



INNOVAR. Revista de Ciencias

Administrativas y Sociales

ISSN: 0121-5051

revinnova_bog@unal.edu.co

Universidad Nacional de Colombia

Colombia

Herrera-Madrid, Mauricio; Botero-Botero, Sergio

Modelación de la difusión tecnológica intrasectorial: el caso de las estaciones de servicio de gnv en el
Valle de Aburrá

INNOVAR. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales, vol. 22, núm. 44, abril-junio, 2012, pp. 5-20
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81824866002>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Modelación de la difusión tecnológica intrasectorial: el caso de las estaciones de servicio de GNV en el Valle de Aburrá

MODELING OF INTRA-SECTORIAL TECHNOLOGICAL DISSEMINATION:
THE CASE OF VEHICULAR NATURAL GAS SERVICE STATIONS IN THE
VALLE DE ABURRÁ

ABSTRACT: The aim of this research work is to study the technological dissemination process in the vehicular natural gas service stations market in the Valle de Aburrá, its evolution and projection, and to identify and evaluate the factors that facilitate that process. The innovative dynamic of the local markets is identified through technological dissemination as a way of tracing innovation flows and technological changes that arise within an industry or between industries. Using the nonlinear minimum square method, the parameters posed by the technological dissemination models of Bass and Mansfield were estimated; their results are supplemented with the design and application of an instrument to identify and evaluate the factors that influenced the process of dissemination of innovation within the sector. The research findings show the importance of both external and internal factors within the dissemination process, while leading to the conclusion that the entrepreneurs belonging to the analyzed sector behave more like followers than innovators when assuming risks involved in adopting new technologies.

KEYWORDS: technological dissemination, key factors of the dissemination process, vehicular natural gas, adoption of innovation, Bass model.

MODÉLISATION DE LA DIFFUSION TECHNOLOGIQUE INTRA-SECTORIELLE : LE CAS DES STATIONS DE SERVICE DE GAZ NATUREL VÉHICULAIRE DANS LA RÉGION VALLE DE ABURRÁ

RÉSUMÉ: Cette recherche a pour objectif l'analyse du processus de diffusion technologique se présentant sur le marché des stations de service de gaz naturel véhiculaire dans la région Valle de Aburrá, son évolution et sa projection, pour identifier et évaluer les facteurs qui ont facilité ce processus. La dynamique d'innovation des marchés locaux est identifiée par le biais de la diffusion technologique en tant qu'approche du mode de détection des flux d'innovation et des changements technologiques se présentant dans une industrie ou d'une industrie à l'autre. Les paramètres proposés pour les modèles de diffusion technologique de Bass et Mansfield ont été estimés par la méthode de moindres carrés non linéaires ; les résultats sont complétés par le design et l'application d'un instrument permettant d'identifier et d'évaluer les facteurs qui influencent le processus de diffusion de l'innovation dans le secteur. Les résultats de la recherche permettent de souligner l'importance autant des facteurs externes que des facteurs internes dans le processus de diffusion, arrivant à la conclusion que les chefs d'entreprise appartenant au secteur analysé se comportent plus en tant que suiveurs qu'en tant qu'innovateurs au moment où ils doivent assumer des risques pour l'adoption de nouvelles technologies.

MOTS-CLEFS : diffusion technologique, facteurs-clés du processus de diffusion, gaz naturel véhiculaire, adoption de l'innovation, modèle de Bass.

MODELAÇÃO DA DIFUSÃO TECNOLÓGICA INTRASECTORIAL: O CASO DAS ESTAÇÕES DE SERVIÇO DE GNV NO VALLE DE ABURRÁ

RESUMO: O propósito da presente pesquisa consiste em conhecer o processo de difusão tecnológica que se verificou no mercado das estações de serviço de gás natural veicular no *Valle de Aburrá*, sua evolução e projeção, e identificar e avaliar os fatores que facilitaram tal processo. A dinâmica inovadora dos mercados locais identifica-se através da difusão tecnológica como uma aproximação à forma de rastrear os fluxos de inovação e as mudanças tecnológicas que se apresentam dentro de uma indústria ou de uma indústria a outra. Através do método de mínimos quadrados não lineares, estimaram-se os parâmetros estabelecidos pelos modelos de difusão tecnológica de Bass e Mansfield; seus resultados são complementados com o desenho e aplicação de um instrumento que permite identificar e avaliar os fatores que influenciaram o processo de difusão de inovação dentro do setor. As descobertas da pesquisa permitem ressaltar a importância tanto dos fatores externos como dos internos dentro do processo de difusão, assim como concluir que os empresários pertencentes ao setor analisado têm um comportamento mais de seguidores que de inovadores no momento de assumir riscos na adoção de novas tecnologias.

PALAVRAS CHAVE: difusão tecnológica, fatores chave do processo de difusão, gás natural veicular, adoção da inovação, modelo de Bass.

CLASIFICACIÓN JEL: O33, Q55, L95

RECIBIDO: noviembre de 2010 ACEPTADO: marzo de 2012.

CORRESPONDENCIA: Sergio Botero, Carrera 80 No 65-223 of M8B-206, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Colombia.

CITACIÓN: Herrera-Madrid, M. & Botero-Botero, S. 2012. Modelación de la difusión tecnológica intrasectorial: el caso de las estaciones de servicio de GNV en el Valle de Aburrá. *Innovar*, 22(44), 5-20.

Mauricio Herrera-Madrid

Máster en Ingeniería Administrativa, economista, investigador independiente.
Correo electrónico: mherreram@unal.edu.co

Sergio Botero-Botero

D. Sc., M. Sc. Eng., Ingeniero Mecánico. Profesor asociado, Escuela Ingeniería de la Organización, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.
Correo electrónico: sbotero@unal.edu.co

RESUMEN: El propósito de la presente investigación radica en conocer el proceso de difusión tecnológica que se presentó en el mercado de las estaciones de servicio de gas natural vehicular en el Valle de Aburrá, su evolución y proyección, e identificar y valorar los factores que facilitaron dicho proceso. La dinámica innovadora de los mercados locales se identifica a través de la difusión tecnológica como un acercamiento a la forma de rastrear los flujos de innovación y los cambios tecnológicos que se presentan dentro de una industria o de una industria a otra. A través del método de mínimos cuadrados no lineales, se estimaron los parámetros planteados por los modelos de difusión tecnológica de Bass y Mansfield; sus resultados son complementados con el diseño y la aplicación de un instrumento que permite identificar y valorar los factores que influyeron en el proceso de difusión de la innovación dentro del sector. Los hallazgos de la investigación permiten resaltar la importancia tanto de los factores externos como de los internos dentro del proceso de difusión, así como concluir que los empresarios pertenecientes al sector analizado tienen un comportamiento más de seguidores que de innovadores a la hora de asumir riesgos en la adopción de nuevas tecnologías.

PALABRAS CLAVE: difusión tecnológica, factores clave del proceso de difusión, gas natural vehicular, adopción de la innovación, modelo de Bass.

Introducción*

En su contextualización teórica, el manual de Bogotá (Jaramillo *et al.*, 2001) identifica áreas que son prioridad de investigaciones que, de llevarse a cabo, permitirán avanzar en el conocimiento de la dinámica innovadora de los mercados locales. Entre estas están las relacionadas con la difusión tecnológica como una forma de rastrear los flujos de innovación y los cambios

* Agradecemos por su colaboración e información suministrada a todas las personas en las diferentes estaciones de servicio que con sus comentarios y experiencia permitieron enriquecer este documento, así como también agradecer por su tiempo e información a Juan Carlos Chadid Sierra, ejecutivo de cuenta de Grandes Consumidores Gas Natural de Empresas Públicas de Medellín (EPM); a Juan Camilo Restrepo, representante de Gazel en el Valle de Aburrá para las estaciones de servicio, así como a Julieta García Vélez, representante de Distracom para las estaciones de servicio y a Rafael Restrepo B. ex presidente del gremio de las estaciones de servicio con GNV y propietario de estaciones de servicio cuyos comentarios permitieron construir un panorama del negocio de GNV en la ciudad de Medellín.

tecnológicos de una industria a otra, lo cual permitirá identificar los factores que hacen posible los procesos innovadores, así como explorar los resultados de las actividades innovadoras que aumentan la productividad y la competitividad.

Este proceso de seguimiento se convierte en un factor fundamental para comprender el desarrollo tecnológico e innovador de las empresas. Se han hecho varios estudios en Colombia con base en la segunda encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica realizada en el año 2004, la cual se constituye en el fundamento de diversas investigaciones que buscan caracterizar la dinámica de desarrollo tecnológico de la empresa manufacturera, en cuanto a intensidad y trayectoria de las actividades de innovación y desarrollo tecnológico. (Malaver y Vargas, 2004).

La difusión tecnológica ha sido un tema ampliamente tratado en la literatura debido, entre otros aspectos, a su gran importancia para poder explicar los procesos de innovación de las empresas y los sectores productivos, el aumento de la productividad y el crecimiento económico de los países (Van Pottelsberghe y Lichtenberg, 2001; Crespo y Velázquez, 2003, 2004 y 2006); estos procesos se derivan de la generación del conocimiento y de la experiencia adquirida por parte de empresas mediante sus inversiones destinadas a la adquisición de nuevas tecnologías, investigación y desarrollo, e innovación (Romer, 1986; Arrow, 1962; Sheshinski, 1967), y se difunden a otras empresas por medio del comercio, las instituciones de investigación, los eventos tecnológicos o, simplemente, a través del día a día de las mismas (Heijs, 2004; Hula, 1993).

En los últimos años ha habido una serie de importantes avances teóricos en la literatura relacionada con los procesos de difusión tecnológica. Sin embargo, la mayoría de los trabajos empíricos sobre este tema no ha alcanzado las teorías planteadas y se aleja de sus postulaciones (Karsheanas y Stoneman, 1993); por tanto, existe una escasa orientación en cuanto a la forma adecuada en la que se debe abordar el análisis de los auténticos fenómenos de difusión tecnológica. Heijs (2006) plantea que la dificultad de medir la difusión tecnológica y su influencia sobre el aumento de la productividad se debe a que muchas de las variables son de carácter intangible, difícil de recoger y aplicar a la realidad económica de una empresa o sector, y llega a la conclusión de que la evidencia empírica es confusa y que para mejorar los conocimientos se deben afinar y ajustar las metodologías existentes y comúnmente aplicadas.

Debido a estas dificultades los resultados arrojados por los diferentes estudios publicados son de carácter agregado, se limitan a la identificación del origen de los factores que facilitan el proceso de difusión de las innovaciones y hacen

generalizaciones sobre los mismos, explicando su evolución a través de proyecciones asociadas a las adopciones futuras en relación con el número actual de adoptantes y el nivel de saturación estimado para la innovación en el mercado. Frente a esta situación, se hace necesario crear instrumentos que permitan profundizar en el análisis y faciliten la identificación de los factores clave dentro del proceso de difusión de forma desagregada.

No hacer este tipo de diagnóstico sobre la difusión tecnológica, los flujos de innovaciones, el derrame de conocimiento y los vínculos existentes entre actividades innovadoras de un determinado sector dificultará la construcción de modelos que permitan entender mejor los sistemas de innovación y faciliten el diseño de programas y políticas en pro de la misma, lo que reduce las posibilidades de éxito de las empresas al enfrentarse a mercados cada vez más dinámicos y competitivos, donde existe la imperiosa necesidad de innovar constantemente, lanzar nuevos productos, buscar nuevos nichos de mercado e introducir nuevas tecnologías con el fin de que no desaparezcan (Gatignon *et al.*, 1989).

El objetivo principal de esta investigación es contribuir con el estudio de los factores que actúan como conductores en el proceso de difusión tecnológica dentro de un determinado sector industrial. Para lograr el propósito, esta investigación parte de dos hipótesis; la primera: la difusión de las nuevas tecnologías y las innovaciones provienen principalmente de fuentes internas, con referencia al sistema social analizado, y la segunda: las innovaciones asumidas por las empresas tienden a ser más una imitación que un desarrollo propio, debido principalmente al carácter inmediatista que busca mejorar la competitividad y rentabilidad de las empresas en el corto plazo a través de la compra de maquinaria, licencias y asesorías, en vez de desarrollar estos insumos en las mismas empresas. La identificación de los factores conductores de la difusión y su grado de influencia sobre la decisión de adopción pueden convertirse en soporte para futuras investigaciones.

El resto de este documento se articula de la siguiente manera: luego de esta parte introductoria, en la segunda sección se revisan los planteamientos teóricos y conceptuales sobre la teoría de la difusión tecnológica; en la tercera se realiza el análisis acerca de la difusión tecnológica para ofrecer gas natural vehicular (GNV) en las estaciones de servicio (EDS) en el Valle de Aburrá; en la cuarta sección se presenta la propuesta metodológica para el análisis empírico, sobre el cual se estiman los parámetros del modelo de difusión tecnológica a través de mínimos cuadrados no lineales y se aplica el instrumento creado para identificar y valorar los factores que influyen sobre la difusión tecnológica entre las empresas; en la última sección se exponen



los resultados, las conclusiones, las limitaciones y las futuras líneas de investigación.

Antecedentes y definiciones. Modelos de la difusión tecnológica

Los modelos de difusión tecnológica se centran en analizar el nivel de propagación de una tecnología o innovación entre los individuos pertenecientes a un sistema social, representados por el total de potenciales adoptantes de la innovación a través del tiempo, es decir, observar el incremento del número de adoptantes y pronosticar el continuo crecimiento de la difusión en proceso (Mahajan y Muller, 1979). Las influencias sociales, las cuales incluyen todas las interdependencias entre los consumidores, afectan a los distintos agentes del mercado con o sin conocimiento explícito sobre la innovación, y desempeñan un papel importante en el proceso de difusión (Peres *et al.*, 2010).

En general, en el proceso de difusión se contemplan siete elementos (Mahajan y Peterson, 1978; Roger, 1983): *la*

innovación, representa el nuevo o significativamente mejorado producto o servicio; *los adoptantes de la innovación*, individuos que pertenecen al sistema social y los cuales serán objeto de seducción; *los canales de comunicación*, vías a través de las cuales la información sobre la innovación se transporta para llegar al potencial consumidor; *el tiempo*, medida que permite conocer la evolución de los parámetros analizados y clasificar a los consumidores entre innovadores e imitadores; *el espacio*, lugar geográfico donde se introduce la innovación; *los agentes de cambio*, agentes que trabajan proactivamente para extender la innovación, crean demanda y persuaden desde afuera del sistema social, y *el sistema social*, representado por los consumidores potenciales y no potenciales de la innovación y sus interacciones.

Los modelos planteados inicialmente, llamados clásicos, tienen un enfoque agregado, ya que su análisis no se centra en explicar o identificar los factores que determinan la toma de decisiones individuales por parte de los potenciales adoptantes, sino, más bien, en tratar de determinar

el nivel de influencia de los canales a través de los cuales fluye la información de la innovación en el proceso de adopción, y que pueden ser de origen interno o externo al sistema social. Los modelos de difusión, en su análisis, dividen el mercado total en el cual se introduce la innovación en tres diferentes segmentos: *el mercado no explotado*, compuesto por los individuos que por ciertas razones no conocen la existencia de la innovación o esta no está en su intención de compra; *el mercado potencial*, representado por aquellos individuos que tienen tanto la información sobre la innovación como la capacidad para adquirirla, y *el mercado actual*, compuesto por el número de compradores que han adquirido la innovación (López y Arroyo, 2005).

Esta división se realiza con el objetivo de estudiar los cambios sufridos por cada uno de los segmentos a través del tiempo, representados por el flujo total de individuos y la tasa del flujo de individuos entre segmentos, determinando así la tasa de adopción de la innovación, su velocidad y la saturación del mercado (Mahajan y Muller, 1979, p. 56). Los modelos clásicos de difusión, en su formulación, solo consideran dos segmentos en el proceso de difusión: el mercado potencial y el mercado actual, y dos vías de transferencia de la información a los potenciales adoptantes: el boca a boca y los medios de comunicación masiva, las cuales generan un flujo de información sobre la existencia de la innovación y sus características. Modelos más avanzados incorporan el *marketing mix*, la experiencia individual con el producto y factores exógenos como el ambiente económico (Mahajan *et al.*, 1984).

Los mecanismos de transferencia se pueden clasificar según su procedencia como: una *fuente externa* cuando la información que seduce al potencial comprador de adquirir la innovación proviene de afuera del sistema social, por ejemplo, la información transferida a través de los medios de comunicación; o una *fuente interna* cuando esta se genera dentro del sistema social a través de las relaciones con otros individuos que ya han adquirido la innovación (Lekvall y Wahlbin, 1973). Los modelos clásicos de difusión son los expuestos por Fourn y Woodlock (1960), Mansfield (1961) y Bass (1969)¹, basados en la modelización de la primera compra sin repetición, y con horizonte fijo dado por la vida útil de la innovación.

¹ El modelo de influencia externa, o modelo exponencial, propuesto por Fourn y Woodlock (1960), no es analizado en el presente estudio debido a que no representa el proceso de adopción que se dio en el mercado de gas natural vehicular en el Valle de Aburrá, pues este tiene un comportamiento en su crecimiento más logístico que exponencial. Por tanto, los resultados arrojados por el modelo no son acordes con la realidad que se pretende explicar y las hipótesis propuestas por la investigación, las cuales se tratarán de validar a través de los modelos de Mansfield (1961) y Bass (1969).

Modelo de influencia interna

Propuesto por Mansfield (1961), el modelo considera que la información sobre la innovación proviene de factores internos, como la interacción entre los adoptantes y los que aún no han adoptado la innovación, lo cual genera un flujo de individuos de un segmento a otro haciendo que el proceso de innovación esté basado en un proceso de imitación. Al respecto, Mahajan *et al.* (1990) plantean que la interacción entre los individuos no necesariamente implica que el adoptante dé información al potencial adoptante sobre la innovación, su uso y beneficios: basta con la existencia de una relación interpersonal y la observación. Este modelo ha sido utilizado por Olshavsky (1980), y Rao y Kishore (2010). La hipótesis sobre la que se basan es que la difusión se presenta por acumulación de información y experiencia, lo cual reduce los niveles de incertidumbre inicial sobre la adquisición de la nueva tecnología y produce un efecto arrastre de los potenciales adoptantes hacia los adoptantes (Alcón *et al.*, 2006).

$$a(t) = \frac{dA(t)}{dt} = qA(t)[\bar{A} - A(t)]; q > 0 \quad [1]$$

donde $a(t)$ representa al número de adoptantes en el período t ; $A(t)$ es el número de adoptantes hasta el período t ; \bar{A} es el total de potenciales adoptantes y q es una constante que representa el coeficiente de difusión que depende de la velocidad de aprendizaje de los agentes sobre la nueva tecnología. Este modelo tiene como requisito fundamental la presencia de un agente cero, es decir, un consumidor inicial. La curva de difusión para el modelo es una función logística de la forma:

$$A(t) = \frac{\bar{A}}{1 + Ke^{-\bar{A}qt}}; b > \quad [2]$$

La tasa máxima de adopción se halla cuando la ecuación [1] se iguala a cero; en este punto la adopción ha llegado a la mitad del mercado potencial², es decir, cuando $A(t^*) = \bar{A}/2$ y $t^* = \frac{1}{\bar{A}q} \ln K$, lo cual implica que a mayor valor de q , mayor es la velocidad de difusión de la innovación (Lekvall y Wahlbin, 1973; Mahajan y Peterson, 1985; Venkatraman *et al.*, 1994; Kale y Ardit, 2006; Michalakelis *et al.*, 2010).

Modelo de influencia mixta (modelo de Bass)

Propuesto por Bass (1969), también llamado modelo generalizado estático, el modelo sintetiza los modelos de influencia externa de Fourn y Woodlock (1960) y el modelo de influencia interna de Mansfield (1961), empleando una generalización de la curva logística, la cual tiene como sus

² Durante el proceso se agrupan valores constantes de forma que $K = e^{\bar{A}c}$ y c es la constante de integración.

casos especiales a los dos modelos anteriores. Este modelo supone que los parámetros por estimar –el efecto de imitación, el efecto de innovación y el mercado objetivo– permanecen constantes en todo el proceso de difusión, y que su derivación parte de una función de azar que define la probabilidad de que un individuo adopte por primera vez una tecnología en el tiempo t^3 . La curva de difusión generalizada para el modelo está representada por

$$a(t) = \frac{dA(t)}{dt} = p[\bar{A} - A(t)] + q \frac{A(t)}{\bar{A}} [\bar{A} - A(t)] \quad [3]$$

$a(t)$ expresa la velocidad del flujo de individuos que pasan del segmento de no adoptantes, de tamaño $[\bar{A} - A(t)]$ en el tiempo t , al segmento de adoptantes $A(t)$, de tamaño en el mismo tiempo t ; $p[\bar{A} - A(t)]$, representa a los individuos que han adoptado la nueva tecnología influidos por factores externos, como la publicidad, los precios y las promociones; $q \frac{A(t)}{\bar{A}} [\bar{A} - A(t)]$, representa al número de adoptantes influidos por factores internos como el boca a boca, y la expresión $q \frac{A(t)}{\bar{A}(t)}$ representa la influencia de los adoptantes sobre los potenciales adoptantes para que estos los imiten.

Integrando la ecuación [3] se obtiene la curva de difusión del modelo de Bass, en la cual un potencial adoptante está en contacto con adoptantes y factores externos que causan el efecto de contagio.

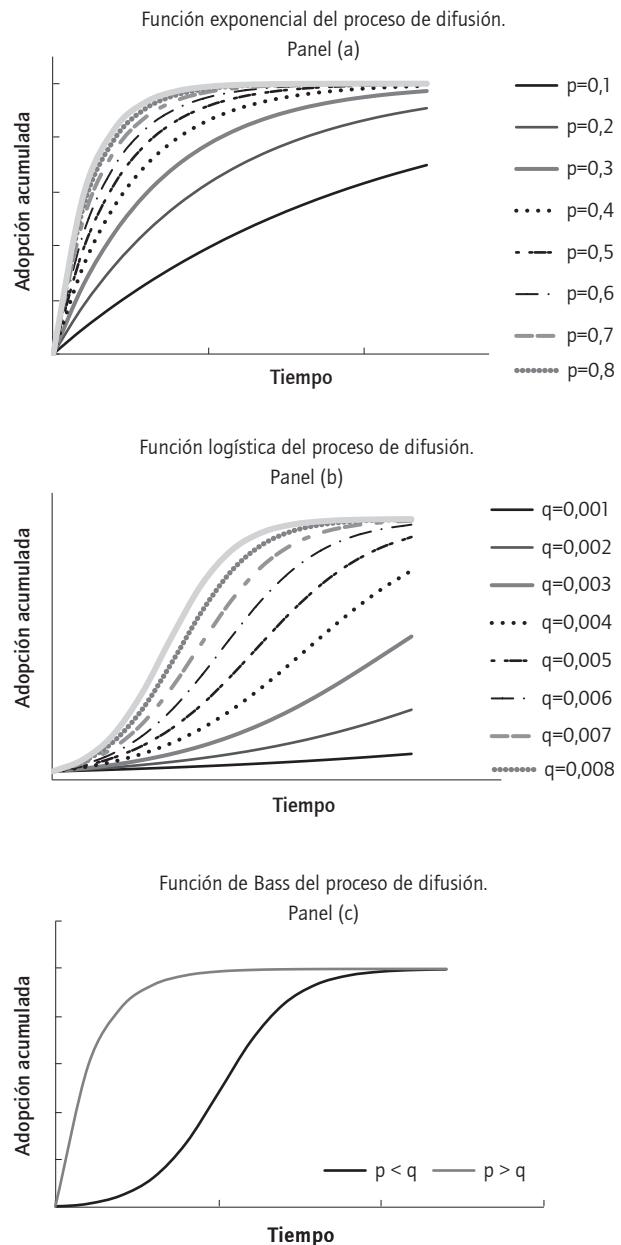
$$A(t) = \frac{\bar{A}[1 - e^{-(p+q)t}]}{[1 + \left(\frac{q}{p}\right)e^{-(p+q)t}] \quad [4]}$$

La ecuación [4] muestra que el número total de adoptantes depende de tres factores: el coeficiente de influencia interna q , el coeficiente de influencia externa p y el número de individuos que conforman el mercado potencial \bar{A} , y de la magnitud relativa entre p y q , parámetros por estimar en el modelo a partir de información previa sobre el proceso de difusión o con base en información histórica sobre el número de adoptantes⁴.

³ La función de azar $f(t)/1-F(t) = p + qF(t)$ donde $f(t)$ es la función de densidad del tiempo de adopción; $F(t)$ es la proporción acumulada de los adoptantes hasta el tiempo t ; p es el coeficiente que mide el nivel de influencia que han ejercido factores externos sobre los individuos para adquirir la tecnología y q es el coeficiente que mide el nivel de influencia que han ejercido factores internos sobre los individuos para adquirir la tecnología. Si \bar{A} es el total de potenciales adoptantes, entonces el número de individuos que van a adoptar la innovación en el tiempo t será: $a(t) = \bar{A}f(t)$ y el número acumulado de los que han adoptado hasta el tiempo t será $A(t) = \bar{A}F(t)$.

⁴ La ecuación no alcanza nunca el máximo de $A(t)$ después de que el 50% de los adoptantes potenciales hayan adquirido la tecnología a mayores valores de p y q mayor es la velocidad de difusión. El punto de inflexión de la curva coincide con el máximo número de nuevos adoptantes, el cual se presenta en el tiempo t^* y el número

GRÁFICO 1. Comportamiento modelo de difusión.



Fuente: elaboración propia.

En el gráfico 1 se observa que a medida que el valor de p y q son más grandes, mayor es la velocidad de difusión; el panel (c) muestra los casos especiales del modelo de Bass según sean los valores de p y q . Cuando $p < q$ el modelo se comporta como una función exponencial, panel (a) y cuando $p > q$ el modelo se semejaría a una función logística como la del panel (b)⁵.

acumulado de adoptantes $A(t^*)$ cuyas ecuaciones están dadas por:
 $t^* = -\frac{1}{p+q} \ln\left(\frac{p}{q}\right)$; $A(t^*) = \bar{A} \left[\frac{1}{2} - \frac{p}{2q} \right]$

⁵ De igual forma, si $p=0$, el modelo se ajusta a una función logística, y si $q=0$, el modelo se ajusta a una función exponencial negativa.

Al igual que el modelo propuesto por Roger (1983), el modelo de Bass permite identificar cinco diferentes categorías de adoptantes: *innovadores, adoptadores tempranos, mayoría temprana, mayoría tardía y rezagados*, al igual que su duración (Mahajan *et al.*, 1990). En él, los intervalos de tiempo y el porcentaje de adoptantes para cada categoría varían según el tipo de innovación, y dependen de los valores conocidos de los coeficientes externos e internos en sus relaciones ($p + q$) y (q/p) (Mahajan *et al.*, 1995; Mahajan *et al.*, 1990a)⁶.

Identificación de los factores clave en el proceso de difusión

Se identifican una serie de factores, expuestos de forma separada por la literatura especializada, que pueden ejercer cierta influencia sobre los potenciales adoptantes para adquirir la nueva tecnología. Siguiendo los planteamientos propuestos por la teoría de la difusión tecnológica se crean tres grupos de factores: el primero contiene los factores externos, el segundo contiene los factores internos, y el tercer grupo contiene los factores relacionados con el proceso final de adopción de la tecnología, es decir, su adquisición⁷. Los cuadros 1 y 2 resumen los factores que componen el proceso de difusión y adquisición de una innovación.

Difusión de la tecnología para ofrecer gas natural vehicular en el Valle de Aburrá

La introducción de la tecnología, tanto en conversión como en suministro, para el uso del gas natural (GN) como combustible alternativo para vehículos en el Valle de Aburrá tiene sus inicios a finales de los años 1990, cuando inversionistas privados con conocimientos sobre el negocio, de la mano de EPM como único oferente del insumo a estaciones de servicios (EDS) y actor estratégico que apoya

las políticas de masificación del GNV del Ministerio de Minas y Energía, deciden realizar las primeras acciones para difundir el uso del GNV⁸. Gracias a la experiencia que ya se había conseguido años atrás en departamentos de la costa atlántica y del centro del país, se instalan las primeras estaciones de servicio con GNV en el Valle de Aburrá y los primeros talleres de conversión.

El Valle de Aburrá es una subregión del departamento de Antioquia que cuenta con cerca de 3.700.000 habitantes, tiene una longitud aproximada de 60 kilómetros y está compuesto por 10 municipios. El mercado potencial en el Valle de Aburrá, al año 2010, estaba representado por 184 EDS; de estas, 59 ya han adoptado la tecnología para ofrecer GNV⁹, y se encuentran distribuidas en los municipios de Bello (7), Medellín (40), Envigado (3), Sabaneta (5) e Itagüí (4); de las EDS con GNV identificadas, 57 ofrecen su servicio al público y 2 son privadas y se encuentran ubicadas en el interior de compañías. El 90% de las EDS están localizadas en las vías principales de la ciudad que acompañan el recorrido del río Medellín y por donde se presenta el mayor flujo vehicular y la proximidad al gaseoducto. Según estadísticas del Ministerio de Minas y Energía, en el Valle de Aburrá al año 2009 existían cerca de 30.564 vehículos funcionando con GNV y 43 talleres especializados en GNV.

En el Valle de Aburrá existen cerca de 140 surtidores y 280 mangueras que ofrecen GNV; la cantidad mínima de surtidores en una estación es de 2, y 4 mangueras; en total, 40 EDS tienen diversificada su oferta de combustible, y las más especializadas en el producto tienen como máximo 5 surtidores (2 EDS en total). En promedio existen 2,5 surtidores por cada EDS con GNV y 5 mangueras. El número de EDS que adquirieron la tecnología presentó un fuerte crecimiento en el período 2005-2007 cuando entraron en funcionamiento cerca de 42 EDS de las 59 existentes. La penetración lograda por la tecnología GNV en las EDS alcanza el 32% del mercado potencial identificado.

⁶ La clasificación de cada uno de los adoptantes dependerá del momento dentro del período de análisis en el cual se tomó la decisión de adopción. Por lo general se considera que los primeros adoptantes, los innovadores, fueron influidos por factores externos. Aunque en el modelo planteado por Bass los innovadores pueden presentarse en cualquier período de tiempo, es más probable que los primeros adoptantes se vean influidos por factores externos. Los adoptantes subsiguientes se consideran imitadores o seguidores, ya que son más propensos a ser influidos por factores internos, como el boca a boca o por la información generada por los mismos innovadores.

⁷ El proceso de difusión de una tecnología comprende: el proceso de conocimiento sobre la existencia de la tecnología, características y bondades, y el proceso de toma de decisión sobre su adopción. El primero solo informa sobre la existencia de la tecnología y estimula al potencial adoptante a su adopción, mientras que el segundo contiene los factores que permiten al potencial adoptante evaluar los beneficios derivados de la adopción de la nueva tecnología.

⁸ Entre acciones tomadas se destacan: la exención del IVA para partes y equipos de estaciones de servicio de gas y *kits* de conversión de vehículos a gas; la entrega de subsidios y financiación a usuarios para la conversión; desmonte gradual, en el corto y mediano plazo, de subsidios a combustibles líquidos sustitutos del gas natural como la gasolina y el ACPM, acompañado de políticas que garantizan un sostenimiento del precio del GNV en un nivel cercano al 60% del precio de la gasolina; y la exención de la medida de pico y placa.

⁹ Hay que aclarar que el número de EDS con GNV que reporta del ministerio son 70, ya que contempla los permisos que tienen algunas EDS para ofrecer GNV, pero que aún no han sido redimidos ya que no han adquirido la tecnología. Del trabajo en campo y con la base de datos de EPM se logra identificar para el Valle de Aburrá 59 EDS con GNV, datos con los que se estimarán los parámetros de los modelos propuestos.

CUADRO 1. Factores clave del proceso de difusión tecnológica.

Factores externos		
Grupo	Factor	Comentarios
Medios masivos de comunicación y especializados.	Campañas publicitarias.	Medios a través de los cuales los potenciales adoptantes pueden conocer e informarse sobre la existencia de la tecnología.
	Radio, televisión y prensa.	
	Publicaciones especializadas.	
Ferias y eventos.	Ferias y exposiciones.	Espacios creados, generalmente, por las empresas oferentes de la tecnología, con profesionales especializados en el tema, quienes hacen una clara exposición sobre las características y bondades de las innovaciones ofrecidas.
	Conferencia o seminario.	
Vendedores y consultores.	Visita de un vendedor especializado.	Personas que apoyan el proceso de adopción y son requeridas por el potencial adoptante para adquirir mayor información sobre la tecnología, y de este modo respaldar su decisión de adopción.
	Acudir a consultores o expertos.	
Relación con centros educativos y de investigación.	Universidades.	En ocasiones las nuevas tecnologías e innovaciones, o son producto de centros de investigación y entidades educativas, o son investigadas por estos al servicio de sectores productivos.
	Centros de capacitación.	
	Centros de investigación.	
Relación con empresas del sector.	Relación con la casa matriz de la tecnología.	Las relaciones comerciales o económicas entre diferentes empresas pertenecientes a la cadena productiva facilitan los procesos de difusión de innovaciones y nuevas tecnologías, al existir un intercambio de conocimiento y experiencia sobre la utilización de las mismas o al permitir compartir riesgos en el proceso de adopción.
	Relación con proveedores de la tecnología.	
	Relación con el proveedor de GNV.	
	Relación con talleres de conversión.	
	Relación con ensambladoras de automóviles.	
Factores internos		
Grupo	Factor	Comentario
Relación con personas que tienen experiencia con la tecnología.	Pertenecer a la asociación del gremio.	Las relaciones gremiales y un conocimiento de las empresas pertenecientes al sector facilitan la identificación de nuevas tecnologías y aprender de la experiencia de la competencia.
	Relación con personas que conocen la tecnología.	
	Presencia de empresas con la tecnología en la región.	
	Relación económica con empresas con la tecnología.	

Fuente: elaboración propia.

CUADRO 2. Factores clave del proceso de adopción tecnológica.

Grupo	Factor	Comentario
Características del mercado y del producto.	Remplazar algún(os) producto(s).	Las adopciones tecnológicas son una respuesta del adoptante a los cambios del mercado, o bien una forma de prepararse a los mismos. Adicionalmente, permiten ampliar la cuota de mercado o mantener la que se posee frente a la competencia, así como la posibilidad de obtener beneficios derivados de nuevos negocios.
	Abrir un nuevo mercado.	
	Cambio en el comportamiento de consumo de los clientes.	
	Fácil acceso a la tecnología.	
	La oferta existente del producto.	
	Los atributos del producto.	
Precios y rentabilidad del producto	Ayudas gubernamentales o privadas.	La decisión de adopción se ve estimulada por las ayudas gubernamentales, así como por la diferencia existente entre los precios de los diferentes productos que permiten obtener beneficios futuros con el proceso de adopción.
	Los precios de productos relacionados.	
	El precio del producto.	
	Rentabilidad conocida del negocio.	

Fuente: elaboración propia

Los expertos y las personas entrevistadas consideran que el número de EDS con GNV existentes en el Valle de Aburrá es suficiente para atender la demanda y hacer que el negocio sea sostenible. El ingreso de las EDS en el mercado de GNV siempre ha estado estimulado por la demanda del producto, por el número de vehículos convertidos al sistema de gas y por la tasa de crecimiento de dichas conversiones. El mayor número de conversiones, y con una tasa de crecimiento siempre en alza, se presentó en el período 2004-2008. Para el año 2009 la cifra ya alcanzaba los 30.594 vehículos convertidos. Sin embargo, es importante conocer otros aspectos que llevaron a las EDS

a adquirir la tecnología, y a través de qué medios conocieron su existencia.

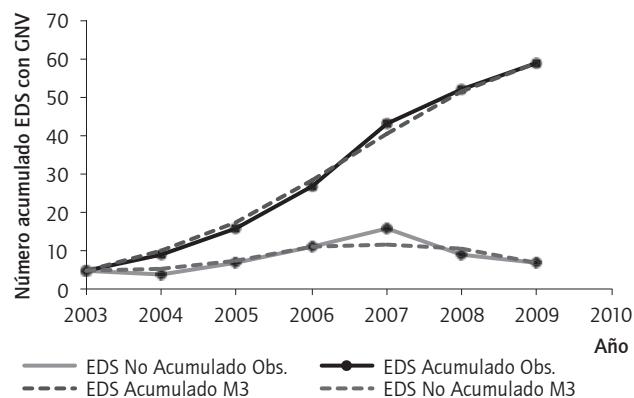
Propuesta metodológica

Determinación de los coeficientes de difusión y la velocidad de la difusión

Para identificar las fuentes por las cuales se presentó la difusión tecnológica entre las ESD en el Valle de Aburrá para ofrecer GNV, conocer su velocidad y proyectar su futuro crecimiento, se estiman los parámetros de los modelos

propuestos por Bass (1969) y Mansfield (1961) utilizando datos anuales del número de adoptantes y de EDS que adoptaron la tecnología para ofrecer GNV en el Valle de Aburrá en el período 2003-2009¹⁰. Se identificaron al año 2009: un mercado potencial de 184 EDS, un segmento de adoptantes de 59 EDS y como potenciales adoptantes 125 EDS. Para estimar los parámetros de los modelos sin correr el riesgo de encontrar errores dados por los cambios bruscos de la serie original, los datos observados fueron suavizados con una media móvil centrada de tres términos¹¹.

GRÁFICO 2. Ajuste curva de difusión observada frente a media móvil.



Fuente: elaboración propia.

Siguiendo a Srinivasan y Mason (1986), Vencatraman *et al.* (1994) y Mahajan *et al.* (1990), el modelo de influencia interna de Mansfield y el modelo de influencia mixta de Bass fueron estimados través de mínimos cuadrados no lineales¹². Las bondades del proceso de estimación se consideran tan buenas, y en algunos casos mejores, que las logradas a través de estimadores de máxima verosimilitud (Satoh, 2001; Mahajan y Yoram Wind, 1985).

Para realizar la estimación de los parámetros del coeficiente de influencia externa (p), el coeficiente de influencia interna (q) y el número total de potenciales adoptadores en el sistema social (\bar{A}), autores como Chu *et al.* (2009) y Rao y Kishore (2010) proponen expresar el modelo de Mansfield de forma discreta; en el mismo sentido estructuran su análisis Islam y Meade (2006), Srinivasan y Mason (1986), Schmittlein y Mahajan (1982), Tsai *et al.* (2010), Hsiao *et al.* (2009) y el propio Bass (1969), para estimar el modelo

de influencia mixta. Por tanto, las ecuaciones [2] y [4] pueden expresarse como:

$$x(t) = \bar{A} \left[\frac{1}{1 + Ke^{-\bar{A}qt}} - \frac{1}{1 + Ke^{-\bar{A}qt(-1)}} \right] + \varepsilon(t) \quad [5]$$

$$x(t) = \bar{A} \left[\frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \left(\frac{q}{p}\right) e^{-(p+q)t}} - \frac{1 - e^{-(p+q)t(-1)}}{1 + \left(\frac{q}{p}\right) e^{-(p+q)t(-1)}} \right] + \varepsilon(t) \quad [6]$$

donde la expresión del lado izquierdo, $x(t) = A(t) - A(t-1)$, en ambos modelos, representa el número de adoptantes en el intervalo de tiempo ($t-1, t$); y $\varepsilon(t)$ es el término de error aditivo que puede considerar el reflejo del efecto neto¹³. Finalmente, estos resultados permitirán clasificar a las EDS con GNV bien como innovadores o bien como imitadores.

Determinación de los factores de difusión

El objetivo siguiente es identificar los factores que mayor incidencia tuvieron durante el proceso de difusión de la tecnología para ofrecer GNV. Para ello se aplica un instrumento entre los propietarios de las EDS¹⁴ y expertos conocedores del sector y su evolución. El instrumento se compone de tres preguntas cerradas: *¿Cómo se enteró de la existencia de la tecnología para ofrecer GNV? ¿Qué lo motivó a adquirir la nueva tecnología? y ¿Tiene o ha tenido su empresa alguna relación con entidades pertenecientes al sector?*, preguntas que incorporan entre sus posibles respuestas los factores expuestos en los cuadros 1 y 2, los cuales son valorados en una escala de 1 a 10, según el nivel de influencia que hayan ejercido sobre la respuesta a la pregunta: 1 menor influencia, y 10 mayor influencia, por cada uno de los encuestados.

Cálculo del índice de influencia

Partiendo de las valoraciones realizadas por los encuestados se crea el índice de influencia para el factor; seguidamente se toma el promedio para el conjunto de factores expuestos en la tabla 1. Este índice puede tomar un valor máximo de 1 y un valor mínimo de 0; a mayor valor del índice, mayor influencia genera el factor evaluado sobre el proceso de difusión. Al igual que los modelos propuestos, el índice permitirá clasificar a los adoptantes como innovadores o imitadores cuando se comparan los resultados

¹⁰ En total, son siete observaciones, para estimar tres parámetros, lo cual metodológicamente representa una fuerte limitación para estimar un modelo de regresión.

¹¹ Para no perder observaciones, la primera y última observación toman los datos originales de la serie, y los restantes son remplazados por su respectiva media móvil.

¹² El método utilizado dentro del proceso de estimación de los parámetros es el método de optimización de Levenberg y Marquardt.

¹³ i) errores de muestreo, ii) el impacto de las variables excluidas del modelo, las cuales pueden ser factores fundamentales como las condiciones económicas, las mejoras tecnológicas, la publicidad, los precios, los efectos de la competencia y el mercadeo, y iii) errores de especificación de la función de densidad.

¹⁴ Durante el trabajo de campo no fue posible hablar con algunos de los propietarios, por lo que se optó hablar con los administradores que hubieran participado del proceso de adopción de la tecnología.

promedio obtenidos para cada conjunto de factores. Su medición se hace a través de la siguiente expresión:

$$\text{Índice de influencia} = \frac{\sum Cf_i}{Nf * Ls} \quad [7]$$

donde Cf_i es la calificación asignada al factor i ; Nf representa el número de factores que componen el grupo de factores evaluados y $Ls=10$ representa el límite superior de la escala de valoración.

Resultados, conclusiones y discusiones

Estimación parámetros modelos de difusión de Bass y Mansfield

Los resultados arrojados por ambos modelos presentan estadísticos favorables; los niveles de error estándar para cada parámetro son muy bajos y cada uno es de forma individual estadísticamente aceptado, es decir, se rechaza la hipótesis nula sobre la relevancia de los mismos dentro de cada uno de los modelos con un nivel de probabilidad alto para ambos casos. Sin embargo, el modelo de Bass muestra estadísticos más ajustados y presenta más información que el modelo de Mansfield en relación con la velocidad de difusión ya que vincula tanto factores internos como externos (ver Tabla 1).

A partir de los resultados del modelo de Bass, el proceso de adopción de la tecnología por parte de las EDS está explicado más por factores internos que externos, lo que

implica que las empresas tienen un comportamiento más imitador que innovador; este resultado permite confirmar la hipótesis planteada sobre el comportamiento de las EDS en el Valle de Aburrá frente a la adopción de la tecnología para ofrecer GNV. Adicionalmente, la velocidad de difusión en el modelo de Bass es mayor que en el modelo de Mansfield dado que aquel incorpora en su análisis tanto factores externos como internos, los cuales generan una especie de sinergia que aumenta la velocidad de difusión de la innovación (ver cuadro 3).

Entre los modelos estimados, el modelo de influencia mixta de Bass presenta un mejor ajuste en comparación con el modelo de Mansfield (ver tabla 2)¹⁵. De igual forma, el modelo de Bass presenta el menor error estándar en los parámetros estimados; su nivel de ajuste explica mejor el proceso de difusión de la tecnología para ofrecer GNV en el Valle de Aburrá. Adicionalmente, a cada modelo se le aplicó el test de histograma de normalidad para establecer si los datos presentan una autocorrelación serial, y el test de White para determinar la presencia de heteroscedasticidad. En ambos casos se acepta la hipótesis nula, es decir, los modelos no presentan autocorrelación serial y son homoscedásticos en sus residuos. En la tabla 3 aparecen los resultados obtenidos de cada test.

¹⁵ Su coeficiente de determinación ajustado ($R^2 = 0,9767$) es superior; la raíz del error cuadrático medio $RMSE = 0,1608$ y su error medio absoluto $MAE = 0,1235$ son más bajos.

TABLA 1. Estimación de parámetros.

Resultados modelo de Mansfield					
Parámetro estimado		Coeficiente	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Potenciales adoptantes	\bar{A}	69,13657	1,882977	36,71663	0,0000
Constante de integración	c	0,046012	0,003110	14,79668	0,0007
C. de influencia interna	q	0,010302	0,000630	16,34724	0,0005
Resultados modelo de Bass					
Parámetro estimado		Coeficiente	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Potenciales adoptantes	\bar{A}	66,37919	0,857106	77,44570	0,0000
C. de influencia externa	p	0,028407	0,001573	18,05591	0,0004
C. de influencia interna	q	0,683859	0,019697	34,71972	0,0001

Fuente: cálculos propios.

CUADRO 3. Ecuaciones resultantes de las estimaciones del modelo de Mansfield y el modelo de Bass.

Ecación resultante modelo de Mansfield	Comentarios
$A(t) = \frac{69,1366}{1 + 24,05 * e^{-(69,1366)(0,0103)t}}$	El modelo arroja que el techo que alcanzará la innovación, \bar{A} , es de 69 EDS, la tasa de difusión q a la cual se difunde la tecnología entre empresas del sector es del 0,0103, y el valor de c representa la constante de integración, la cual se puede interpretar como el nivel de adopción inicial; entre más alto sea su valor, menor nivel de adopción inicial representará.
Ecación resultante modelo de Bass	Comentarios
$A(t) = \frac{66,3791 * [1 - e^{-(0,0284+0,6838)t}]}{[1 + (\frac{0,6838}{0,0284}) * e^{-(0,0284+0,6838)t}]}$	El modelo arroja que el techo que alcanzará la innovación es de 66 EDS. El modelo arroja que la mayor parte de los adoptantes fueron influidos por factores internos $q = 0,6838$, mientras que el coeficiente de influencia externa es $p = 0,0284$; al ser $q > p$ el modelo de Bass presenta un comportamiento logístico.

Fuente: cálculos propios.

TABLA 2. Indicadores de ajuste del modelo.

Indicadores	Modelo Mansfield	Modelo de Bass
R-squared	0,930444	0,986078
Adjusted R-squared	0,913055	0,976797
S. E. of regression	0,810505	0,418700
Sum squared resid	2,627677	0,525929
Log likelihood	-6,036653	-1,210586
Durbin-Watson stat	1,383435	3,425718
Root Mean Squared Error	1,038632	0,160845
Mean Absolute Error	0,949897	0,123540
Mean Abs. Percent Error	4,264526	0,750770

Fuente: cálculos propios.

TABLA 3. Comparación estadísticos de ajuste del modelo.

Estadísticos de ajuste	Modelo de Bass	Modelo logístico	Comentarios
Test de histograma de normalidad			
Media	0,0130	-0,2295	Los resultados permiten aceptar la hipótesis nula de que los residuos no presentan una correlación serial o autocorrelación.
Desviación estándar	0,3242	0,6989	
Jarque-Bera	0,1967 (0,9063) ^b	0,6541(0,721044) ^b	
Test de White			
Estadísticos F	1,2855(0,4656) ^c	3,7590 (0,1523) ^c	Acepto la hipótesis nula de homocedasticidad a un nivel de significancia del 0,05.
R2 observado	3,9510 (0,2668) ^d	4,2886 (0,1171) ^d	

^a Con un nivel de significación de 0,05 se obtiene que los residuos del modelo presentan una distribución normal.

^b Probabilidad asociada a Jarque-Bera. ^cValor de tabla de distribución $F_{(3,2)}$. ^dValor de tabla de distribución χ^2 .

Fuente: cálculos propios.

A pesar de que ambos modelos se ajustan de manera satisfactoria, según los datos observados, el modelo de Bass interpreta mucho mejor los cambios que se presentaron en el proceso de adopción de la innovación para el mercado analizado como lo muestra el gráfico 3, donde el modelo interpreta la caída de adopciones que se presentó entre los años 2003 y 2004; la gran explosión en el número de adopciones entre 2006 y 2007¹⁶ y la tendencia bajista que se ha presentado a partir de entonces.

Las proyecciones realizadas por el modelo de Bass sobre nuevas adopciones de la tecnología para ofrecer GNV son bastante ajustadas con la perspectiva de los expertos entrevistados, quienes consideran que el mercado está llegando a su punto de saturación, dado el número de vehículos existentes en el Valle de Aburrá convertidos al sistema GNV y al número de EDS con la tecnología. Asimismo afirman que las nuevas adopciones en los próximos años serán muy reducidas en comparación con años anteriores, pues en dos años han llegado seis nuevas adopciones. Este

resultado puede presentarse en el mercado dado que aún existen algunos permisos entregados por parte de las autoridades competentes con anterioridad y que no se han materializado, lo cual permitiría a las EDS que los posean adoptar la tecnología para ofrecer GNV¹⁷.

Clasificación de los adoptantes según modelo de Bass

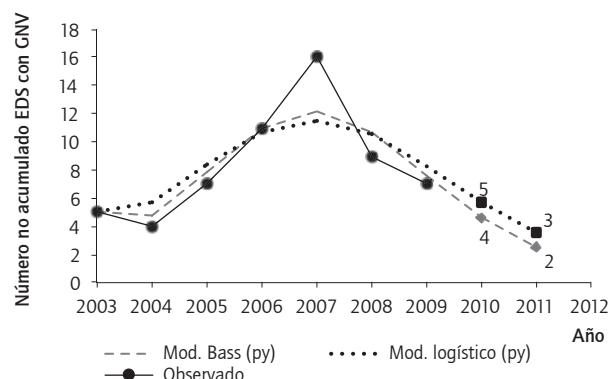
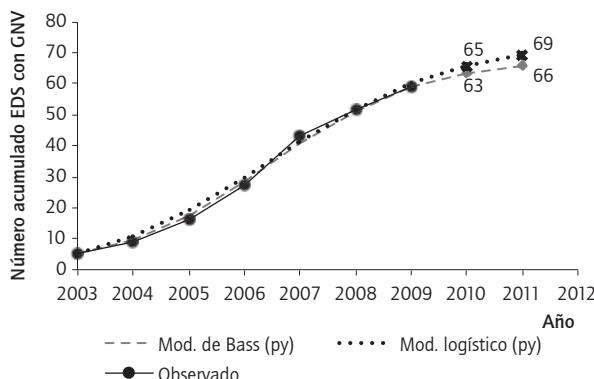
El modelo de Bass permite clasificar a los adoptantes entre innovadores e imitadores, partiendo de la hipótesis de que los innovadores pueden presentarse en cualquier momento del tiempo. La clasificación en pequeños grupos de los adoptantes según el tiempo en el cual decidieron adoptar la tecnología y el origen de la influencia para su adopción se realiza siguiendo a Mahajan *et al.* (1990a).

Cada una de las categorías estimadas por el modelo de Bass es ajustada a los datos observados. Dentro de las categorías, mayoría temprana y tardía, se ubican las EDS que

¹⁶ Esta gran demanda por la tecnología para ofrecer GNV se pudo deber a las expectativas existentes entonces sobre el número de nuevas conversiones dadas por todas las facilidades, ayudas y subsidios ofrecidos por el Gobierno Nacional y las empresas del sector, como EPM, así como también por los altos beneficios que a la fecha habían acumulado las empresas adoptantes de la innovación en años anteriores.

¹⁷ Este hecho puede ser la explicación de la diferencia existente entre las estadísticas ofrecidas por el Ministerio de Minas y Energía sobre el número de EDS con GNV en el Valle de Aburrá, 69 en total, y las realmente identificadas durante el trabajo en campo, 59 en total, de las cuales dos son privadas. Las EDS que cuentan con permisos para ofrecer GNV y que aún no lo han hecho no fueron tomadas en el presente estudio ya que no han adquirido la tecnología.

GRÁFICO 3. Proyección estaciones de servicio con GNV.



Fuente: elaboración propia.

TABLA 4. Clasificación de adoptantes según modelo de Bass EDS con GNV en el Valle de Aburrá.

Categoría de adoptantes	Intervalo de tiempo (años)	Adoptantes	EDS GNV M. Bass	EDS GNV observado
Innovadores.	Inicio	0	2,8%	2
Adoptadores tempranos	Hasta t_1	Hasta 2,62	15,0%	10
Mayoría temprana	t_1 a t^*	2,62 a 4,47	30,1%	20
Mayoría tardía	t^* a t_2	4,47 a 6,32	30,1%	18
Rezagados	t_2 en adelante	6,32 en adelante	22,0%	13

Fuente: cálculo propio. Para identificar las categorías se estimó el punto de inflexión de la función de Bass en $t^* = 4,47$ años donde se alcanzó un máximo nivel de adopción para el período analizado de 31,81 unidades de la innovación.

ingresaron en el mercado entre los años 2006 y 2008, las cuales se vieron estimuladas, entre otros factores, por los buenos resultados arrojados por los adoptantes iniciales. Este grupo de adoptantes generó información suficientemente alentadora como para inducir a algunas otras EDS a decidir adoptar la tecnología para ofrecer GNV; clasificados como rezagados, este nuevo grupo de adoptantes ingresa en el mercado entre el año 2008 y 2009, pero no obtiene los resultados esperados en comparación con los de sus antecesores, con lo que genera una nueva información respecto a la adopción de la tecnología, esta vez menos alentadora. El ciclo continúa hasta el punto de que adquirir la tecnología no sea rentable, y ninguna EDS desee ingresar en el mercado de GNV (ver tabla 4).

En general, según el modelo de Bass, la proporción de adoptantes influidos por factores externos durante el período de análisis es del 13,38%, y el restante 86,62% es influido por factores internos. Es decir, de las 57 EDS identificadas, 8 son clasificadas como innovadoras y 51 EDS como imitadores¹⁸. Estos resultados permiten aceptar la hipótesis sobre la cual se basó la investigación donde se

planteaba que la difusión tecnológica proviene más de factores internos que externos, y que la gran mayoría de los adoptantes de la tecnología para ofrecer GNV en las EDS del Valle de Aburrá actúan como imitadores, ya que su proceso de adopción estuvo basado principalmente en los buenos resultados de los adoptantes iniciales. Estos resultados también se pueden evidenciar en la información arrojada por la aplicación de la encuesta.

Identificación de los factores de la difusión tecnológica y el índice de influencia

Para la aplicación de la encuesta se toma una muestra a partir de las 59 EDS con GNV identificadas en el Valle de Aburrá, de las cuales 31 pertenecen a la compañía Gazel, 5 de la marca Punto Amarillo, a la compañía Districom, y 2 fueron creadas por la empresa Bristol; los demás propietarios poseen solo una EDS con GNV, lo cual deja un número de posibles encuestados de 24 propietarios. Considerando un nivel de confianza del 95%, un porcentaje de error del 10% y máxima variabilidad por no existir antecedentes sobre la investigación y no aplicar una prueba previa, se determina como muestra 19 propietarios de EDS, los cuales fueron seleccionados de forma aleatoria.

De las personas que respondieron la encuesta, el 40% son propietarios, 8 en total; un 30% son administradores, 6 en

¹⁸ La ecuación que representa el número total de adoptantes influidos por factores externos durante el período de análisis es

$$A_e(t) = \bar{A} \frac{p}{q} \ln \left[\frac{1 + \frac{q}{p}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)t}} \right]$$

total, y los restantes son expertos conocedores del negocio, 5 expertos en total¹⁹. Los resultados arrojados por la encuesta muestran que el acercamiento a la tecnología y al conocimiento de sus características se dio más por factores internos que por factores externos, lo que significa que muchos de los adoptantes se clasifican más como imitadores o seguidores, que innovadores, al esperar que las innovaciones hayan sido adoptadas y probadas por otros agentes antes de tomar la decisión de adopción.

Con relación a la pregunta *¿Cómo se enteró de la existencia de la tecnología para ofrecer GNV?* se busca determinar cómo los actuales adoptantes se enteraron de la existencia de la tecnología para ofrecer GNV e identificar los factores que mayor influencia tuvieron en la difusión de la tecnología. Cerca de 11 encuestados respondieron que a través de un amigo o alguna persona conocida y por la presencia de empresas en la ciudad que usan la tecnología, y en una menor medida, por las visitas de un vendedor especializado, por la existencia de ferias, exposiciones y eventos o debido a una relación con una empresa perteneciente al sector.

Los medios de comunicación, las conferencias y seminarios no generaron influencia alguna en la difusión de los equipos y maquinarias necesarios para ofrecer GNV, situación que se presenta debido a lo reducido del mercado y por no ser un producto que se pretenda vender en mercados masivos. La movilidad de personal, especialmente administradores y gerentes que contribuyeran con la difusión de la tecnología, no generó influencia alguna debido, por una parte, a la importante inversión que se requiere para adoptar la tecnología, y por otra parte, a que instalar un nuevo oferente en el mercado hace que sea difícil que un empleado se retire de su empleo para adelantar un proyecto de esta envergadura (ver gráfico 4).

La segunda pregunta, *¿Qué lo motivó a adquirir la nueva tecnología?*, tiene por objetivo identificar los factores que determinaron la adquisición de la tecnología; cerca de 16 de los encuestados respondieron que los motivó la rentabilidad conocida del negocio y la necesidad de diversificar la oferta e incursionar en un nuevo mercado; cerca de 11 encuestados resaltan atributos como el cambio en el comportamiento del consumo de los clientes de gasolina a GNV, el precio del producto y sus atributos. Estas situaciones se evidenciaron entre los años 2004 y 2007 cuando existía una serie de facilidades ofrecidas por el gremio, el Gobierno y el oferente del producto (ver gráfico 5).

¹⁹ La distribución de la muestra se da de esta manera debido a que algunos de los propietarios de EDS no fueron posibles de localizar en el tiempo estipulado para realizar el trabajo de campo y otros no estuvieron interesados en participar del estudio.

Finalmente, la tercera pregunta, *¿Tiene o ha tenido su empresa alguna relación con entidades pertenecientes al sector?*, permite identificar las entidades que sirven como agentes difusores de las nuevas tecnologías e innovaciones, donde desempeño un papel fundamental dentro del proceso de difusión el proveedor del combustible EPM, debido a sus actividades para impulsar el uso masificado del GNV como alternativa de combustible más económica y amigable con el medio ambiente que la gasolina.

En menor medida ejercieron algún tipo de influencia las universidades y los centros de investigación y ensambladoras de autos; estas últimas, debido a que el número de autos que se venden con motores adecuados para el uso del GNV en el mercado local es muy reducido, y la mayoría de los autos se ajustan a través de conversiones en talleres especializados; las publicaciones especializadas y las cámaras de comercio también representan un papel apenas marginal dentro del proceso de difusión de la tecnología (ver gráfico 6).

Cálculo del índice de influencia

Valora los diferentes factores que se agrupan según su procedencia externa o interna con respecto al sistema analizado. Los resultados generales son el promedio de los índices de influencia de cada uno de los encuestados: el 71,43% se vio influido por factores internos con un índice de influencia de 0,3929, mientras que el restante 28,57% se vio influido por factores externos con un índice de influencia de 0,2448. Estos resultados no solo respaldan los arrojados por el modelo de Bass, sino que también son un complemento al permitir identificar los principales factores que influyeron en el proceso de adopción de la tecnología para ofrecer GNV en las EDS del Valle de Aburrá, y confirmar las hipótesis planteadas por el estudio.

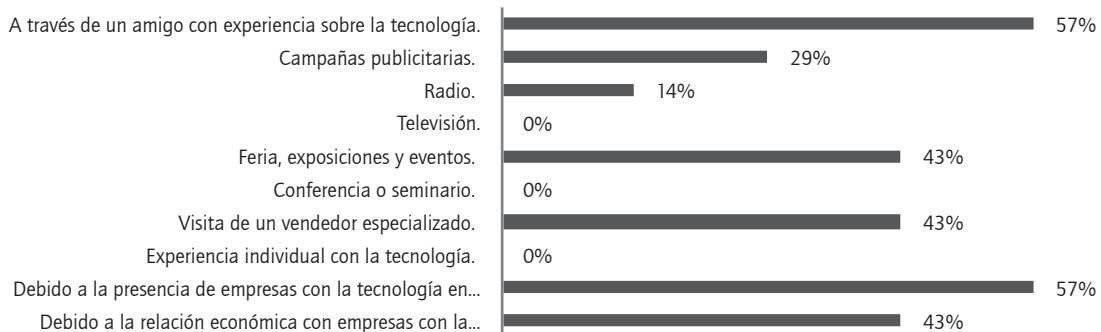
Si bien el conjunto de factores externos es mucho más amplio, no genera tanto impacto en la difusión tecnológica, debido, en parte, a las características de la tecnología y a los riesgos asociados a su adopción que no son reducidos por estos factores, mientras que los factores internos garantizan la existencia de adoptantes iniciales que ya han probado la tecnología y han demostrado su desempeño y rentabilidad; ello reduce los niveles de riesgo e incertidumbre asociados a la adopción, y genera así mayor confianza entre los potenciales adoptantes (ver gráfico 7).

Limitaciones y futuras líneas de investigación

Los procesos de difusión tecnológica en un sector industrial o económico están supeditados por las características propias de la tecnología y del mercado en el cual se pretenda incursionar; su éxito o fracaso no solo dependerá

GRÁFICO 4. Medios de difusión tecnológica.

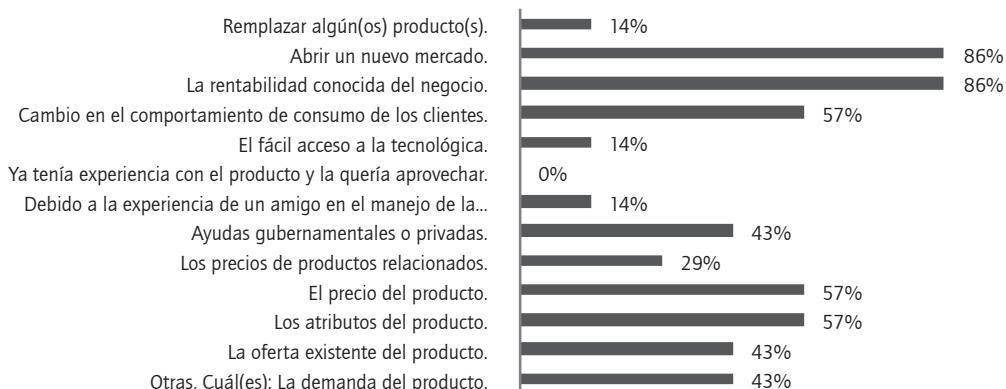
P1: ¿Cómo se enteró de la existencia de la tecnología para ofrecer GNV?



Fuente: elaboración propia.

GRÁFICO 5. Motivaciones para adquirir una nueva tecnología o innovación.

P2: ¿Qué lo motivó a adquirir la nueva tecnología?



Fuente: elaboración propia.

GRÁFICO 6. Relación con actores de la difusión tecnológica.

P3: ¿Tiene la empresa, o tuvo, alguna relación con alguna(s) de las siguientes entidades durante el proceso de adopción de la tecnología?



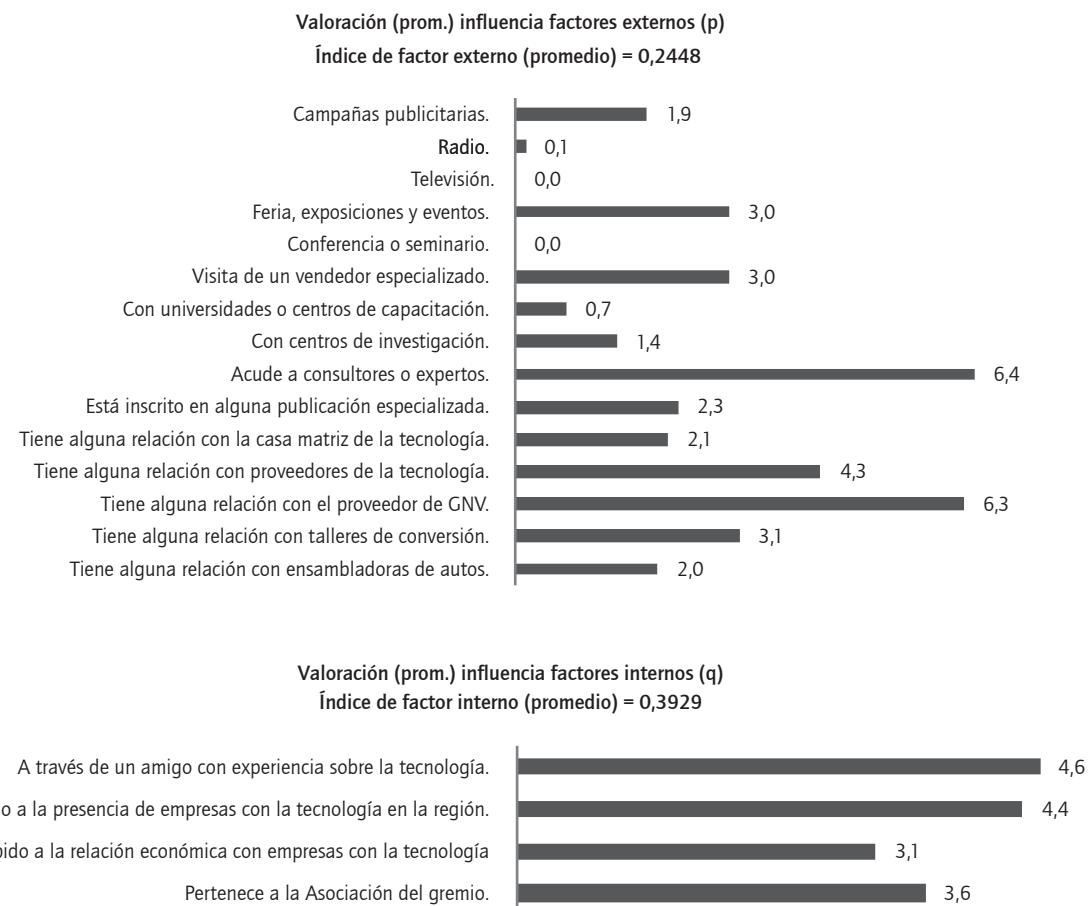
Fuente: elaboración propia.

del comportamiento de los potenciales adoptantes frente al riesgo y la incertidumbre, sino también de la presencia de factores que soporten a la nueva tecnología como

expertos, asesores, consultores y cadenas productivas consolidadas que garanticen el uso efectivo de la tecnología, facilitando su proceso de difusión.

Gestión de operaciones y tecnología

GRÁFICO 7. Valoración de la influencia de factores externos e internos de la difusión.



Fuente: elaboración propia.

Garantizar la presencia de, al menos, una empresa innovadora es parte fundamental del proceso de difusión de una tecnología debido a que la mayoría de las empresas muestran un comportamiento de seguidores o imitadores. Es por esto que instituciones públicas, centros de investigación, universidades y agremiaciones deben aunar esfuerzos para generar el respaldo y la confianza suficiente a las empresas innovadoras para que estas decidan adoptar las nuevas tecnologías e iniciar el proceso de difusión en sus respectivos sectores productivos, garantizando en el mediano y largo plazo el crecimiento de la competitividad del sector.

La mayor o menor velocidad de difusión dependerá de las características de la innovación y de la capacidad de adaptación con la que cuenten las empresas para incorporar la nueva tecnología a su proceso productivo. Cuando las tecnologías requieren altas inversiones y están dirigidas a mercados estrechos, factores como la presencia de expertos, proveedores de la tecnología, empresas con la tecnología y vendedores especializados desempeñan un papel fundamental.

Debido a que este fue un trabajo con un alto nivel de experimentación, el número de encuestas logradas y las observaciones utilizadas para la estimación de los modelos presentan limitaciones a la hora de realizar generalizaciones sobre los procesos de difusión tecnológica. Sin embargo, se considera que los resultados encontrados representan satisfactoriamente el proceso de difusión de la tecnología para ofrecer GNV que se presentó en el Valle de Aburrá entre las ESD, y sirven como base para el análisis de sectores industriales con características y tecnologías similares.

Las futuras líneas de investigación en esta área de estudio pueden estar encaminadas a tratar de explicar la difusión de una innovación en relación con otras innovaciones (Norton y Bass, 1987), adoptantes heterogéneos (Chatterjee y Eliashberg, 1990), cambios en el mercado objetivo, modelos dinámicos (Bass, 1963), aplicación de modelos que incluyan otros parámetros como los gastos en publicidad, el precio del producto y el precio de productos relacionados (Antón, 1996), las preferencias del consumidor (Midgley,

1976), la percepción de los potenciales adoptantes sobre la innovación, la importancia de las externalidades en red sobre el proceso de difusión, la resistencia a la adopción (Goldenberg y Oreg, 2007), todo lo cual permitirá hacer una caracterización más profunda sobre la difusión de las innovaciones en los mercados.

Referencias bibliográficas

- Alcón P., F. J., De Miguel Gómez, Ma. D. y Fernández-Zamudio, Ma. A. (2006). Modelización de la difusión de la tecnología de riego localizado en el campo de Cartagena. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 210, 227-245.
- Antón, M. C. (1996). Modelos de difusión tecnológica una revisión. *Anales de Estudios Económicos y Empresariales*, 11, 35-64.
- Arrow, K. (1962). The Economic Implications of Learning by Doing. *Review of Economic Studies*, 29(3), 155-173.
- Bass, F. M. (1963). *A Dynamic Model of Market Share and Sales Behavior*. Frank M. Bass, *Proceedings*. Winter Conference American Marketing Association, Chicago, IL, (Bass Model section), 263-276.
- Bass, F. M. (1969). A new product growth model for consumer durables. *Management Science*, 15(1), 215-227.
- Chatterjee, R., & Eliashberg, J. (1990). The Innovation Diffusion Process in a Heterogeneous Population: A Micromodeling Approach. *Management Science*, 36(9), 1057-1079.
- Chu, W.-L., Wu, F.-S., Kao, K.-S., & Yen, D. C. (2009). Diffusion of Mobile telephony: An empirical Study in Taiwan. *Telecommunications Policy*, 33, 506-520.
- Crespo, J., Martín, C., & Velázquez, F. J. (2003). *Multinationals and Diffusion of Technology between Developed Countries*. Documento de Trabajo del Grupo de Economía Europea, 26.
- Crespo, J., & Velázquez, F. J. (2006). Externalidades tecnológicas de la inversión extranjera directa. Medición y efectos. Los intangibles de la internacionalización empresarial. *Revista Comercial española*, 380, 55-70.
- Crespo, J., Martín, C., & Velázquez, F. J. (Marzo-Abril, 2004). Difusión tecnológica e inversión extranjera directa: el caso de la OCDE. *Economía Internacional: Nuevas Aportaciones*, 874, 55-62.
- Fourt, L. A., & Woodlock, J. W. (1960). Early Prediction of Market Success for New Grocery Products. *Journal of Marketing*, 25, 31-38.
- Gatignon, H., Eliashberg, J., & Robertson, T. S. (1989). Modeling Multinational Diffusion Patterns: An Efficient Methodology. *Marketing Science*, 8(3), 231-247.
- Goldenberg, J., & Oreg, S. (2007). Laggards in disguise: Resistance to adopt and the leapfrogging effect. *Technological Forecasting & Social Change*, 74, 1272-1281.
- Heijs, J. (2004). *El papel de las empresas extranjeras en el desarrollo tecnológico de España*. Documento de trabajo. Instituto de Análisis Industrial y Financiero, 47, 40.
- Heijs, J. (Mayo-Junio, 2006). El papel de las empresas extranjeras en el desarrollo tecnológico de las economías nacionales. Los intangibles de la internacionalización empresarial. *Revista de Información comercial española*, 380, 31-53.
- Hula, D. G. (1993). Firm-Strategic Behavior with Industry-Demand Externalities. *Managerial and Decision Economics*, 14(6), 555-562.
- Hsiao, J. P., Jawb, C., & Huan, T.-C. (2009). Information diffusion and new product consumption: A bass model application to tourism facility management. *Journal of Business Research*, 62, 690-697.
- Islam, T., & Meade, N. (2006). Modelling and Forecasting the Diffusion of Innovation -A 25-Year Review. *International Journal of Forecasting*, 22, 519-545.
- Jaramillo, H., Lugones, G. y Salazar, M. (2001). *Normalización de indicadores de innovación tecnológica en América Latina y el Caribe. Manual de Bogotá*. RICYT / OEA / CYTED, Colciencias/ OCYT, 102.
- Kale, S., & Ardit, D. (2006). Diffusion of ISO 9000 Certification in the Precast Concrete Industry. *Construction Management and Economic*, 24, 485-495.
- Karshenas, M., & Stoneman, P. L. (1993). Rank, Stock, Order, and Epidemic Effects in the Diffusion of New Process Technologies: An Empirical Model. *The RAND Journal of Economics*, 24(4), 503-528.
- Lekvall, P. & Wahlbin, C. (1973). A Study of Some Assumptions Underlying Innovation Diffusion Functions. *The Swedish Journal of Economics*, 75(4), 362-377.
- López, S. J. y Arroyo, B. J. (2005). *Modelos matemáticos de la difusión tecnológica*. IX Congreso de Ingeniería de Organización, Gijón, 8 y 9 de septiembre, España.
- Mahajan, V., & Muller, E. (1979). Innovation diffusion and new product growth models in marketing. *Journal of Marketing*, 43(4), 55-68.
- Mahajan, V., & Peterson, R. (1978). Innovation diffusion in a dynamic potential adopter population. *Marketing Science*, 24(15), 1589-1597.
- Mahajan, V., & Peterson, R. (1985). *Models of Innovation Diffusion*. Beverly Hills, CA: Sage Publications.
- Mahajan, V., & Yoram Wind, J. (1985). Innovation Diffusion Models of New Product Acceptance: A Reexamination. *Working Papers*, 85-038, 26.
- Mahajan, V., Muller, E., & Bass, F. M. (1990). New product diffusion models in marketing: A review and directions for research. *Journal of Marketing*, 54(1), 1-26.
- Mahajan, V., Muller, E., & Bass, F. M. (1995). Diffusion of New Products: Empirical Generalizations and Managerial Uses. *Marketing Science*, 14(3), Part 2 of 2: Special Issue on Empirical Generalizations in Marketing, G79-G88.
- Mahajan, V., Muller, E., & Kerin, R. A. (1984). Introduction Strategy for New Products with Positive and Negative Word-of-Mouth. *Management Science*, 30(12), 1389-1404.
- Mahajan, V., Muller, E., & Srivastava, R. K. (1990a). Determination of Adopter Categories by Using Innovation Diffusion Models. *Journal of Marketing Research*, 27(1), 37-50.
- Mahajan, V., Sharma, S., & Buzzell, R. D. (1993). Assessing the Impact of Competitive Entry on Market Expansion and Incumbent Sales. *The Journal of Marketing*, 57(3), 39-52.
- Malaver, F. y Vargas, M. (2004). El comportamiento innovador en la industria colombiana: una exploración de sus recientes cambios. *Cuadernos de Administración*, 17(27), 33-61.
- Mansfield, E. (1961). Technical change and the rate of imitation. *Econometrica*, 29, 741-766.
- Michalakelis, C., Varoutas, D., & Spicopoulos, T. (2010). Innovation diffusion with generation substitution effects. *Technological Forecasting & Social Change*, 77, 541-557.
- Midgley, D. F. (1976). A Simple Mathematical Theory of Innovative Behavior. *The Journal of Consumer Research*, 3(1), 31-41.
- Norton, J. A., & Bass, F. M. (1987). A Diffusion Theory Model of Adoption and Substitution for Successive Generations of High-Technology Products. *Management Science*, 33(9), 1069-1086.

- Olshavsky, R. W. (1980). Time and the Rate of Adoption of Innovations. *The Journal of Consumer Research*, 6(4), 425-428.
- 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*, 27(2), 91-106.
- Rao, U. K., & Kishore, V. V. N. (2010). A review of Technology Diffusion Models with Special Reference to Renewable Energy Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 1070-1078.
- Romer, P. (1986). Increasing Returns and Long-Run Growth. *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002-1037.
- Roger, E. M. (1983). Diffusion of Innovations (3rd. ed.). New York: The Free Press.
- Satoh, D. (2001). A Discrete Bass Model and Its Parameters Estimation. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 44(1), 1-18.
- Schmittlein, C. D., & Mahajan, V. (1982). Maximum Likelihood Estimation for an Innovation Diffusion Model of New Product Acceptance. *Marketing Science*, 1(1), 57-78.
- Sheshinski, E. (1967). Optimal Accumulation with Learning by Doing. En Shell, K. (Ed.). *Essays on the Theory of Optimal Economic Growth* (pp. 31-52). Cambridge, MA: MIT Press.
- Srinivasan, V., & Mason, H. C. (1986). Nonlinear Least Squares Estimation of New Product Diffusion Models. *Marketing Science*, 5(2), 169-178.
- Tsai, Bi-h., Li, Y., & Lee, G.-H. (2010). Forecasting Global Adoption of Cristal Display Televisions with Modified Product Diffusion Model. *Computers & Industrial Engineering*, 58, 553-562.
- Van Pottelsberghe, B., & Lichtenberg, F. (2001). Does Foreign Direct Investment Transfer Technology across Borders? *The Review of Economics and Statistics*, 83(3), 490-497.
- Venkatraman, N., Loh, L., & Koh, J. (1994). The Adoption of Corporate Governance Mechanisms: A Test of Competing Diffusion Models. *Management Science*, 40(4), 496-507.