

## HEURÍSTICA PARA LA DIFUSIÓN DE DOS INNOVACIONES EN COMPETENCIA

**Lorena Cadavid**

Estudiante de Doctorado en Ingeniería de Sistemas  
Universidad Nacional de Colombia – sede Medellín. Carrera 80 No 65-223 - Facultad de Minas,  
Medellín, Colombia  
dlcadavi@unal.edu.co

**Carlos Jaime Franco Cardona**

Profesor Escuela de Sistemas  
Universidad Nacional de Colombia – sede Medellín. Carrera 80 No 65-223 - Facultad de Minas,  
Medellín, Colombia  
cjfranco@unal.edu.co

### RESUMEN

El objetivo de este artículo es analizar la difusión de dos innovaciones en competencia que se presentan de manera simultánea en un mercado, desarrollando una heurística que representa la forma en que los individuos adoptan las innovaciones. La heurística hace uso de la Teoría del Comportamiento Planeado de Ajzen y el criterio de satisfacción de Simon, y es implementada en un modelo de simulación basado en agentes, en el cual la difusión tiene lugar dentro de una red tipo mundo pequeño. Los experimentos se realizan de manera teórica sobre la disponibilidad de la información, la publicidad y la intensidad en el lanzamiento inicial de las innovaciones. Se concluye que la difusión es más veloz cuanto mayor sea la disponibilidad de la información, y que es más sensible a la intensidad en el lanzamiento inicial que a la publicidad sostenida; asimismo, los individuos exhiben limitaciones en el cálculo en sus decisiones.

**PALABRAS CLAVE:** difusión de innovaciones, racionalidad limitada, modelado basado en agentes.

### ABSTRACT

The aim of this paper is to analyze the diffusion of two competing innovations, which are introduced simultaneously in a market. We develop a heuristic to represent individual adoption decisions. The heuristic makes use of the Theory of Planned Behavior from Ajzen and Simon satisfaction criteria, and is implemented in a agent-based model, in which the diffusion occurs in a small-world network type. Experiments were performed in a theoretic way about the availability of information, advertising and intensity of initial release of innovations. We conclude that diffusion is faster when the availability of information is higher, and is more sensitive to the intensity of the initial release than sustained advertising; also individuals exhibit limitations in the calculation in their decisions.

**KEYWORDS:** innovation diffusion, bounded rationality, agent-based modeling

### 1. Introducción

La OECD (2005) define la innovación como la implementación de una idea, bien, servicio, proceso o práctica nueva o significativamente mejorada, que es útil y agrega valor a la actividad económica. La *difusión de una innovación* es entendida como la propagación de dicha innovación en el mercado (Schumpeter, 1936; Rao & Kishore, 2010), y su modelado es la representación matemática o computacional de este proceso, un tópico de importancia académica y práctica desde la década del 60 (Mahajan, Muller, & Bass, 1990; Peres, Muller, & Mahajan, 2010). Aunque en sus inicios el modelado de la difusión de innovaciones tuvo una orientación agregada

(Bass, 1969; Mahajan et al., 1990), críticas asociadas a los supuestos de homogeneidad entre los individuos y la completa conectividad de la red social en que la difusión ocurre dieron paso al modelado a nivel individual. Un elemento clave en los modelos de difusión individuales es la representación explícita del proceso de toma de decisiones de los individuos, especialmente en lo relativo a la decisión de adoptar la innovación. En la literatura, este proceso de decisión se conoce como *adopción de innovaciones* (Montalvo & Kemp, 2008), y sus desarrollos teóricos comienzan con los estudios comportamentales desarrollados principalmente en la década del 70.

Si bien una corriente importante de las investigaciones en el campo suponen una racionalidad perfecta de los individuos, los estudios más relevantes para la difusión de innovaciones se centran en modelos que consideran limitaciones a la racionalidad, y que reflejan este hecho en la inclusión de variables adicionales al precio, como la heterogeneidad de los individuos y la influencia social (Georgescu & Okuda, 2008). Al respecto, los modelos psicossociológicos han sido usados en los desarrollos más recientes que intentan explicar el fenómeno agregado de la difusión de una innovación como una función de las adopciones individuales de los miembros de un sistema social (Zhang, Gensler, & Garcia, 2011). Sin embargo, estos modelos exploran sólo un aspecto en la toma de decisiones bajo el paradigma de la racionalidad limitada, dejando por fuera la búsqueda de la información y el mecanismo de elección del curso de acción (Todd & Gigerenzer, 2003).

El propósito de este artículo es analizar la difusión de dos innovaciones de igual naturaleza, que compiten de manera simultánea por un mismo mercado; para ello, se desarrolla una heurística que modela la forma en que los individuos seleccionan una o ninguna de las innovaciones usando la Teoría del Comportamiento Planeado (Ajzen, 1985) como criterio de evaluación de las alternativas, y el criterio de satisfacción (Simon, 1955) como criterio de selección de las mismas. La heurística es implementada en un modelo de simulación a nivel individual basado en agentes, en el cual la difusión tiene lugar dentro de una red que exhibe características de mundo pequeño (Barabási, 1999a, 1999b; Watts, 2000).

Esta investigación corresponde a un avance en el desarrollo teórico del impacto de los límites a la racionalidad en la difusión de dos innovaciones en competencia. Los resultados permiten concluir que los supuestos sobre las limitaciones a la información y a la capacidad de cálculo de los individuos tienen implicaciones importantes en las curvas de difusión, y que éstas son más veloces cuanto mayor es la información de la que disponen los individuos. Del mismo modo, las limitaciones a la capacidad de cálculo lleva a los individuos a adoptar diferentes innovaciones en diferentes momentos, dando lugar al fenómeno de la difusión; asimismo, la limitada capacidad de cálculo es reflejada en la incapacidad de los individuos de prever las consecuencias de las decisiones tomadas por ellos mismos y por los demás, desconociendo las condiciones que generarán en el sistema y que pueden hacer óptima una alternativa de adopción no elegida por algunos individuos.

## 2. Racionalidad limitada y heurísticas

Las investigaciones en toma de decisiones tienen dos corrientes: (1) la formal o asociada a la racionalidad perfecta y (2) la comportamental o asociada a la racionalidad limitada.

La corriente formal es de gran impacto en las investigaciones en economía, y postula un *hombre económico* que tiene un conocimiento claro y completo del entorno que le rodea, un sistema estable y bien organizado de preferencias y unas habilidades de cómputo tales que le permiten calcular las consecuencias de cada curso posible de acción (Simon, 1955); esta corriente alcanzó sus más altos niveles con la Teoría de la Utilidad Esperada (von Neumann & Morgenstern, 1944), la cual inspiró el desarrollo de otras teorías que componen el campo de la toma de decisiones en su más profundo nivel. Por su parte, la corriente comportamental, cuyos fundamentos se le atribuyen a Herbert Simon (1955), comenzó con una crítica a la aproximación formal cuyo objetivo fue hacer que la representación del proceso de toma de decisiones

coincidiera más con el que se refleja en la realidad. Simon agrupó sus aportes en lo que él mismo denominó originalmente *racionalidad aproximada* y que luego se conoció como *racionalidad limitada*.

Los modelos de racionalidad perfecta tienen en común tres supuestos: (1) la existencia de un conjunto de alternativas como elemento disparador de la elección, (2) la existencia de relaciones que determinan el beneficio del individuo como una función de la alternativa elegida, y (3) la existencia de un orden de preferencias entre los posibles beneficios para un individuo. La selección y el rechazo de algunas alternativas implica que el individuo tiene control sobre ciertas variables y, por tanto, puede optimizar su proceso de selección. Sin embargo, según Simon (1955), si bien las funciones de utilidad pueden ser conocidas, el conjunto de alternativas o cursos de acción posibles, así como los resultados de cada una de las alternativas, puede no serlo, señalando dos limitaciones a esta teoría: (1) limitaciones externas, relacionadas con el conocimiento imperfecto que tienen los individuos del mundo externo, de manera que no es posible conocer todas las alternativas de un problema dado; (2) limitaciones internas, relativas al hecho de que aún cuando todos los posibles datos y variables relativas a un problema dado fueran conocidos, un individuo sería incapaz de procesarlos todos ellos. Siguiendo al autor, estos límites llevan a que los individuos no encuentren soluciones óptimas sino subóptimas, de manera que no maximizan sus resultados sino que obtienen resultados que son *satisfactorios*.

En efecto, March (1978) sostuvo que la evaluación de las alternativas en el proceso de toma de decisiones sucede de manera secuencial; por ello, es posible que la evaluación termine una vez se obtenga una alternativa cuyos resultados alcanzan o superan un *nivel de aspiración*, lo cual la convierte en una alternativa satisfactoria. Dicho nivel de aspiración puede incrementar al hacer las evaluaciones si el individuo lo encuentra fácilmente alcanzable, o decrementar si el individuo lo encuentra difícilmente alcanzable; estos ajustes llevan a la existencia de, por lo menos, una solución. En este sentido, la satisfacción puede entenderse como un método dinámico en el tiempo, útil para seleccionar una alternativa de un conjunto de ellas (Gigerenzer & Todd, 1999; Todd & Gigerenzer, 2003). Además, es posible que el individuo, al no encontrar una solución satisfactoria dentro de su conjunto de alternativas evaluadas, agregue nuevas alternativas a su conjunto tomadas del conjunto de alternativas posibles (Simon, 1955).

Los estudios sobre cómo la racionalidad limitada opera en la práctica comenzaron en la década del 70 y en la actualidad sus resultados continúan siendo contradictorios y controversiales. Las heurísticas configuran hoy uno de los campos de mayor investigación en esta temática (Secchi, 2011). Las **heurísticas** son atajos mentales, mecanismos que permiten al individuo ir de forma directa a las conclusiones de sus pensamientos a pesar de no seguir un procesamiento detallado de razonamiento. El resultado del empleo de una heurística puede ser una decisión sesgada, pero muchas de ellas llevan a decisiones satisfactorias (Gigerenzer, 2004)

Las investigaciones en heurísticas son recientes, los resultados son contradictorios (Czerlinsky, Gigerenzer, & Goldstein, 1999; Oppenheimer, 2003) y muchas preguntas permanecen sin responder. La búsqueda de estas respuestas requiere el estudio de las heurísticas en detalle, y para ello es crucial desarrollar modelos computacionales que especifiquen los pasos seguidos en la consecución de la información y el procesamiento de la misma, implicados en la toma de una decisión. Este modelado debe abordar tres fases: (1) búsqueda de la información, (2) evaluación de opciones y (3) criterio de selección o mecanismo de parada; la fase 2 es la fase más estudiada en muchos de los modelos de procesos cognitivos que no abordan las dos fases anteriores (Todd & Gigerenzer, 2003). El modelado de estas heurísticas permite probar que se identificaron los componentes más importantes que harán que un mecanismo particular funcione de forma adecuada en un ambiente específico, así como descubrir las implicaciones de los supuestos que se hicieron.

### 3. La adopción de innovaciones como un caso de racionalidad limitada

Los investigadores iniciales en los modelos de adopción de innovaciones han supuesto un consumidor racional que maximiza la utilidad de sus decisiones (Rogers, 1983). Sin embargo, el fenómeno de la difusión de una innovación presenta un desafío explicativo para la perspectiva de elección racional clásica, pues según ella los individuos perfectamente racionales que actúan en un mercado con información perfecta siempre adoptarían en el mismo momento, y es bien sabido que esto no ocurre (MacVaugh & Schiavone, 2010; Kiesling, Günther, Stummer, & Wakolbinger, 2011).

Por ello algunos estudios recientes han comenzado a incluir variables como la heterogeneidad de los individuos y la influencia social en las decisiones que toman los potenciales adoptadores de una innovación (Georgescu & Okuda, 2008). En su revisión de literatura, Kiesling et al. (2011) encuentran que el modelado de la decisión de adopción en los modelos de difusión de los últimos 10 años tiene diferentes enfoques basados en el paradigma de la racionalidad limitada; estos enfoques usan diversas heurísticas, dentro de las cuales sobresalen aquellas basadas en los modelos psicosociológicos de comportamiento por ser consideradas las más sofisticadas y menos parsimoniosas para explicar la forma en que los individuos evalúan las alternativas a adoptar (Kiesling et al., 2011). Los modelos psicosociológicos intentan explicar los factores personales y del entorno que inciden en la intención de un individuo sobre desempeñar o no un comportamiento específico (Chuttur, 2009). Cuando este comportamiento se entiende como la adopción de una innovación, estos modelos se convierten en mecanismos que explican la manera en que los individuos evalúan las alternativas a adoptar previa la decisión de adopción.

Diferentes modelos psicosociológicos se han propuesto en la literatura para explicar el comportamiento (Fishbein & Ajzen, 1975; Davis, 1985; Davis, Bagozzi, & Warshaw, 1989; Venkatesh, 1999, 2000; Bagozzi, 2007; Venkatesh & Bala, 2008); en todos ellos, la metodología para el cálculo de la intención consiste en una suma de los factores que recoge el modelo ponderados por unos pesos que se hallan de forma empírica (Hale, Householder, & Green, 2002). Sin embargo, puede afirmarse que el de mayor impacto en la adopción de innovaciones es la Teoría del Comportamiento Planeado (TPB, por sus siglas en inglés) propuesta por Ajzen (1985). La TPB sugiere que la intención de un individuo sobre adoptar un comportamiento está determinada por: (1) la actitud (sentimientos, positivos o negativos hacia el comportamiento), (2) las normas subjetivas (lo que el individuo cree que otros individuos importantes para él pensarían si él desempeñara el comportamiento) y (3) el control percibido (qué tan bien cree el individuo poder desempeñar el comportamiento en función de la presencia de los recursos requeridos para desempeñar el comportamiento y las habilidades necesarias para ello (Hale et al., 2002)). La acogida de este modelo se debe a que proporciona tan buen desempeño como otros modelos más simples, pero explica en mayor medida el fenómeno de adopción, si bien exige para su medición y validación un mayor esfuerzo que aquellos (Mathieson, 1991).

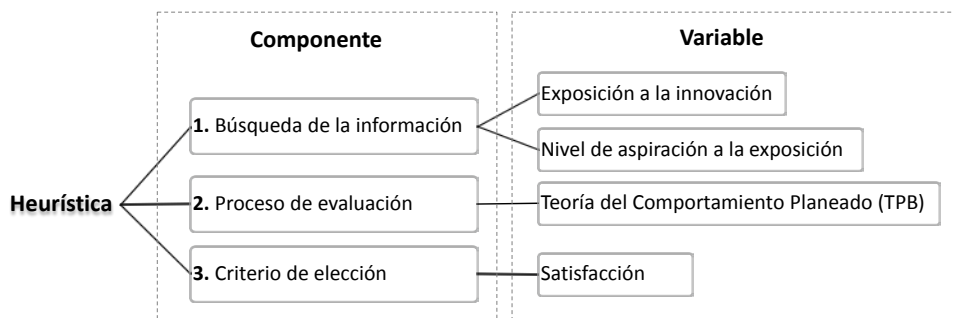
La implementación de los modelos conceptuales de adopción en modelos matemáticos computacionales de difusión se logra de manera directa con el modelado a nivel individual. Este modelado permite representar características claves de la racionalidad limitada en los agentes, tales como el aprendizaje a lo largo del tiempo, el acceso limitado a la información y los recursos de cómputo limitados (Manson, 2006; Kiesling et al., 2011). La técnica ha sido ampliamente usada en la representación del fenómeno de difusión en los últimos años, especialmente por su poder explicativo para la construcción de teoría y para el análisis de políticas (Berger, 2001). Su poder radica en que pueden recrear de manera sencilla fenómenos del mundo real, pero deben procurar una representación realista para que sea posible dar una explicación a los resultados obtenidos; del mismo modo, deben mantenerse simples para no perder la habilidad de generalización de sus resultados (Manson, 2006; Kiesling et al., 2011).

#### 4. Metodología

Con el fin de analizar la difusión de dos innovaciones en un mercado, se desarrolló un modelo de simulación basado en agentes en el cual los individuos deben elegir entre dos innovaciones de igual naturaleza que entran en el mercado de manera simultánea. El modelo fue desarrollado en Netlogo, y el horizonte de simulación corresponde a 20 períodos. La estructura de la red que vincula a los individuos unos con otros corresponde a una tipo mundo pequeño (Watts, 2000) compuesta por 100 nodos, y fue implementada haciendo uso del algoritmo generativo desarrollado por Watts y Strogatz (1998); en estas redes, las cuales son de gran uso en los modelos de difusión debido a sus similitudes topológicas con las redes sociales reales, las probabilidades de que los nodos estén conectados no son independientes, exhibiendo un diámetro pequeño y una alta agrupación (Barabási, 1999a, 1999b). Tanto las innovaciones consideradas en el modelo como la red social en la cual las difusiones tienen lugar corresponden a ejercicios teóricos.

Cada agente toma su elección de adopción haciendo uso de una heurística de racionalidad limitada. En cada uno de los pasos de simulación, sólo aquellos individuos que no han adoptado alguna de las innovaciones usan la heurística para tomar alguna decisión; asimismo, se supone que la decisión de adopción es irreversible, es decir, una vez el individuo adoptó una de las innovaciones no puede cambiar de opinión al respecto. Los componentes de la heurística se presentan en la Figura 2.

Figura 1. Componentes de la heurística



Fuente: elaboración propia

**1. Búsqueda de la información.** No todos los individuos se encuentran informados, necesariamente, sobre ambas innovaciones. La búsqueda de la información se encuentra limitada por la *exposición* que tiene el individuo a cada una de las dos innovaciones, la cual debe exceder el *nivel de aspiración a la exposición* propio del individuo para ser conocida por éste (este valor es diferente entre los individuos y permanece fijo a lo largo del tiempo). La exposición depende de la *publicidad inicial* que se hace sobre la innovación, y se incrementa en la medida en que más individuos de la red adoptan una u otra innovación.

De este modo, en cada uno de los períodos de simulación cada individuo monitorea la información que le proporciona el entorno y puede enfrentarse a uno de tres casos posibles: (1) no se informa sobre innovación alguna, (2) se informa sólo sobre una innovación, o (3) se informa sobre ambas innovaciones.

**2. Proceso de evaluación.** El proceso de evaluación de cada una de las alternativas de las que el individuo se encuentra informado se realiza haciendo uso de la TPB. Atendiendo al trabajo presentado por Zhang et al. (2011), la *actitud* hacia la adopción de cada individuo se consideró dependiente del precio de la innovación y de la publicidad recibida; la *norma subjetiva* se modeló como una función de la cantidad de individuos en la red que adoptaron la misma innovación y de la cantidad de vecinos inmediatos que la adoptaron; y el *control percibido* se entendió como el resultado de la claridad de la regulación que rige a la innovación.

Se consideraron tantos niveles de aspiración como factores de la TPB, los cuales se modelaron de forma estocástica a lo largo de los individuos que conforman la red social para reflejar diferencias entre los mismos; sin embargo, atendiendo a la sugerencia de Bagozzi (2007) relativa a la agregación de las variables, se consideró un nivel de aspiración independiente para cada uno de los subfactores que componen el factor actitud (*precio y publicidad*), un nivel de aspiración para la norma subjetiva o *norma subjetiva de reserva* (los subfactores son considerados insumos para el cálculo del nivel real de la norma, cuyos pesos se representaron de manera determinística entre los individuos) y un nivel de aspiración para el control percibido o *control de reserva*.

Los niveles de aspiración son comparados contra los niveles reales de cada variable, arrojando una medición de cuán favorable o desfavorable resulta la misma en la decisión de adopción. Dichas medidas de favorabilidad se ponderan en función de los pesos de cada variable, los cuales fueron modelados de forma estocástica a lo largo de la población atendiendo a que su sumatoria debe ser la unidad (reflejada en el peso de la variable *control-regulación*), arrojando un valor de adopción para la innovación, el cual representa la evaluación que se hizo de la misma.

Resulta claro que el uso de la TPB así descrito requiere especificar las características de cada innovación relativas al precio, la intensidad de la publicidad y la claridad de la regulación que provee el sector gubernamental al respecto de la innovación, que constituirán los niveles reales de cada factor, mientras que los niveles reales de la imitación y la externalidad variarán de paso en paso en función de las adopciones que ya han tenido lugar.

**3. Criterio de selección.** El criterio de selección de la innovación a adoptar responde al concepto de satisfacción introducido por Simon. Cada una de las situaciones en las cuales puede encontrarse un individuo respecto al conocimiento que tiene sobre las innovaciones del mercado implica un procedimiento diferente en la heurística respecto al criterio de selección de las alternativas, así:

*Situación 1.* El individuo no se informa sobre innovación alguna. En este caso, el individuo no usa la heurística porque no hay ninguna decisión a considerar.

*Situación 2.* El individuo se informa solamente sobre una innovación. Se verifica que el valor de adopción de la innovación de la cual tiene conocimiento el individuo supere su umbral de satisfacción, en cuyo caso la innovación es adoptada. Si este valor se encuentra por debajo de su umbral de satisfacción el individuo no adopta la innovación y ajusta su valor de adopción, llevándolo al 90% de su valor actual para el próximo paso.

*Situación 3.* El individuo se informa sobre ambas innovaciones, y puede suceder que:

- a) Ninguna de las innovaciones supere su nivel de aspiración para la satisfacción, en cuyo caso el individuo no adopta innovación alguna y ajusta su valor de adopción, llevándolo al 90% de su valor actual para el próximo paso.
- b) Sólo una de las innovaciones supere el nivel de aspiración para la satisfacción, en cuyo caso el individuo adopta esta alternativa.
- c) Ambas innovaciones superen el nivel de aspiración para la satisfacción, en cuyo caso el individuo no adopta innovación alguna y ajusta su nivel de aspiración para la satisfacción, llevándolo al 110% de su valor actual para el próximo paso.

## 5. Experimentación

Se diseñaron dos experimentos, el primero de ellos asociado con las limitaciones a la información (I), y el segundo con las limitaciones a la capacidad de cálculo de los individuos (C). Cada uno de los casos analizados en los experimentos fue ejecutado en 1000 simulaciones con el fin de recoger diferentes resultados posibles debido a la estocasticidad de las variables; los análisis comparativos de los casos se hicieron sobre las curvas de difusión media. Las condiciones generales de los experimentos presenta en la Tabla 1 (las celdas punteadas corresponden a las variables que se modifican en el experimento indicado en el paréntesis dentro de ellas).

Tabla 1. Condiciones generales de los experimentos

Módulo	Variable	Valor			
		Nivel de aspiración	Sesibilidad	Innovación 1	Innovación 2
1. Búsqueda de la información	Exposición a la innovación	(I) N (0.5, 0.2)	NA	inicial*: 0.5	(C) inicial*: 0.5
2. Criterio de evaluación - Theory of Planned Behavior (TPB)	Actitud - precio	N (120, 2)	U [0, 1]	95	110
	Actitud - publicidad	U [0.2, 0.8]	U [0, 1]	0.5	(C) 0.5
	Norma subjetiva - umbral	U [0, 1]	U [0, 1]	NA	NA
	Norma subjetiva - imitación	0.3	NA	NA	NA
	Norma subjetiva - externalidad	0.4	NA	NA	NA
Control - regulación	N (0.2, 0.6)	1-	0.7	0.7	
3. Criterio de selección - satisfacción	Satisfacción	Nivel de aspiración	Sesibilidad	Innovación 1	Innovación 2
		inicial**: N (1, 0.4)	NA	NA	NA

\* la exposición inicial a una innovación obedece a la estrategia publicitaria de lanzamiento de la misma

\*\* el nivel de aspiración de los individuos se ajusta en el tiempo respecto a su nivel inicial de aspiración

Fuente: elaboración propia

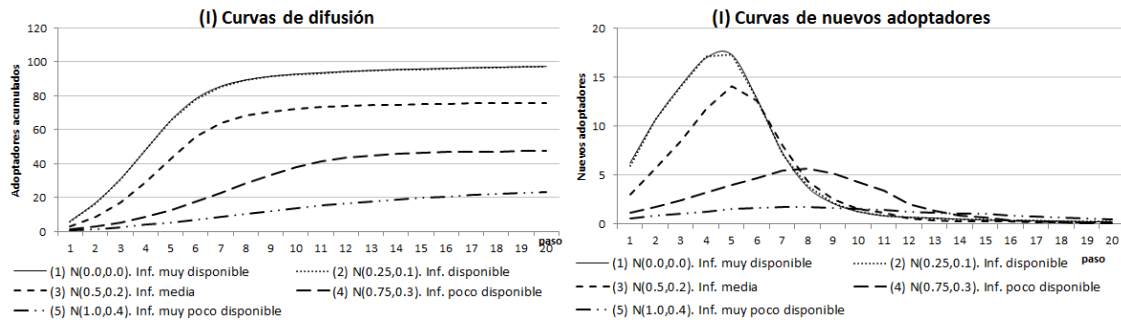
### 5.1. Experimento sobre la disponibilidad de la información

Para evaluar el impacto de la disponibilidad de la información en la difusión de una innovación, se establecieron diferentes *niveles de aspiración de la exposición* de los individuos (es decir, diferentes valores por encima de los cuales el individuo se entera de la existencia de las innovaciones); la variable se modificó en función la media de la distribución normal que la define, conservando la misma proporción respecto a la distribución estándar, así: (1) N(0.0,0.0), (2) N(0.25,0.1), (3) N(0.5,0.2), (4) N(0.75,0.3), (5) N(1.0,0.4). Esto puede entenderse como la representación de poblaciones con diferentes niveles de acceso a la información (desde la muy disponible hasta la muy poco disponible). Para facilitar el análisis se definió que la innovación 1 fuera siempre preferida sobre la innovación 2, por lo cual ambas innovaciones tienen iguales características, salvo por el hecho de que la primera de ellas tiene un precio inferior a la segunda.

Con el fin de medir la semejanza en las curvas de difusión y siguiendo la metodología presentada por Rahmandad y Sterman (2008), para cada uno de los experimentos se tomaron tres mediciones o estadísticos representativos respecto a la cantidad de adoptadores nuevos que da origen a las curvas de difusión: cantidad máxima de nuevos adoptadores ( $Amáx$ ), tiempo que transcurre entre la primera adopción y la cantidad máxima de nuevos adoptadores ( $Tmáx$ ) y la fracción de la población potencial que, finalmente, adopta la innovación ( $F$ ). La Figura 4 presenta las diferentes curvas de difusión y de nuevos adoptadores en cada uno de los casos analizados, y la Tabla 2 resume el valor medio y la desviación estándar de los estadísticos en cada caso.

Se observa que en la medida en que la disponibilidad de la información es menor, menor es la velocidad a la cual ocurre la difusión. La cantidad máxima de nuevos adoptadores en el caso de alta disponibilidad en la información es 20, la cual se obtiene 4 pasos después de que la difusión tiene lugar, al igual que ocurre en el caso de información disponible. En el caso de disponibilidad media, la cantidad máxima de nuevos adoptadores es 16 y se logra en el paso 5, mientras que dicha cantidad en los casos de poca y muy poca disponibilidad este valor es 8 y 4, respectivamente, y se logra en el paso 8. Asimismo, en los casos de información muy disponible y disponible, la adopción ocurre en el 97.54% y 97.28% de los individuos, respectivamente, mientras que ocurre en el 75.98%, 47.39% y 23.8% en los casos de disponibilidad media, poca y muy poca, respectivamente. Dada la gran cantidad de simulaciones (1000), las diferencias en las mediciones  $Amáx$ ,  $Tmáx$  y  $F$  resultan estadísticamente significativas ( $p < 0.001$ ) en todos los casos, salvo para  $Amáx$  en los casos de muy alta y alta disponibilidad en la información. Es decir, que las limitaciones en la disponibilidad de la información tienen un impacto significativo en la curva de difusión de las innovaciones.

Figura 2. (I) Curvas de difusión y de nuevos adoptadores



Fuente: elaboración propia

Tabla 2. (I) Estadísticos de las curvas de difusión

	Experimentos sobre la disponibilidad de la información				
	(1) Inf. muy disponible	(2) Inf. disponible	(3) Inf. media	(4) Inf. poco disponible	(5) Inf. muy poco disponible
<b>Amax</b>					
Media	20.31	20.32	16.43	8.06	3.69
Desvest	2.95	3.05	2.86	1.85	1.09
<b>Tmax</b>					
Media	4.33	4.33	5.02	7.59	8.10
Desvest	0.95	0.95	0.93	1.99	4.28
<b>F</b>					
Media	97.54%	97.28%	75.98%	47.39%	23.80%
Desvest	1.57%	1.64%	4.93%	6.20%	6.28%

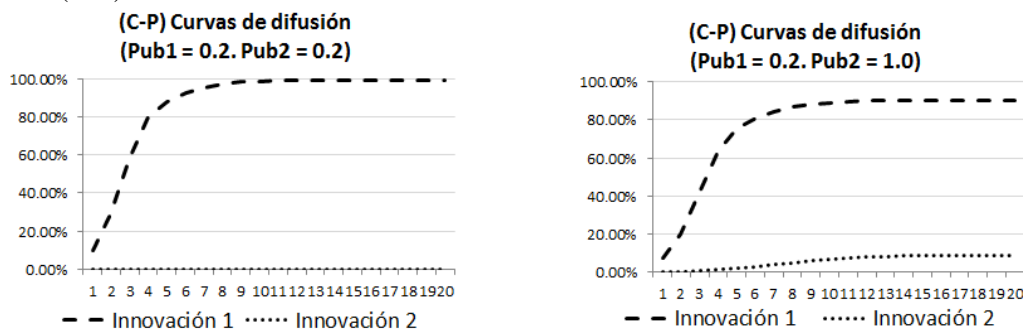
Fuente: elaboración propia

### 5.2. Experimentos sobre la capacidad de cálculo

Del experimento anterior se concluye que la difusión de la innovación 2 no tendrá lugar dado que ésta se encuentra dominada por la innovación 1. Se evaluaron dos estrategias que puede implementar el proveedor de la innovación 2 para generar la difusión: (a) incremento en el esfuerzo en publicidad, y (b) incremento en el esfuerzo en el lanzamiento inicial.

**a. Incremento en el esfuerzo en publicidad.** En esta estrategia el proveedor de la innovación 2 aumenta el esfuerzo en publicidad 5 veces respecto al esfuerzo realizado por el proveedor de la innovación 1 (esto es, Pub1 = 0.2 y Pub2 = 1.0). La Figura 5 presenta la penetración en el mercado de cada una de las innovaciones en este caso (caso base: Pub1 = 0.2 y Pub2 = 0.2).

Figura 3. (C-P) Curvas de difusión



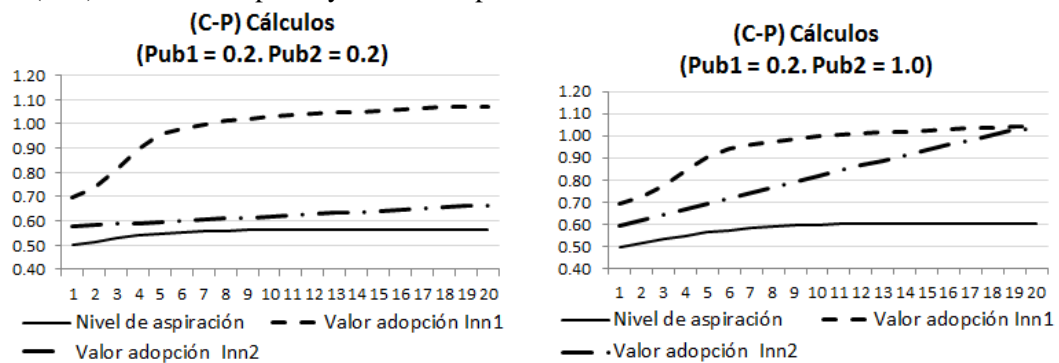
Fuente: elaboración propia



Cuando el esfuerzo en publicidad de la innovación 2 es 4 veces el de la innovación 1, la innovación 2 logra capturar un mercado cercano al 10% frente a una participación nula que tendría si el esfuerzo publicitario fuera igual al de la innovación 1. Conjugado con el precio, este resultado indica que, bajo idénticas condiciones, si el precio de la innovación 2 supera el precio de la innovación 1 en un 22%, el esfuerzo en la publicidad de la innovación 2 debe ser 5 veces superior al de la innovación 1 para que la primera capture un 10% del mercado.

Para examinar los de cálculos realizados por los individuos, la Figura 6 presenta el valor medio de adopción de cada una de las innovaciones (proceso de evaluación), así como el nivel de aspiración de sensibilidad de los individuos (criterio de selección), en los dos casos analizados.

Figura 4. (C-P) Valor de adopción y nivel de aspiración de sensibilidad



Fuente: elaboración propia

Cuando el esfuerzo en la publicidad es el mismo para las dos innovaciones, el valor promedio de adopción de la innovación 1 es siempre superior al valor promedio de adopción de la innovación 2, el cual incrementa en el tiempo producto de la publicidad. Dadas las limitaciones en la información, en un comienzo un grupo de individuos conoce ambas innovaciones, mientras que el otro grupo las desconoce a ambas. La elección que debe tomar el primer grupo empuja el nivel de aspiración de satisfacción promedio hacia arriba dado que este nivel se encuentra por debajo del valor de adopción de ambas innovaciones; sin embargo, este grupo de individuos rápidamente adopta la innovación 1 y deja de ajustar su nivel de aspiración de satisfacción, así que el nivel de aspiración promedio de satisfacción se estabiliza en el tiempo mientras aumenta la cantidad de individuos que pasa de no conocer innovación alguna a conocer la innovación 1, quienes no ajustan su nivel de satisfacción.

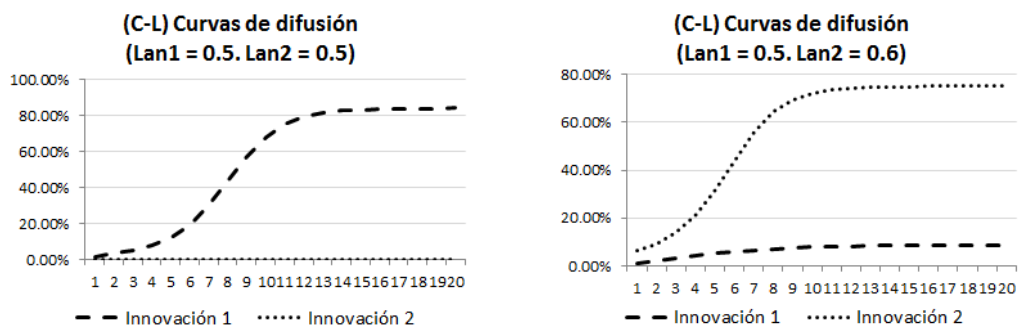
Por su parte, cuando el esfuerzo en la publicidad es muy alto para la innovación 2, el valor de adopción promedio para dicha innovación crece de forma acelerada en el tiempo, alcanzando incluso los niveles del valor de adopción de la innovación 1 al final del período de difusión. Dado que la cantidad de individuos que conocen ambas innovaciones crece en el tiempo, se esperaría que el nivel de aspiración promedio de satisfacción creciera también en el tiempo producto de la elección que deben tomar los individuos completamente informados. Sin embargo, una gran cantidad de individuos toma una decisión de adopción de manera temprana (cerca del 90% para el período 7, en la Figura 5), de manera que sólo el 10% de ellos realiza los ajuste en el nivel de aspiración de satisfacción cuando la información sobre ambas innovaciones está disponible; por esta razón, dicho nivel no crece de forma acelerada sino que presenta un leve aumento respecto al caso anterior.

**b. Incremento en el esfuerzo en lanzamiento inicial.** En esta estrategia el proveedor de la innovación 2 aumenta en un 20% la intensidad en el lanzamiento inicial de dicha innovación respecto a la intensidad en el lanzamiento de la innovación 1 (esto es, Lan1 = 0.5 y Lan2 = 0.6). Para desacelerar las curvas de difusión y poder realizar un análisis más profundo del comportamiento del nivel de aspiración promedio de satisfacción, las características de la

población sobre la cual la difusión tiene lugar se redefinieron respecto a la nivel de aspiración de exposición a la innovación ( $N(0.8,0.2)$ ). La Figura 7 presenta la penetración en el mercado de cada una de las innovaciones en este caso, tomando como base el caso anterior de igual lanzamiento inicial para ambas innovaciones ( $Lan1 = 0.5$  y  $Lan2 = 0.5$ ).

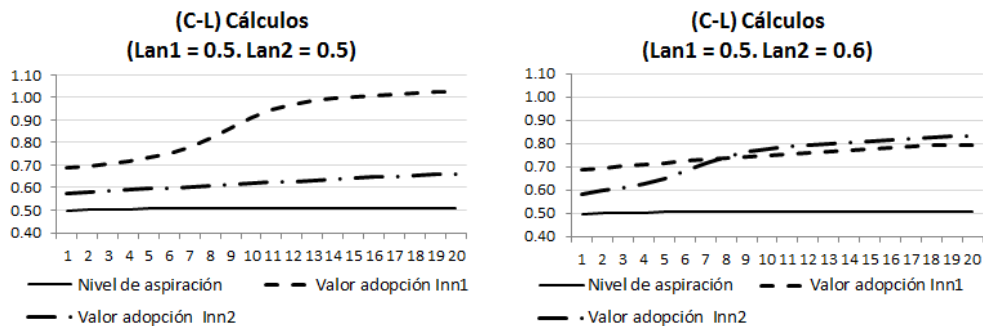
Se observa que cuando el esfuerzo en el lanzamiento de la innovación 2 es superior un 20% al esfuerzo en el lanzamiento de la innovación 1, la innovación 2 logra capturar cerca del 75% del mercado para el final del período de difusión, mientras que la innovación 1 llega al 10% del mercado. La Figura 8 presenta el valor medio de adopción de cada una de las innovaciones (proceso de evaluación), así como el nivel de aspiración de sensibilidad de los individuos (criterio de selección), en los dos casos analizados.

Figura 5. (C-L) Curvas de difusión



Fuente: elaboración propia

Figura 6. (C-L) Valor de adopción y nivel de aspiración de sensibilidad



Fuente: elaboración propia

## 6. Conclusiones y recomendaciones

Esta investigación propuso una heurística basada en la *Teoría del Comportamiento Planeado* dentro como motor en el proceso de evaluación de alternativas de adopción, para un mercado en competencia en el cual dos innovaciones de igual naturaleza entran de manera simultánea; la heurística hace uso del concepto de *satisfacción* como criterio de selección de las alternativas evaluadas, y propone un nivel de aspiración de exposición a la innovación para considerar las limitaciones en la búsqueda de la información.

Los resultados indican que las consideraciones sobre la disponibilidad de la información tiene implicaciones estadísticamente significativas en la curvas de difusión. De esta manera, cuanto mayor sea esta disponibilidad más veloz será el proceso de difusión de las innovaciones. Una innovación dominada por otra a través de del precio puede lograr una participación en el mercado a través de la intensidad en la publicidad. Un esfuerzo publicitario 5 veces superior al de la competencia dominante genera una participación en el mercado del 10%, dado que la inercia

creada por la difusión de la innovación dominante mina el mercado potencial que logra percibir a la innovación dominada como una opción atractiva cuando la publicidad tiene lugar. Una estrategia más interesante puede ser un incremento en el esfuerzo en el lanzamiento inicial de las innovaciones, en la cual un incremento del 25% en dicho esfuerzo por parte de la innovación dominada logra capturar un mercado de casi el 80%. Es decir, el interés de las organizaciones encargadas de difundir la innovación debe centrarse en mayor medida en generar un alto impacto inicial en lugar de una estrategia de publicidad sostenida en el tiempo.

Las evaluaciones que realizan los individuos sobre las innovaciones disponibles en el mercado capturan las diferentes estrategias evaluadas. Sin embargo, operan de manera diferente de individuo en individuo, reflejando diferentes decisiones y momentos de adopción, es decir, una capacidad de cálculo limitada. Asimismo, el mínimo ajuste en los niveles de aspiración de satisfacción producto de decisiones que toman los individuos en momentos específicos del tiempo, refleja su incapacidad para calcular las consecuencias de las decisiones tomadas y, por tanto, su lejanía de la decisión óptima en el tiempo.

Finalmente, se resalta que esta investigación corresponde a un avance teórico en el tema de la inclusión de los limitantes a la racionalidad en la difusión de las innovaciones; por tanto, ninguno de los componentes de la heurística desarrollada ha sido probado en condiciones reales. Investigaciones encaminadas al uso de de casos reales en ambientes específicos o a del diseño controlado de experimentos, enriquecerían sin duda los hallazgos de este trabajo.

## Bibliografía

- Ajzen, I.** *From intentions to actions: A theory of planned behavior*. In J. Kuhl & J. Beckmann (Eds), *Action control: From cognition to behavior*. Berlin and New York: Springer-Verlag, 1985.
- Bagozzi, R.** (2007), The Legacy of the Technology Acceptance Model and a Proposal for a Paradigm Shift. *Journal of the Association for Information Systems*, 8(4), 12.
- Barabási, A.** (1999a), Emergence of Scaling in Random Networks. *Science*, 286(5439), 509–512.
- Barabási, A.** (1999b), Mean-field theory for scale-free random network. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 272, 173–187.
- Bass (1969)**, A new product growth for model consumer durables. *Management Science*, 15(5), 215–227.
- Berger, T.** (2001), Agent-based spatial models applied to agriculture: a simulation tool for technology diffusion, resource use changes and policy analysis. *Agricultural Economics*, 25(2-3), 245–260.
- Chuttur, M.** (2009), Overview of the Technology Acceptance Model: Origins, Developments and Future Directions. *Sprouts: Working Papers on Information Systems*, 9(37), 1–23.
- Czerlinsky, J., Gigerenzer, G., & Goldstein, D. G.** *How good are simple heuristics? Simple heuristics that make us smart*. New York: Oxford University Press, 1999.
- Davis, F. D.** *A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: theory and results (Ph. D.)*. Sloan School of Management. Massachusetts Institute of Technology, 1985.
- Davis, F. D., Bagozzi, R., & Warshaw, P.** (1989), User Acceptance Of Computer Technology: A Comparison Of Two Theoretical Models. *Management Science*, 35(8), 982–1003.
- Fishbein, M., & Ajzen, I.** *Belief, Attitude, Intention, and Behavior: An Introduction to Theory and Research* (MA: Addison-Wesley.), 1975.
- Georgescu, S., & Okuda, H.** (2008), A Distributed Multi-Agent Framework for Simulating the Diffusion of Innovations. *Journal of Power and Energy Systems*, 2(6), 1320–1332.
- Gigerenzer, G.** *Fast and frugal heuristics: The tools of bounded rationality*. Blackwell handbook of judgment and decision making (pp. 62–88). United Kingdom: Blackwell, 2004.
- Gigerenzer, G., & Todd, P. M.** *Fast and frugal heuristics: The adaptive toolbox. Simple heuristics that make us smart*. New York: Oxford University Press, 1999.

- Hale, J., Householder, B., & Green, K.** The Theory of Reasoned Action. The persuasion handbook: developments in theory and practice (p. 865). United States of America: Sage Publications, 2002.
- Kiesling, E., Günther, M., Stummer, C., & Wakolbinger, L. M.** (2011), Agent-based simulation of innovation diffusion: a review. *Central European Journal of Operations Research*.
- MacVaugh, J., & Schiavone, F.** (2010), Limits to the diffusion of innovation: A literature review and integrative model. *European Journal of Innovation Management*, 13(2), 197–221.
- Mahajan, V., Muller, E., & Bass, F.** (1990), New Product Diffusion Models in Marketing: A Review and Directions for Research. *The Journal of Marketing*, 54(1), 1–26.
- Manson, S.** (2006), Bounded rationality in agent-based models: experiments with evolutionary programs. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(9), 991–1012.
- March, J. G.** (1978), Bounded rationality, ambiguity, and the engineering of choice. *The Bell Journal of Economics*, 587–608.
- Mathieson, K.** (1991), Predicting User Intentions: Comparing The Technology Acceptance Model with the Theory of Planned Behavior. *Information Systems Research*, 2(3), 173–191.
- Montalvo, C., & Kemp, R.** (2008), Cleaner technology diffusion: case studies, modeling and policy. *Journal of Cleaner Production*, 16(1), S1–S6.
- OECD** (2005), *Oslo manual: Guidelines for collecting and interpreting innovation data*. Publications de l'OCDE.
- Oppenheimer, D. M.** (2003), Not so fast! (and not so frugal!): Rethinking the recognition heuristic. *Cognition*, 90(1), B1–B9.
- Peres, R., Muller, E., & Mahajan, V.** (2010), Innovation diffusion and new product growth models: A critical review and research directions. *International Journal of Research in Marketing*.
- Rahmandad, H., & Sterman, J.** (2008), Heterogeneity and network structure in the dynamics of diffusion: Comparing agent-based and differential equation models. *Management Science*, 54(5), 998–1014.
- Rao, K. U., & Kishore, V. V. N.** (2010), A review of technology diffusion models with special reference to renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Rogers, E. M.** *Diffusion of Innovations* (Third Edition., Vol. 11). London: Collier Macmillan Publishers, 1983.
- Schumpeter, J. A.** (1936), The Theory of Economic Development. *The European Heritage in Economics and the Social Sciences* (Vol. 1). Springer US.
- Secchi, D.** Extendable Rationality. *Springer Science+Business Media*. Estados Unidos, 2011.
- Simon, H. A.** (1955), A behavioral model of rational choice. *The quarterly journal of economics*, 69(1), 99.
- Todd, P. M., & Gigerenzer, G.** (2003), Bounding rationality to the world. *Journal of Economic Psychology*, 24(2), 143–165.
- Venkatesh, V.** (1999), Creation of favorable user perceptions: exploring the role of intrinsic motivation. *MIS quarterly*, 239–260.
- Venkatesh, V.** (2000), Determinants of perceived ease of use: Integrating control, intrinsic motivation, and emotion into the technology acceptance model. *Information systems research*, 11(4), 342–365.
- Venkatesh, V., & Bala, H.** (2008), Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions. *Decision Sciences*, 39(2), 273–315.
- von Neumann, J., & Morgenstern, O.** *Theory Of Games And Economic Behavior* (3ra ed.). Estados Unidos: Princeton University Press, 1944.
- Watts, D. J.** (2000), Small Worlds: The Dynamics of Networks between Order and Randomn. *Mathematical Association of America*, 107(7), 664–668.
- Watts, D. J., & Strogatz, S. H.** (1998), Models of the Small World. *Nature*, 393, 440–442.
- Zhang, T., Gensler, S., & Garcia, R.** (2011), A Study of the Diffusion of Alternative Fuel Vehicles: An Agent-based Modeling Approach. *Journal of Product Innovation Management*, 28(2).