089–1102.
<https://doi.org/10.1080/09537325.2016.1269160>
- Jacobsson, S., & Bergek, A. (2004). Transforming the energy sector: The evolution of technological systems in renewable energy technology. *Industrial and Corporate Change*, 13(5), 815–849.
<https://doi.org/10.1093/icc/dth032>
- Jayashankar, P., Nilakanta, S., Johnston, W. J., Gill, P., & Bures, R. (2018). IoT adoption in agriculture: the role of trust, perceived value and risk. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 33(6), 804–821. <https://doi.org/10.1108/JBIM-01-2018-0023>
- Jiang, R., & Zhang, Y. (2013). Research of Agricultural Information Service Platform Based on Internet of Things. *2013 12th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering & Science*, 176–180.
<https://doi.org/10.1109/DCABES.2013.39>
- Khabiri, N., Rast, S., & Senin, A. A. (2012). Identifying Main Influential Elements in Technology Transfer Process: A Conceptual Model. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 40, 417–423. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.209>
- Kiesling, E., Günther, M., Stummer, C., & Wakolbinger, L. M. (2012). Agent-based simulation of innovation diffusion: a review. *Central European Journal of Operations Research*, 20(2), 183–230. <https://doi.org/10.1007/s10100-011-0210-y>
- Kim, S.-H., & Huarng, K.-H. (2011). Winning strategies for innovation and high-technology products management. *Journal of Business Research*, 64(11), 1147–1150.
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2011.06.013>
- Koch, S., & Mitlöhner, J. (2010). Effort estimation for enterprise resource planning implementation projects using social choice – a comparative study. *Enterprise Information Systems*, 4(3), 265–281. <https://doi.org/10.1080/17517575.2010.496494>
- König, B., Janker, J., Reinhardt, T., Villarroel, M., & Junge, R. (2018). Analysis of aquaponics as an emerging technological innovation system. *Journal of Cleaner Production*, 180, 232–243.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.037>
- Kowatsch, T., & Maass, W. (2012). Critical privacy factors of internet of things services: An empirical investigation with domain experts. *Lecture Notes in Business Information Processing*, 129 LNBIP, 200–211. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33244-9_14
- Koza, M., & Lewin, A. (2000). Managing partnerships and strategic alliances: raising the odds of success. *European Management Journal*, 18(2), 146–151. [https://doi.org/10.1016/S0263-2373\(99\)00086-9](https://doi.org/10.1016/S0263-2373(99)00086-9)
- Kumar, S., Luthra, S., & Haleem, A. (2015). Benchmarking supply chains by analyzing technology transfer critical barriers using AHP approach. *Benchmarking: An International Journal*, 22(4), 538–558. <https://doi.org/10.1108/BIJ-05-2014-0040>
- Kumar, S., Luthra, S., Haleem, A., Mangla, S. K., & Garg, D. (2015). Identification and evaluation of critical factors to technology transfer using AHP approach. *International Strategic Management Review*, 3(1–2), 24–42. <https://doi.org/10.1016/j.ism.2015.09.001>
- Lall, S. (1992). Technological capabilities and industrialization. *World Development*, 20(2), 165–186. [https://doi.org/10.1016/0305-750X\(92\)90097-F](https://doi.org/10.1016/0305-750X(92)90097-F)
- Lall, S. (1998). Technological capabilities in emerging Asia. *Oxford Development Studies*, 26(2), 213–243. <https://doi.org/10.1080/13600819808424154>

- Lee, A. H. I., Wang, W.-M., & Lin, T.-Y. (2010). An evaluation framework for technology transfer of new equipment in high technology industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(1), 135–150. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2009.06.002>
- Lee, H., Lee, S., & Park, Y. (2009). Selection of technology acquisition mode using the analytic network process. *Mathematical and Computer Modelling*, 49(5–6), 1274–1282. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2008.08.010>
- Lee, S., Kim, W., Kim, Y. M., & Oh, K. J. (2012). Using AHP to determine intangible priority factors for technology transfer adoption. *Expert Systems with Applications*, 39(7), 6388–6395. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.12.030>
- Leischnig, A., Geigenmueller, A., & Lohmann, S. (2014). On the role of alliance management capability, organizational compatibility, and interaction quality in interorganizational technology transfer. *Journal of Business Research*, 67(6), 1049–1057. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2013.06.007>
- Li, Y., Hou, M., Liu, H., & Liu, Y. (2012). Towards a theoretical framework of strategic decision, supporting capability and information sharing under the context of Internet of Things. *Information Technology and Management*, 13(4), 205–216. <https://doi.org/10.1007/s10799-012-0121-1>
- Lichtenthaler, U., & Lichtenthaler, E. (2010). Technology Transfer across Organizational Boundaries: Absorptive Capacity and Desorptive Capacity. *California Management Review*, 53(1), 154–170. <https://doi.org/10.1525/cmr.2010.53.1.154>
- Lugones, G. E., Gutti, P., & Le Clech, N. (2007). *Indicadores de capacidades tecnológicas en América Latina. Serie Estudios y Perspectivas*. Retrieved from http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5014/1/S0700876_es.pdf
- Lund, R. (2004). The Organization of Actors' Learning in Connection With New Product Development. *Research on Technological Innovation, Management and Policy*, 8, 129–153. [https://doi.org/10.1016/S0737-1071\(04\)08006-0](https://doi.org/10.1016/S0737-1071(04)08006-0)
- Lundvall, B.-A. (1988). Innovation as an Interactive Process: From User-Producer Interaction to the National System of Innovation. *London Printer Publisher*.
- Ma, D., Chang, C. C., & Hung, S. W. (2013). The selection of technology for late-starters: A case study of the energy-smart photovoltaic industry. *Economic Modelling*, 35(2013), 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2013.06.030>
- Macal, C. M., & North, M. J. (2010). Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 4(3), 151–162. <https://doi.org/10.1057/jos.2010.3>
- Madu, C. N. (1990). Prescriptive framework for the transfer of appropriate technology. *Futures*, 22(9), 932–950. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(90\)90062-M](https://doi.org/10.1016/0016-3287(90)90062-M)
- Malerba, F. (2002). Sectoral systems of innovation and production. *Research Policy*, 31(2), 247–264. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(01\)00139-1](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(01)00139-1)
- Malerba, F., Nelson, R. R., & Winter, S. (1999). “History-friendly” models of industry evolution: the computer industry. *Industrial and Corporate Change*, 8(1), 3–40. <https://doi.org/10.1093/icc/8.1.3>
- Martin, X., & Salomon, R. (2003). Knowledge transfer capacity and its implications for the theory of the multinational corporation. *Journal of International Business Studies*, 34(4), 356–373. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jibs.8400037>
- Moore, G. C., & Benbasat, I. (1996). Integrating Diffusion of Innovations and Theory of Reasoned Action models to predict utilization of information technology by end-users. In *Diffusion and Adoption of Information Technology* (pp. 132–146). Boston, MA: Springer US.

- https://doi.org/10.1007/978-0-387-34982-4_10
- Muelder, H., & Filatova, T. (2018). One theory-many formalizations: Testing different code implementations of the theory of planned behaviour in energy agent-based models. *Jasss*, 21(4). <https://doi.org/10.18564/jasss.3855>
- Mustafa Kamal, M., & Alsudairi, M. (2009). Investigating the importance of factors influencing integration technologies adoption in local government authorities. *Transforming Government: People, Process and Policy*, 3(3), 302–331. <https://doi.org/10.1108/17506160910979388>
- Naspetti, S., Mandolesi, S., Buysse, J., Latvala, T., Nicholas, P., Padel, S., ... Zanolli, R. (2017). Determinants of the Acceptance of Sustainable Production Strategies among Dairy Farmers: Development and Testing of a Modified Technology Acceptance Model. *Sustainability*, 9(10), 1805. <https://doi.org/10.3390/su9101805>
- Necochea-Mondragón, H., Pineda-Domínguez, D., & Soto-Flores, R. (2013). A conceptual model of technology transfer for public universities in Mexico. *Journal of Technology Management and Innovation*, 8(4), 24–35. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242013000500003>
- Nelson, R. R. (1992). National innovation systems: A retrospective on a study. *Industrial and Corporate Change*, 1(2), 347–374. <https://doi.org/10.1093/icc/1.2.347>
- Nilashi, M., Ahmadi, H., Ahani, A., Ravangard, R., & Ibrahim, O. bin. (2016). Determining the importance of Hospital Information System adoption factors using Fuzzy Analytic Network Process (ANP). *Technological Forecasting and Social Change*, 111, 244–264. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.07.008>
- Park, B. Il. (2011). Knowledge transfer capacity of multinational enterprises and technology acquisition in international joint ventures. *International Business Review*, 20(1), 75–87. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2010.06.002>
- Penrose, E. T. (1959). *The Theory of the Growth of the Firm*. New York: John Wiley.
- Porter, A. L., Roessner, J. D., Jin, X., & Newman, N. C. (2002). Measuring national ‘emerging technology’ capabilities. *Science and Public Policy*, 29(3), 189–200. <https://doi.org/10.3152/147154302781781001>
- Prahalad, C. K., & Hamel, G. (1990). The Core Competencies of the Corporation. *Harvard Business Review*, 68(3), 79–91.
- Quang, D. V., Schreinemachers, P., & Berger, T. (2014). Ex-ante assessment of soil conservation methods in the uplands of Vietnam: An agent-based modeling approach. *Agricultural Systems*, 123, 108–119. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.10.002>
- Quintero, S. (2016). *Aprendizaje en los sistemas regionales de innovación: Un modelo basado en agentes*. Universidad Nacional. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/53948/>
- Quintero, S., Ruiz, W., & Robledo, J. (2017a). Learning in the Regional Innovation Systems : An Agent Based Model. *Cuadernos de Administración*, 33(57), 7–20.
- Quintero, S., Ruiz, W., & Robledo, J. (2017b). Representation of unlearning in the innovation systems : A proposal from agent-based modeling. *Estudios Gerenciales*, 33, 366–376. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2017.11.003>
- Quitow, R. (2015). Environmental Innovation and Societal Transitions Dynamics of a policy-driven market : The co-evolution of technological innovation systems for solar photovoltaics in China and Germany. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2014.12.002>
- Rai, V., & Robinson, S. A. (2015). Agent-based modeling of energy technology adoption: Empirical integration of social, behavioral, economic, and environmental factors. *Environmental*

- Modelling and Software*, 70, 163–177. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.04.014>
- Rand, W., & Rust, R. T. (2011). Agent-based modeling in marketing: Guidelines for rigor. *International Journal of Research in Marketing*, 28(3), 181–193. <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2011.04.002>
- Raven, R., & Walrave, B. (2018). Overcoming transformational failures through policy mixes in the dynamics of technological innovation systems. *Technological Forecasting and Social Change*, (January), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.05.008>
- Rogers, E. M. (1962). *Diffusion of innovations*. Macmillian Publishing Co. (3rd Editio). New York. Retrieved from <http://hollis.harvard.edu/?itemid=%7Clibrary/m/aleph%7C006256656>
- Rogers, E. M. (2002). The Nature of Technology Transfer. *Science Communication*, 23(3), 323–341. <https://doi.org/10.1177/107554700202300307>
- Rotolo, D., Hicks, D., & Martin, B. R. (2015). What is an emerging technology? *Research Policy*, 44(10), 1827–1843. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.06.006>
- Sargent, R. G. (2013). Verification and validation of simulation models. *Journal of Simulation*, 7(1), 12–24. <https://doi.org/10.1057/jos.2012.20>
- Scalco, A., Ceschi, A., & Sartori, R. (2018). Application of Psychological Theories in Agent-Based Modeling: The Case of the Theory of Planned Behavior. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 22(1), 15–33.
- Scalco, A., Ceschi, A., Shiboub, I., Sartori, R., Frayret, J., & Dickert, S. (2017). Agent-Based Modeling of Sustainable Behaviors, 77–97. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46331-5>
- Schreinemachers, P., & Berger, T. (2011). An agent-based simulation model of human–environment interactions in agricultural systems. *Environmental Modelling & Software*, 26(7), 845–859. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.02.004>
- Shen, C., & Chou, C.-C. (2010). Business process re-engineering in the logistics industry: a study of implementation, success factors, and performance. *Enterprise Information Systems*, 4(1), 61–78. <https://doi.org/10.1080/17517570903154567>
- Shin, D. H. (2017). Conceptualizing and measuring quality of experience of the internet of things: Exploring how quality is perceived by users. *Information and Management*, 54(8), 998–1011. <https://doi.org/10.1016/j.im.2017.02.006>
- Silva, A. G., Canavari, M., & Sidali, K. L. (2017). A Technology Acceptance Model of common bean growers' intention to adopt Integrated Production in the Brazilian Central Region. *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment*, 68(3), 131–143. <https://doi.org/10.1515/boku-2017-0012>
- Souzanchi Kashani, E., & Roshani, S. (2019). Evolution of innovation system literature: Intellectual bases and emerging trends. *Technological Forecasting and Social Change*, 146(May), 68–80. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.010>
- Stephan, A., Schmidt, T. S., Bening, C. R., & Hoffmann, V. H. (2017). The sectoral configuration of technological innovation systems: Patterns of knowledge development and diffusion in the lithium-ion battery technology in Japan. *Research Policy*, 46(4), 709–723. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.01.009>
- Suurs, R. A. A., Hekkert, M. P., Kieboom, S., & Smits, R. E. H. M. (2010). Understanding the formative stage of technological innovation system development: The case of natural gas as an automotive fuel. *Energy Policy*, 38(1), 419–431. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.032>
- Teece, D. J. (2010). Business Models, Business Strategy and Innovation. *Long Range Planning*, 43(2–3), 172–194. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2009.07.003>

- Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18(7), 509–533. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199708\)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199708)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z)
- Tektas, B., & Gozlu, S. (2008). General packet radio service (GPRS) technology transfer: A case study to evaluate transferors. In *PICMET '08 - 2008 Portland International Conference on Management of Engineering & Technology* (pp. 2273–2280). IEEE. <https://doi.org/10.1109/PICMET.2008.4599850>
- Tohidyan, S., & Rezaei-Moghaddam, K. (2017). Determinants of Iranian agricultural consultants' intentions toward precision agriculture: Integrating innovativeness to the technology acceptance model. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(3), 280–286. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.09.003>
- Ullah, F., Sepasgozar, S., & Wang, C. (2018). A Systematic Review of Smart Real Estate Technology: Drivers of, and Barriers to, the Use of Digital Disruptive Technologies and Online Platforms. *Sustainability*, 10(9), 3142. <https://doi.org/10.3390/su10093142>
- Van Alphen, K., Hekkert, M. P., & Turkenburg, W. C. (2010). Accelerating the deployment of carbon capture and storage technologies by strengthening the innovation system. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 4(2), 396–409. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2009.09.019>
- Venkatesh, Morris, Davis, & Davis. (2003). User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *MIS Quarterly*, 27(3), 425. <https://doi.org/10.2307/30036540>
- Venkatesh, V., & Bala, H. (2008). Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions. *Decision Sciences*, 39(2), 273–315. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2008.00192.x>
- Venkatesh, V., & Davis, F. D. (2000). A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies. *Management Science*, 46(2), 186–204. <https://doi.org/10.1287/mnsc.46.2.186.11926>
- Venkatesh, V., Thong, J., & Xu, X. (2012). Consumer Acceptance And Use Of Information Technology: Extending The Unified Theory Of Acceptance And Use Of Technology. *MIS Quarterly*, 236(1), 157–178.
- Verma, P., & Sinha, N. (2018). Integrating perceived economic wellbeing to technology acceptance model: The case of mobile based agricultural extension service. *Technological Forecasting and Social Change*, 126(July), 207–216. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.08.013>
- Walrave, B., & Raven, R. (2016). Modelling the dynamics of technological innovation systems. *Research Policy*, 45(9), 1833–1844. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.05.011>
- Wang, H., & Zhang, Z. (2016). Technological innovation system of pharmaceutical industry based on system dynamics. *Shanghai Ligong Daxue Xuebao/Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, 38(1), 48–54. <https://doi.org/10.13255/j.cnki.jusst.2016.01.009>
- Wen-Hsiang, L., & Chien Tzu, T. (2009). Fuzzy rule-based analysis of firm's technology transfer in Taiwan's machinery industry. *Expert Systems with Applications*, 36(10), 12012–12022. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.03.054>
- Wilensky, U. (1999). *Center for connected learning and computer-based modeling*. Evanston, IL. Retrieved from <http://ccl.northwestern.edu/netlogo>
- Windrum, P., Fagiolo, G., & Moneta, A. (2007). Empirical validation of agent-based models: Alternatives and prospects. *Jasss*, 10(2), 8–38. Retrieved from <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/10/2/8.html>
- Zhao, L., & Reisman, A. (1992). Toward Meta Research on technology transfer. *IEEE Transactions*

on Engineering Management, 39(1), 13–21.