ISSN: 2594-0937

Revista electrónica mensual

# Debates sobre Innovación

Diciembre 2019

Volumen 3
Número 2

XVIII Congreso Latino Iberoamericano de Gestión Tecnológica
**ALTEC 2019 Medellín**

Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Xochimilco

MEGI
MAESTRÍA EN ECONOMÍA, GESTIÓN Y POLÍTICAS DE INNOVACIÓN

LALICS
LATIN AMERICAN NETWORK FOR ECONOMICS OF LEARNING, INNOVATION AND COMPETENCE BUILDING SYSTEMS

# Análisis de los patrones de adopción de una tecnología de teletrabajo en una unidad de una IES: Un modelo Basado en Agentes

Carlos Andrés Arbeláez Velásquez
Universidad de Antioquia, Facultad de ingeniería, Colombia
carlos.arbelaez@udea.edu.co

Santiago Quintero Ramirez
Universidad Pontificia Bolivariana, Escuela de Ingenierías, Colombia
santiago.quintero@upb.edu.co

**Resumen**
Se presenta un modelo de difusión de la innovación basado en agentes que permite analizar mediante simulaciones los patrones de adopción de una tecnología de teletrabajo en una IES. El modelo se construyó siguiendo el proceso metodológico para la creación, validación y verificación de modelos propuesto por Sargent (2011; 2013) y adaptado por Uribe-Gómez y Quintero (2017). Las simulaciones realizadas producen curvas de adopción acumulada con formas sigmoideas que se aproximan a las observadas en la realidad. Los resultados obtenidos sugieren que la principal razón detrás de la fase de crecimiento rápido de las curvas de adopción observadas, es el incremento temporal de la utilidad que los potenciales adoptantes encuentran en la innovación, así como el aumento transitorio de la influencia externa que actúa sobre ellos.

**Palabras clave**
Difusión de la innovación, Modelación basada en agentes, Teletrabajo

## 1 Introducción

La teoría de la difusión de la innovación fue introducida por Everett M. Rogers en 1962 y definida como el proceso por el cual una innovación (sea una idea, una práctica o un nuevo producto) es comunicada por medio de determinados canales entre los miembros de un sistema social a través del tiempo (Rogers, Diffusion of innovations., 1962). Es un campo interdisciplinario con raíces en la antropología (Wissler, 1915), la psicología (Tarde, 1903), la geografía (Hagerstrand, 1967), las ciencias políticas (Walker, 1969), la economía (Griliches, 1957), y el mercadeo (Arndt, 1967); que se podría considera como uno de los mecanismos más importantes de cambio social y tecnológico (Katz, Levin, & Hamilton, 1963).

El paradigma de la difusión de la innovación se estableció en 1943 con la publicación de los resultados de un estudio sobre semillas híbridas de maíz conducido por Bryce Ryan y Neal C. Gross, psicólogos rurales de la Universidad Estatal de Iowa (Ryan & Gross, 1943), en este paradigma se postula que los mercados están dominados por influencias sociales, como ocurre cuando las decisiones de un individuo dependen de decisiones que han tomado ya otros consumidores (Delre, Jager, Bijmolt, & Janssen, 2007), la premisa básica es entonces, que los nuevos productos, las nuevas ideas y las nuevas prácticas se propagan en gran medida a través de la comunicación interpersonal (Hagerstrand, 1967; Katz, Levin, & Hamilton, 1963; Ryan & Gross, 1943; Rogers, Diffusion of innovations, 1983; Valente & Rogers, The Origins and Development of the Diffusion of Innovation Paradigm as an Example of Scientific Growth, 1995; Valente & Davis, Accelerating the diffusion of innovations using opinion leaders, 1999; Valente, Network

models and methods for studying the diffusion of innovations, 2005).

Dicha premisa fue ya incluida en la teoría de la difusión introducida por Rogers (1962) en uno de sus trabajos iniciales, en donde se explica que el número acumulado de adoptantes de una innovación en el tiempo, típicamente sigue una curva S en la que se pueden observar cuatro fases de crecimiento. Inicialmente la curva tiene un crecimiento lento que ocurre mientras las primeras personas adoptan la innovación, a este grupo clave de les llama innovadores. Luego se observa una fase de crecimiento un poco más rápido cuando otro grupo de personas adopta la innovación, a este grupo clave se le llama adoptantes tempranos. Después la curva se hace un poco más pronunciada mientras los miembros de la mayoría temprana y la mayoría tardía adoptan la innovación. Finalmente, la curva aumenta un ritmo más lento mientras los miembros del último grupo, los rezagados, adoptan la innovación. Esta clasificación de los adoptantes en grupos o categorías está basada en el grado en el cual un individuo o una unidad de adopción es relativamente proclive a la adopción de nuevas ideas con respecto a los otros miembros de un sistema social (Rogers, Diffusion of innovations, 2003).

La velocidad y el grado con el que una innovación se difunde, es decir la pendiente y la altura de la curva S asociada, está relacionada con diferentes factores, (Rogers, Diffusion of innovations, 1995) sostiene que la mayor parte de la variación en la tasa de adopción, entre el 49% y el 87%, se explica mediante cinco atributos de la innovación: Ventajas relativas, Compatibilidad, Posibilidad de observación, Complejidad y Posibilidad de ensayo.

En (Rogers, Diffusion of innovations, 2003) se conceptualiza sobre el mecanismo de adopción de los consumidores como un proceso, y se postula que las personas pasan por una secuencia de cinco estados para determinar si adoptan o rechazan una innovación: un estado de conocimiento, un estado de persuasión, un estado de decisión, un estado de implementación, un estado de confirmación

Los aportes realizados por Rogers proveen un rico marco conceptual que ha influenciado significativamente la investigación en difusión de la innovación, sin embargo no provee herramientas cualitativas de estudio para investigar la difusión de nuevos productos o para investigar el efecto de diversas variables estratégicas en el proceso de difusión (Kiesling, 2011). En este sentido, desde tiempo atrás se han desarrollado diferentes aproximaciones para tratar de capturar el proceso de difusión de la innovación de forma matemática, los cuales están principalmente representados en modelos cuantitativos que se pueden dividir según su enfoque en dos categorías: agregados y desagregados.

Los modelos agregados de difusión de la innovación típicamente están basados en una descripción matemática del flujo de individuos que se da entre dos poblaciones mutuamente excluyentes: adoptantes y no adoptantes (generalmente este flujo se describe mediante ecuaciones diferenciales); aunque esta categoría constituye la mayoría de la literatura disponible actualmente sobre modelamiento de difusión de la innovación, también existen aproximaciones desde la dinámica de sistemas que abordan la difusión de la innovación como un proceso dinámico desarrollado en un sistema complejo.

Los modelos desagregados de la difusión de la innovación abordan específicamente las decisiones de innovación a nivel de individuo, y determinan la respuesta de un mercado mediante la

agregación o sumatoria de la demanda de consumidores individuales que no necesariamente son homogéneos y que no son meramente transmisores de información (Mahajan & Muller, 1979); en lugar de eso, toman decisiones deliberadamente de forma independiente. En este sentido, los modelos desagregados están mucho más basados en el comportamiento de los individuos que los modelos agregados que investigan la relación entre variables a un nivel macro.

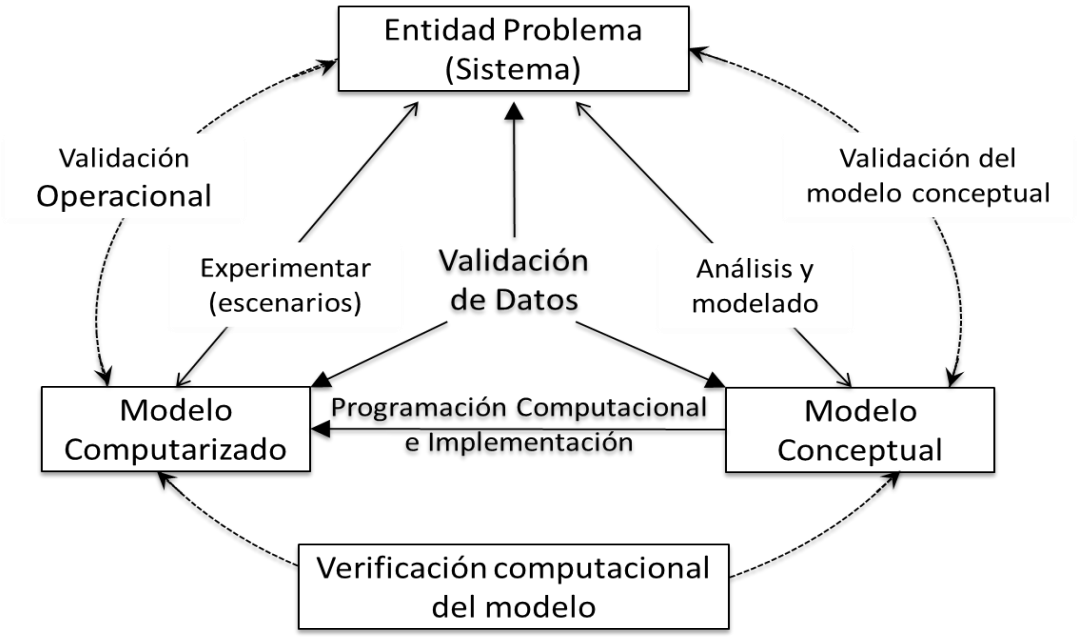
Los modelos desagregados de difusión de la innovación se pueden dividir en tres grandes categorías: modelos microeconómicos, modelos estocásticos de selección de marcas y los modelos de simulación basada en agentes (en adelante MBA) los cuales han aparecido más recientemente.

Este trabajo presenta la construcción de un modelo basado en agentes aplicado al análisis de la dinámica de la difusión de la una herramienta de teletrabajo denominada Sistema de Acceso Remoto a la oficina -SAROFI- en una unidad de una Institución de Educación Superior, y está organizado así: en la sección 2 se presenta el modelo desarrollado incluyendo una descripción los agentes, sus principales atributos, relaciones y reglas de decisión; en la sección 3 se presentan los resultados de simulación obtenidos; finalmente en la sección 4 se presentan las oportunidades de trabajo futuro.

## 2 Desarrollo del modelo

En el desarrollo de este trabajo se adoptó el proceso para la creación, validación y verificación de modelos ha sido propuesto por Robert G. Sargent (2011; 2013) y adaptado en (Uribe-Gómez & Quintero, 2017; Quintero Ramírez & Giraldo Ramírez, 2018). En la Figura 1 se muestra un esquema general del proceso base de la metodología utilizada, incluyendo sus principales elementos y relaciones.

*Figura 1. Proceso adoptado para la creación, validación y verificación de modelos*




**Fuente:** Adopción a partir de (Quintero Ramírez & Giraldo Ramírez, 2018)

A continuación se presenta una descripción de la forma en que los principales elementos mostrados en la Figura 1, fueron abordados en este trabajo:

En el contexto de este trabajo, la entidad problema corresponde a la dinámica del proceso de difusión de la herramienta -SAROFI- en una unidad académica especifica de una institución de educación superior, es de anotar que dicha herramienta ya no se encuentra en operación, pues fue desplazada por la creciente oferta de servicios en la web y las herramientas de computación en la nube, sin embargo los autores cuentan con los datos que fueron recolectados durante todo su proceso de difusión, desde su lanzamiento hasta su desmonte, lo que facilita el estudio del fenómeno. Cabe resaltar que el proceso de difusión se desarrolla en presencia una marcada homogeneidad de individuos, generada por la disparidad de actividades, perfiles, aspiraciones e intereses de los distintos actores de la comunidad académica, situación que realza la pertinencia de que el proceso sea analizado a través de la MBA.

Con respecto al modelo conceptual, la tarea de análisis y modelado de la dinámica de la difusión de la herramienta -SAROFI- , se basó en el estudio de los datos recolectados durante el proceso de difusión y en el conocimiento que uno de los autores tuvo del mismo, al estar durante más de 7 años al frente del diseño, desarrollo, implementación, y despliegue de la herramienta SAROFI. Los principales componentes del modelo conceptual creado se presentan en las secciones 2.1 y 2.2.

## *2.1 Los agentes*

Los agentes identificados en el modelo conceptual corresponden a los individuos que hacen parte de la población de la unidad académica específica en la cual se analiza el proceso de difusión, a estos individuos se les caracterizó y diferenció dentro de la población así:

**Directivo:** es el personal que ocupa cargos de dirección dentro de la unidad académica, decano, vicedecano, directores área y directores de programa entre otros.

Asociado: es el personal docentes de carrera que se encuentran en alguna de las categorías del escalafón profesoral, poseen un vínculo formal y permanente con la unidad académica, también se conocen como docentes de planta.

Ocasional: es el personal docente que es requerido transitoriamente por la unidad académica para un período inferior a un año, también poseen un vínculo formal como profesor, pero éste es temporal.

**NoDocente:** es el personal que desarrolla labores administrativas en la unidad académica, y que no tiene como principal propósito el ejercicio de la docencia universitaria.

Adicionalmente, se incluyó en el modelo un agente adicional llamado Entorno el cual es utilizado para representar los cambios en el entorno que afectan el proceso de adopción de la herramienta de teletrabajo, y especialmente las condiciones que amenazan el acceso de los profesores y empleados no docentes a sus oficinas. Este agente genera cambios en los parámetros de influencia externa (*p descrito más abajo)* para los demás agentes y además modifica los parámetros a través de los cuales evalúan la innovación para decidir si la adoptan o no, de esta manera se representa un fenómeno observado en el proceso de difusión real, pues cuando se incrementaba el riesgo de que el personal no tuviera acceso a sus oficinas, se aumentaba también la tasa de adopción de SAROFI.

Con respecto a los principales atributos de cada uno los citados agentes, se tienen que los **"Directivos"**, **"Asociados"** y **"Ocasionales"** poseen: una edad, un parámetro de influencia interna *q*, y también un porcentaje de su trabajo que realizan apoyado en las TIC, los dos últimos asignados a través de una función de probabilidad normal inversa a partir de una media y una desviación estándar que son configurables. Adicionalmente, estos agentes poseen un umbral de complejidad de la innovación, un valor configurable que se utiliza evaluar esta propiedad de la innovación y determinar en qué medida es aceptable para cada individuo. De otro lado, para los agentes de tipo **"No_docentes"** sólo se tiene un parámetro de influencia interna *q* que se asigna a través a través de una función de probabilidad normal inversa cuyos parámetros son configurables.

Además de los anteriores atributos, el proceso de adopción que realiza cada uno de los distintos tipos de agente se modeló a través de un mecanismo basado en la conceptualización realizada por Rogers (2003), en el cual los individuos pasan secuencialmente por los siguientes estados

> **Estado de desconocimiento:** en el que los individuos no tiene conocimiento de la existencia de la innovación
>
> **Estado de conocimiento**: en el cual el individuo ha estado expuesto a la innovación y toma conciencia de su existencia, pero no busca activamente información sobre ella.
>
> **Estado de persuasión:** en el cual el individuo busca activamente información sobre la innovación, y realiza una evaluación la misma a fin de determinar si está dispuesto o no adoptarla. El mecanismo de evaluación específico se describe más adelante
>
> **Estado de decisión:** en el cual el individuo adopta la innovación, que en caso específico de estudio corresponden a inscribirse y solicitar una cuenta de usuario en la herramienta de teletrabajo SAROFI.

Es de anotar que el mecanismo descrito por Rogers (2003) incluye también un estado de implementación, en el cual el individuo hace uso de la innovación, pero el análisis del uso y aprovechamiento de la herramienta de teletrabajo SAROFI no se incluyó en el alcance de este trabajo, razón por la cual, este estado no se incluyó en el modelo construido.

Con respecto a las relaciones entre los agentes contenidos en el modelo, todos los agentes que tienen el misma clasificación se encuentran conectados entre sí, esta estructura de red social corresponde al reducido número de individuos que hacen parte de la población, lo cual permite que todas las personas del mismo tipo de vinculación a la unidad académica se conozcan, situación que pudo ser observada por uno de los autores durante los años que hizo parte de la misma unidad.

## *2.2 Las reglas de los agentes*

El principal objetivo de las reglas definidas para los agentes es orientar sus decisiones sobre cuando cambiar entre los diferentes estados del proceso de adopción modelado. Los individuos en la clasificación Directivo, Asociado y Ocasional poseen reglas que les permiten pasar entre los 4 estados de adopción definidos, indicando de esta forma que poseen un mecanismo de adopción

complejo, mientras que los individuos con la clasificación NoDocente, sólo pasan por 3 de los estados de adopción descritos, indicando con esto que poseen un mecanismo de adopción más simple.

Las reglas que rigen los cambios de estado de los individuos son fundamentalmente de dos tipos:

**Reglas de cambio activo:** Son reglas que disparan eventos derivados del proceso mismo de difusión, como pasar al estado de conocimiento de la innovación a causa de ser cubierto por los esfuerzos promocionales como las reuniones informativas, o como pasar al estado de decisión adoptando la innovación a causa de que la evaluación algunos factores de la misma resulta satisfactoria para en individuo.

**Reglas de cambio pasivo:** Son reglas fundamentadas en el cálculo de la probabilidad de cambio de estado determinada por un cálculo basado en el modelo de Bass (1969), en este cálculo intervienen tanto un parámetro de influencia externa como un parámetro de influencia externa, además de la proporción de agentes con la misma clasificación que ya han realizado el cambio de estado. La fórmula utilizada para calcular la probabilidad de cambio de estado de un individuo se muestra en la ecuación 1:

$$p + qF(t) \qquad (1)$$

Donde

$p$ representa el parámetro de influencia externa para el cambio de estado específico

$q$ representa el parámetro de influencia interna para el cambio de estado específico

$F(t)$ representa la proporción de agentes con la misma clasificación que se encuentran en el estado de destino en el tiempo $t$

Cabe anotar que los valor del parámetro $p$ es diferente para individuos con diferente clasificación y además puede cambiar en el tiempo a causa de los cambios inducidos por el agente entorno. El parámetro $q$ es un atributo de cada agente y por ende es diferente para cada uno de ellos, manteniéndose dentro de un rango de valores configurable en el modelo.

Las reglas de cambio pasivo se aplican por los individuos en cada momento $t$, pero lo hacen después de haber aplicado las reglas de cambio activo.

A continuación se presenta una descripción de las reglas definidas para cada cambio estado según el tipo de individuo.

Para los individuos clasificados como Directivo, Asociado, Ocasional y NoDocente:

Paso del estado de Desconocimiento al estado de Conocimiento:

- **Regla de cambio activo:** El cambio de estado ocurre cuando el individuo es cubierto por los esfuerzos de promoción de la innovación, como las reuniones informativas y los correos electrónicos promocionales. Se aplica multiplicando el número de individuos por categoría que se encuentra en el estado de desconocimiento por el porcentaje de efectividad de los esfuerzos promocionales (parámetro nombrado en el modelo como *"Probabilidad de conocer SAROFI en el momento de su lanzamiento"*)

  **Regla de cambio pasivo:** El cambio de estado ocurre cuando se genera para el individuo un número aleatorio que alcanza el umbral de probabilidad de cambio de estado determinado por el valor arrojado mediante el cálculo de probabilidad asociado $p + qF(t)$.

Para los individuos clasificados como Directivo, Asociado, Ocasional:

Paso del estado de Conocimiento al estado de Persuasión

- **Regla de cambio activo:** El cambio de estado ocurre para todos los individuos que se encuentren en estado de conocimiento, en este estado evalúan la complejidad y ventajas relativas de la innovación, aplicando la ecuación 2:

  $$Calificación = f_edad(edad)*0.5 + procentaje_trabajo_TIC*0.5 \qquad (2)$$

  Donde:
  *f_edad():* es una función toma la edad del individuo y arroja un valor entre 0 y 1 que estima la calificación que la persona le asigna a la innovación según su edad, a menor edad se asigna una mayor calificación. Esta función fue ajustada a partir de lo postulado en (Patrickson 2002; Haddon 2005), además de la observación directa que uno de los autores pudo realizar de la relación entre la edad de los individuos y su favorabilidad hacia el teletrabajo.

  *procentaje_trabajo_TIC:* es el porcentaje de trabajo que cada individuo realiza apoyado en las TIC, corresponden a un atributo de los agentes que fue descrito en la sesión 2.1

Paso del estado de Persuasión al estado de Decisión

- **Regla de cambio activo:** El cambio de estado ocurre cuando el valor arrojado por la calificación calculada mediante la regla de cambio activo del estado de

Conocimiento al estado de Persuasión superó el umbral establecido particularmente para cada agente.

**Regla de cambio pasivo:** El cambio de estado ocurre cuando se genera para el individuo un número aleatorio que alcanza el umbral de probabilidad de cambio de estado determinado por el valor arrojado mediante el cálculo de probabilidad asociado $p + qF(t)$.

Para los individuos clasificados como NoDocente

<u>Paso del estado de Conocimiento al estado de Decisión</u>

- **Regla de cambio pasivo:** El cambio de estado ocurre cuando se genera para el individuo un número aleatorio que alcanza el umbral de probabilidad de cambio de estado determinado por el valor arrojado mediante el cálculo de probabilidad asociado $p + qF(t)$.

Una vez construido el modelo conceptual, se abordó la tarea de su validación, un proceso en el cual se evalúa la pertinencia de las teorías y suposiciones utilizadas en la modelación, en el caso de este trabajo se tomaron fundamentalmente las teorías de difusión de la innovación propuestas por distintos autores. En el caso de los estados a través de los cuales pasan los individuos en su proceso de adopción y las reglas activas que generan los cambios entre ellos, se tomaron las teorías de Rogeres (1983; 1995; 2003), las cuales dan soporte a los cuatro estados adoptados en el modelo, así como también a los mecanismos de transición definidos. En el caso de las reglas de cambio pasivas entre estados, se tomaron las teorías de Bass (1969), las cuales fundamentan el uso de un parámetro de influencia externa $p$, un parámetro de influencia interna $q$, y una porción de pares adoptantes $F(t)$, como elementos de una ecuación diferencial que transfiere progresivamente individuos de un estado a otro. Con respecto a las suposiciones utilizadas en la evaluación de la complejidad y ventajas relativas de la innovación, se tomaron como soporte las observaciones realizadas por Patrickson (2002) y Haddon (2005) respecto a la relación entre la edad de las personas y su favorabilidad hacia el teletrabajo.

El modelo conceptual validado, se convirtió un modelo computarizado mediante su implementación a través del lenguaje de programación Netlogo 6.0.4. Las diferentes clasificaciones de los agentes se definieron como razas de tortugas, ubicadas en distintas posiciones del eje x en el mundo de Netlogo, los diferentes estados del proceso de adopción se representaron como diferentes niveles de altura en el eje y. Adicionalmente el comportamiento del agente entorno se representó en el mundo netlogo mediante una figura de casa ubicada en la parte inferior izquierda, la cual cambia de color entre verde, amarillo y rojo según la probabilidad afectaciones del estado operativo del campus universitario. Para facilitar la visualización del comportamiento de los diferentes tipos de individuos se les asignó un color que los identifica:

**Directivos** **:** Color amarillo

**Asociados** **:** Color azul

**Ocasionales :** Color naranja

**No Docentes:** Color verde

Adicionalmente se agregaron tres juegos de controles para permitir a quien ejecute las simulaciones ajustar los parámetros más importantes del modelo:

**Número de agentes:** es un juego de cuatro controles ubicados en la parte superior izquierda de la pantalla, el cual permite al usuario configurar el número de agentes por tipo que se generaran en el la simulación.

**Parámetros generales a todos los agentes:** es una matriz de 12 controles organizados así: las filas corresponden a 3 diferentes parámetros "Probabilidad de conocer SAROFI en el momento de su lanzamiento", "Parámetro de influencia externa en la etapa de conocimiento" y "Parámetro de influencia externa en la etapa de decisión"; mientras que las columnas corresponden a cada tipo de individuo. Cada uno de los elementos de esta matriz concierne al valor del parámetro indicado por la fila y al tipo de individuo indicado por la columna.

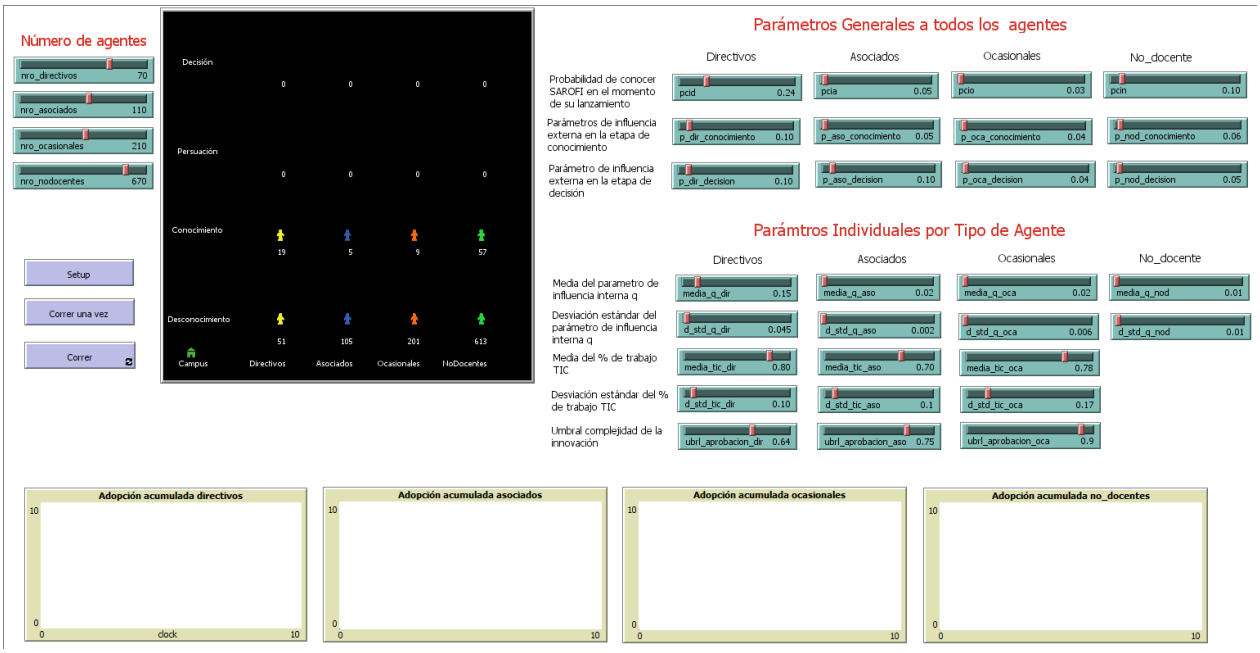
**Parámetros individuales por tipo de agente:** es una matriz de 17 controles organizados así: las filas corresponden a 5 diferentes parámetros "Media del parámetro de influencia interna q", "Desviación estándar del parámetro de influencia interna q", "Media del % de trabajo TIC", "Desviación estándar del % de trabajo TIC" y "Umbral complejidad de la innovación"; mientras que las columnas corresponden a cada tipo de individuo. Cada uno de los elementos de esta matriz concierne al valor del parámetro indicado por la fila y al tipo de individuo indicado por la columna. Como ya se anotó los individuos del tipo "No_docente" sólo poseen controles asociados al parámetro de influencia interna *q*.

La implementación del modelo construido también incluyó la generación de gráficas que presentan el número acumulado de adoptantes por cada tipo de individuo, estas graficas se ubican en la parte inferior de la pantalla. En la Figura 2 se muestra una captura de la interfaz de la implementación del modelo construido.

Observase que para uno de los estados del proceso de adopción se presentan el número de individuos por tipo que se encuentran en ese estado particular en cada instante de tiempo.

Luego de haber implementado el modelo en el lenguaje de programación Netlogo, se procedió a realizar la actividad denominada como verificación del modelo computarizado, una tarea mediante la cual se asegura que la programación e implementación del modelo conceptual se realizó correctamente y en consecuencia el modelo computarizado se comporta de la misma forma que el modelo conceptual. Para esta labor se usaron las herramientas se seguimiento que provee el software Netlogo, rastreando un agente de cada categoría a su paso por los distintos estados, prediciendo su comportamiento a través de la aplicación manual de las reglas establecidas, y validando que este comportamiento se reflejara adecuadamente en la simulación.

*Figura 2. Captura de pantalla del modelo implementado en Netlogo*




**Fuente:** Elaboración propia.

A partir del modelo computarizado se procedió a realizar su validación operativa, la cual se abordó a través de una validación de modelo cruzado (Knepell & Arangno, 1993; Kiesling, 2011), una técnica orientada a verificar que la salida del modelo construido se puede ajustar razonablemente a la salida de un modelo previamente validado como el de Bass. Cabe anotar que en este proceso el modelo construido no se configuró con los parámetros que tratan de representar la realidad del proceso de difusión de la herramienta SAROFI, sino que sus parámetros se varían de modo que pueda generarse una salida que se ajuste a la predicha por el modelo de Bass, en específico se comparó la curva de adopción promedio que genera el modelo, contra la curva de adopción predicha por el modelo de BASS a través de la ecuación (3):

$$F(t) = \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)t}} \qquad (3)$$

Donde:
$p$ : es el parámetro de influencia externa
$q$ : es el parámetro de influencia interna
F(t): es el porcentaje acumulado de adoptantes

Los valores de $p$ y $q$ usados en esta ecuación se varían utilizando la técnica de mínimos cuadrados (Srinivasan & Mason, 1986) de modo que la función resultante se ajuste de la mejor manera a los datos arrojados por el modelo construido. En la Tabla 1 se presenta un resumen de los datos arrojados por el proceso de validación operacional, para cada tipo de agente se muestra el valor de

los parámetros *p* y *q* del modelo de Bass que me ofrecieron el mejor ajuste a la salida producida por el modelo construido y el respectivo coeficiente de ajuste R^2 logrado.

*Tabla 1: Resumen de los datos arrojados por el proceso de validación operacional del modelo construido*

| | Parámetro | Directivos | Asociados | Ocasionales | NoDocentes |
|---|---|---|---|---|---|
| **Parámetros del modelo de Bass** | parámetros de influencia externa p | 0,12 | 0,04 | 0,035 | 0,01 |
| | parámetros de influencia externa q | 0,01 | 0,01 | 0,006 | 0,04 |
| **Calidad del ajuste** | Coeficiente de ajuste R^2 | 0,9794 | 0,9765 | 0,9816 | 0,983 |

**Fuente:** Elaboración propia.

## 3 Resultados de simulación

El modelo logrado fue configurado modificando el valor de sus parámetros de modo que la salida producida, reprodujera de la mejor manera posible la curva de adopción acumulada que fue observada para cada tipo de agente, cuando se dio el proceso de difusión real de la herramienta de teletrabajo SAROFI. Los valores asignados a cada parámetro se muestran en la Tabla 2.

*Tabla 2: Resumen de los valores de parámetros configurados en el modelo para reproducir la curva de adopción de SAROFI*

| | Parámetro | Directivos | Asociados | Ocasionales | NoDocentes |
|---|---|---|---|---|---|
| **Parámetros configurados en el modelo construido para reproducir la curva de adopción real de SAROFI** | Probabilidad de conocer SAROFI en el momento de su lanzamiento | 0,135 | 0,05 | 0,03 | 0,1 |
| | Parámetro de influencia externa en la etapa de conocimiento | 0,1 | 0,05* | 0,04* | 0,06* |
| | Parámetro de influencia externa en la etapa de decisión | 0,1 | 0,1* | 0,04* | 0,05* |
| | Media del parámetro de influencia interna q | 0,15 | 0.02 | 0.02 | 0,01 |
| | Desviación estándar del parámetro de influencia interna q | 0,045 | 0.002 | 0.006 | 0,01 |
| | Media del % de trabajo TIC | 0,8 | 0,7 | 0,78 | N.A |
| | Desviación estándar del % de trabajo TIC | 0,1 | 0,1 | 0,17 | N.A |
| | Umbral complejidad de la innovación | 0,64 | 0,75* | 0,90* | N.A |

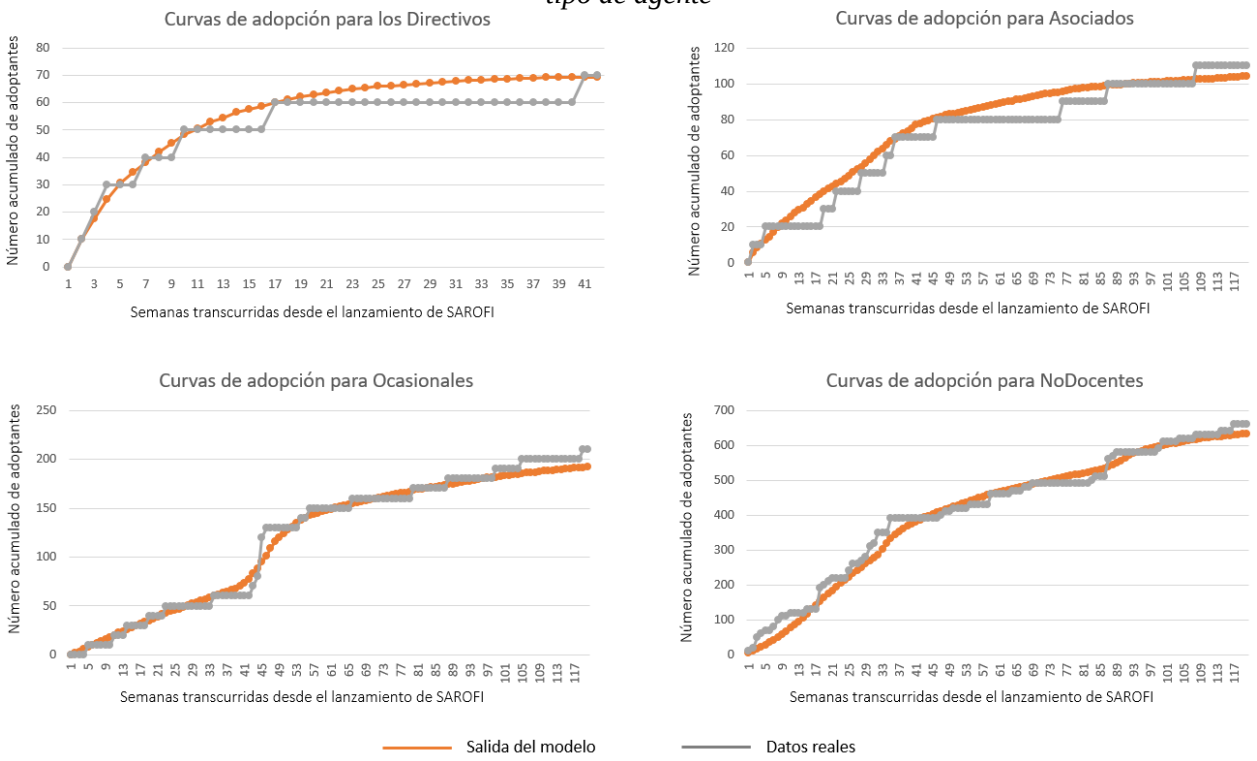
**Fuente:** Elaboración propia.

* Estos valores se modifican temporalmente durante la simulación para reflejar los cambios en la probabilidad de cierre del campus universitario.

En la Figura 3 se muestran las curvas de adopción generadas por el modelo acompañadas de la curva adopción generada con los datos reales del proceso de difusión de SAROFI, como se puede observar el modelo reproduce de una manera aceptable los datos observados en la realidad. Según lo esperado las curvas siguen en general un patrón sigmoideo suave, no obstante es importante resaltar que el aumento en el ritmo de adopción en las curvas asociadas a los agentes del tipo Asociado, Ocasional, y NoDocente, ocurre entre la semana 20 y 39, aunque cada uno de estas categorías tenga una tamaño de población y unos parámetros de influencia significativamente diferentes. El lapso entre la semana 20 y 39 del proceso de difusión coincide con un periodo en el

que aumentó de la probabilidad de cierres del campus universitario, un fenómeno que se representa en el modelo a través de mecanismos que aumentan transitoriamente los parámetros de influencia externa y reducen los umbrales de complejidad que aplican los individuos al momento de evaluar la innovación. Cabe anotar que sin el uso de estos mecanismos no fue posible lograr que las curvas de adopción arrojadas por las simulaciones reprodujeran aceptablemente las curvas de adopción reales de SAROFI. Estos resultados sugieren que la principal razón del incremento observado en la tasa de adopción de la innovación es el aumento de la probabilidad de cierres del campus universitario y su consecuente aumento de la utilidad de SAROFI para los potenciales adoptantes.

*Figura 3: Curva de adopción acumulada generada por el modelo vs curva de adopción real para cada tipo de agente*




**Fuente:** Elaboración propia.

## 4 Conclusiones

La literatura existente sobre la de difusión de la innovación ofrece una rica fuente para la construcción de modelos de difusión basados en agentes, ya que provee múltiples teorías y aproximaciones que sirven de soporte para la construcción de modelos conceptuales sobre la materia.

La MBA demostró ser una herramienta susceptible de ser aplicada en el estudio de procesos de difusión de la innovación sobre poblaciones con un alto de grado de heterogeneidad de individuos, el caso del proceso analizado en este trabajo.

Las simulaciones realizadas con el modelo de difusión de la innovación que fue construido, lograron generar curvas de adopción acumulada con formas sigmoideas que se aproximan a las

curvas observadas cuando ocurrió la difusión de la herramienta SAROFI, demostrando así las posibilidades que la MBA ofrece al estudio de la difusión de la innovación.

Los resultados arrojados por las simulaciones del proceso de difusión de SAROFI, sugieren que la principal razón detrás de la fase de crecimiento rápido observado en sus curvas de adopción, el incremento de la probabilidad de cierre del campus universitario, que consecuentemente produce el incremento temporal de la utilidad que los potenciales adoptantes encuentran en la innovación, así como el aumento transitorio de la influencia externa que actúa sobre ellos.

El modelo construido podría ser evaluado contra otros proceso de difusión de la innovación que posean una población de adoptantes heterogénea, analizando tanto su poder explicativo como predictivo, ofreciendo de esta manera la posibilidad de evolucionar hacia una herramienta que permita formular y evaluar escenarios deseables de difusión de la innovación al interior de las organizaciones.

## 5 Referencias


Arndt, J. (1967). Role of Product-Related Conversations in the Diffusion of a New Product. *Journal of Marketing Research, 4*(3), 291-295.

Bass, F. (1969). A New Product Growth for Model Consumer Durables. *Management Science, 15*(5), 215-227.

Delre, S., Jager, W., Bijmolt, T., & Janssen, M. (2007). Targeting and timing promotional activities: An agent-based model for the takeoff of new products. *Journal of Business Research, 60*(8), 826-835.

Griliches, Z. (1957). Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change. *Econometrica, 25*(4), 501-522.

Haddon, L., & Brynin, M. (1 de 3 de 2005). The Character of Telework and the Characteristics of Teleworkers. *New Technology, Work and Employment, 20*, 34-46.

Hagerstrand, T. (1967). *Innovation diffusion as a spatial process.* Chicago: University of Chicago Press.

Katz, E., Levin, M., & Hamilton, H. (1963). Traditions of Research on the Diffusion of Innovation. *American Sociological Review, 28*.

Kiesling, E. (2011). *Planning the market introduction of new products: An agent-based simulation of innovation diffusion.* Universität Wien.

Knepell, P., & Arangno, D. (1993). *Simulation Validation - a Confidence Assessment Methodology*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society Press.

Mahajan, V., & Muller, E. (1979). Innovation Diffusion and New Product Growth Models in Marketing. *Journal of Marketing, 43*(4), 55-68.

Patrickson, M. (1 de 12 de 2002). Teleworking: Potential employment opportunities for older workers? *International Journal of Manpower, 23*, 704-715.

Quintero Ramírez, S., & Giraldo Ramírez, D. (2018). El aprendizaje en los sistemas regionales de innovación desde la perspectiva de la modelación basada en agentes.

Rogers, E. (1962). *Diffusion of innovations.* New York: Free Press of Glencoe.

Rogers, E. (1983). *Diffusion of innovations.* New York; London: Free Press ; Collier Macmillan.

Rogers, E. (1995). *Diffusion of innovations.* New York: Free Press.

Rogers, E. (2003). *Diffusion of innovations.* New York: Free Press.

Ryan, B., & Gross, N. (1943). The diffusion of hybrid seed corn in two Iowa communities. *Rural Sociology, 8*(1), 15-24.

Sargent, R. (2011). Verification and Validation of Simulation Models. *Proceedings of the Winter Simulation Conference* (págs. 183-198). Winter Simulation Conference.

Sargent, R. (2013). An Introduction to Verification and Validation of Simulation Models. *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference: Simulation: Making Decisions in a Complex World* (págs. 321-327). Piscataway, NJ, USA: IEEE Press.

Srinivasan, V., & Mason, C. (1986). Nonlinear Least Squares Estimation of New Product Diffusion Models. *Marketing Science, 5*(2), 169-178.

Tarde, G. (1903). *The laws of imitation.* (E. Parsons, & F. Giddings, Edits.) Oxford, England: Holt.

Uribe-Gómez, J., & Quintero, S. (15 de 12 de 2017). Aplicación de los modelos de simulación en entornos productivos bajo la metodología de teorías de las restricciones. *Revista CEA, 3*, 11-27.

Valente, T. (1 de 1 de 2005). Network models and methods for studying the diffusion of innovations. *Models and Methods in Social Network Analysis*, 98-116.

Valente, T., & Davis, R. (1 de 11 de 1999). Accelerating the diffusion of innovations using opinion leaders. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science, 566*, 55-67.

Valente, T., & Rogers, E. (1 de 4 de 1995). The Origins and Development of the Diffusion of Innovation Paradigm as an Example of Scientific Growth. *Science communication, 16*, 242-273.

Walker, J. (1969). The Diffusion of Innovations among the American States. *The American Political Science Review, 63*(3), 880-899.

Wissler, C. (1915). The Diffusion of Horse Culture among the North American Indians. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1*(4), 254-256.