

Difusión de Innovaciones Hospitalarias

*CARMONA MARTÍNEZ, M^a DE LAS M. y **GÓMEZ GARCÍA, J.

**Departamento de Administración y Dirección de Empresas. Universidad Católica San Antonio (Murcia). **Facultad de Economía y Empresa. Universidad de Murcia.*

*Campus de Los Jerónimos, s/n. 30002 Guadalupe, Murcia. España. Tlf: 968 27 88 87. E-mail: mcarmona@ucam.edu

RESUMEN

La aplicación de los modelos de difusión de innovaciones se ha limitado tradicionalmente a las áreas de marketing, economía de la empresa y economía industrial, pero, sin duda, este enfoque puede ser también útil en otros contextos, y este artículo aborda, desde esta perspectiva, la difusión de un Sistema Telemático Hospitalario, formado por cinco módulos, en dos hospitales.

La estimación y el análisis de los modelos correspondientes nos permite conocer las características propias del proceso: en primer lugar, el centro hospitalario que introduce la innovación más tarde tiene una mayor velocidad de difusión, pues puede reducir su incertidumbre al conocer los resultados obtenidos por el otro centro. Y en segundo lugar, las difusiones de cada uno de los módulos que forman parte del Sistema Telemático Hospitalario no son procesos independientes entre sí, sino que presentan un importante grado de complementariedad y sinergia.

El conocimiento del modo en que tienen lugar los procesos de difusión de innovaciones en los centros hospitalarios puede facilitar la gestión de los mismos, con el fin de reducir los costes de sus actividades y aumentar su eficiencia.

Palabras clave: Modelos de difusión de innovaciones, sistema telemático hospitalario.

ABSTRACT

Innovation Diffusion models have been traditionally applied to marketing, business economy and industry economy, but, without any doubt, this viewpoint can also be very useful in other contexts. In this article, the diffusion of a Telematic System, made up of five component parts, and applied at two hospitals is studied from this perspective.

Models estimation and analysis allow us to identify the most important characteristics of this process: firstly, the hospital that introduces the innovation later presents a higher diffusion speed, because it can decrease its uncertainty by knowing the other hospital's outcomes. Secondly, all the diffusions of every component part of the Telematic System are not independent, but show a high synergy and complementarity degree.

The knowledge of the way that diffusion process take place in hospitals can improve management effectiveness and decision-taking, with the eventual aim of diminishing costs and increasing efficiency.

Key words: Innovation diffusion models, hospitals telematic system.

Código UNESCO: 530602.

Artículo recibido el 5 de mayo de 2002. Aceptado el 16 de diciembre de 2002.

1. INTRODUCCIÓN

Los llamados modelos de difusión son modelos matemáticos que tienen por objeto describir “el proceso a través del cual una innovación se va difundiendo en el seno de un sistema social”, Rogers (1995 pp. 10). Así, el estudio matemático de este fenómeno se basa en la construcción y el análisis de funciones que representan el grado de penetración de un cierto producto o proceso en el sistema, a lo largo del tiempo. En general, los modelos de difusión tienen tres propósitos. En primer lugar, tienen una finalidad descriptiva y explicativa, puesto que permiten representar el proceso analizado y dan una idea de sus características más sobresalientes. En segundo lugar, tienen una finalidad predictiva, pues a través de un adecuado análisis de los datos de las etapas iniciales del proceso es posible conocer ciertas características del mismo, y proyectarlas en un tiempo futuro. Por último, también sirven como instrumentos de control, pues mediante ciertas variables es posible influir sobre la trayectoria del proceso de difusión.

El análisis que nos ocupa se enmarca dentro de la llamada difusión intraempresarial pues, una vez que el agente (la organización) ha adoptado la tecnología correspondiente por primera vez, aún ha de decidir a qué tasa transferirá su actividad de la antigua a la nueva tecnología. Este proceso puede ser descrito como una curva en forma de S: al principio, tan solo una pequeña proporción de la actividad total es llevada a cabo con la nueva tecnología. Conforme pasa el tiempo, su uso se extiende a una tasa creciente hasta llegar a un punto a partir del cual la tasa es decreciente y la proporción de la actividad desarrollada se aproxima a una asíntota que suele ser el 100%.

Los modelos de difusión de innovaciones han sido aplicados tradicionalmente en las áreas de marketing, economía de la empresa y economía industrial, pero su interés puede ir más allá de estas disciplinas puramente económicas. De hecho, su aplicación puede ser de gran ayuda, por ejemplo, en la gestión de instituciones sanitarias y en la implementación de programas y estrategias destinadas a reducir los costes hospitalarios y a optimizar los recursos destinados a este sector.

Así, el objetivo de este trabajo es estudiar, desde la perspectiva de estos modelos, la difusión de un cierto Servicio Telemático Hospitalario en dos hospitales diferentes, analizando las características del proceso en cada uno de ellos, sus factores determinantes, y los elementos que pueden acelerar, frenar o incluso impedir su desarrollo. Este artículo está organizado del siguiente modo: la sección 2 explica la estructura analítica de los modelos de difusión más importantes, así como de ciertas extensiones y ampliaciones de los mismos relevantes para el caso que nos ocupa. En la sección 3 se describen brevemente los datos con los cuales se van a estimar dichos modelos (datos sobre la difusión de un Sistema Telemático Hospitalario en dos hospitales). En la sección 4 se lleva a cabo la aplicación empírica, analizando la validez de los modelos estimados y las consecuencias que se pue-

den derivar de los resultados obtenidos. Y, por último, en la sección 5 se establecen las conclusiones de este trabajo, planteando también sus limitaciones y posibles líneas futuras de investigación.

2. LOS MODELOS DE DIFUSIÓN

Supongamos un cierto sistema social o económico en el cual una innovación se está difundiendo. Si tratamos de describir este proceso mediante una función que represente la evolución del sistema, considerando que éste se mueve hacia un nivel de equilibrio de largo plazo M , y que el cambio que tiene lugar en cada intervalo de tiempo es una determinada proporción $g(t)$ de la diferencia entre el equilibrio de largo plazo y el nivel actual $N(t)$, se puede plantear una ecuación genérica de los modelos matemáticos de difusión:

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = g(t) \cdot [M - N(t)] \quad (1)$$

donde $n(t)$ es el grado de penetración de la innovación en cada periodo t . La elección de una u otra forma funcional para $g(t)$ determinará una u otra curva de difusión; y ésta, a su vez, tendrá un mejor ajuste a los datos empíricos dependiendo del tipo de producto del que se trate y de la estructura del mercado en el que tenga lugar el proceso.

Algunos de los modelos agregados más importantes y representativos dentro de la Teoría de Difusión son los que se indican a continuación:

1. *MODELO: Logístico o de Influencia Interna* (Mansfield (1961), Griliches (1957)), que procede de la teoría epidemiológica del contagio y asume que el proceso de difusión está impulsado por la interacción entre los diferentes agentes del sistema, que se imitan en el uso de la innovación en cuanto conocen la existencia de la misma; de este modo, se pasa de modelizar la difusión de una innovación a modelizar la difusión de información. Sus funciones de adopción y de difusión se pueden expresar, respectivamente, como:

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = b \cdot N(t) \cdot [M - N(t)] ; b > 0, \text{ constante} \quad (2)$$

$$N(t) = \frac{M}{1 + e^{-(a+bt)}} ; b > 0; b, a \text{ constantes} \quad (3)$$

La función (3) tiene su punto de inflexión en el 50% de penetración ($N(t^*)/M = 0.5$), que se alcanza en $t^* = a/b$. En este punto, la tasa de adopción $n(t)$ alcanza su máximo valor. Además, en la función logística, la pendiente (velocidad de difusión) es directamente proporcional al parámetro b . Y, por su parte, el parámetro a varía en el mismo sentido que el nivel inicial del que parte el proceso, $N(t_0)$.

La principal crítica realizada a este modelo en el contexto de difusión intraempresarial es que no tiene sentido modelizar la difusión de información en el interior de un sistema (empresas, centro sanitario,...) si éste posee algún tipo de mecanismo de información interno que hace que cualquier dato recibido se propague inmediatamente a toda la organización.

2. MODELO: *Exponencial o de Influencia Externa* (Fourt y Woodlock (1960)), que asume que el proceso de difusión está impulsado por factores externos al sistema analizado. Este modelo está definido por las siguientes funciones de adopción y de difusión:

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = b \cdot [M - N(t)] ; b > 0; \quad (4)$$

$$N(t) = M - \frac{1}{e^{a+bt}} ; b > 0; a, b \text{ constantes.} \quad (5)$$

Se puede comprobar que, en este caso, los incrementos que se producen en el grado de penetración del producto al pasar de un periodo al siguiente son cada vez menores, y son proporcionales a la distancia que queda para alcanzar el “techo de adopción” (generalmente, 100%).

En el modelo exponencial un mayor valor de b implica una mayor velocidad de difusión; y un mayor valor de a , en valor absoluto, implica un menor nivel inicial $N(t_0)$ del que parte el proceso.

3. MODELO: *de Gompertz* (Hendry (1972), Dixon (1980)), cuyas funciones de adopción y difusión son:

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = b \cdot \frac{N(t)}{M} [\ln M - \ln N(t)] , b > 0; \quad (6)$$

$$N(t) = M \cdot \alpha^{-\exp(bt)} , b, \alpha > 0; \quad (7)$$

que, siguiendo a Young (1993) podemos linealizar como:

$$\ln(-\ln(N(t))) = a + bt ; b, a > 0; a = \ln(\ln \alpha) \quad (8)$$

El punto de inflexión de la curva de difusión de este modelo tiene lugar cuando la innovación considerada ha alcanzado un nivel de penetración del 36'79% de los adoptantes potenciales ($(N(t^*)/M = 0'367879)$). Es decir, al igual que en el caso del modelo logístico, tenemos nuevamente una curva en forma de S, pero ahora asimétrica porque la tasa máxima de difusión se produce antes de que el producto haya alcanzado la mitad de su nivel de implantación final.

En esta función, un mayor valor de a supone que el proceso parte de un menor nivel inicial $N(t_0)$; y un mayor valor de b implica una mayor velocidad de difusión y también un mayor valor de $N(t)$ a lo largo de todo el ciclo considerado.

4. MODELO: *de Bass* (Bass (1969)), que sirvió como referencia para los estudios posteriores sobre difusión, y contiene como casos particulares al modelo logístico (que representaría lo que Bass llamó el efecto imitación) y el modelo exponencial (que supondría el llamado efecto innovación). Sus funciones de adopción y de difusión son, respectivamente¹:

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = [p + q \cdot N(t)][M - N(t)] ; p, q > 0 ; p, q \text{ constantes} \quad (9)$$

$$N(t) = \left[\frac{q - p \cdot e^{-(t+k)(p+q)}}{q(1 + e^{-(t+k)(p+q)})} \right] ; p, q > 0 ; p, q, k \text{ constantes} \quad (10)$$

La función de adopción se puede plantear según la transformación propuesta por Mahajan y Schoeman (1977):

$$N(t) = a + b N(t-1) + c N(t-1)^2 ; \text{ con } a = p \cdot M, c = -q \text{ y } b = 1 - p + q \cdot M \quad (11)$$

Pese a que los modelos descritos presentan ciertas ventajas importantes, como es una sencilla interpretación, un fácil tratamiento matemático, y un buen ajuste a la mayoría de los datos empíricos, se basan en ciertos supuestos e hipótesis subyacentes excesivamente rígidas. Por ello, se han desarrollado posteriormente nuevos trabajos que amplían y desarrollan la Teoría de Difusión, con el fin de lograr modelos y funciones más realistas, menos restrictivas, y que permitan obtener un conocimiento más profundo del fenómeno de difusión de innovaciones, así como unos fundamentos más sólidos sobre los que basar las recomendaciones y decisiones de administradores y gestores.

En el contexto en el que los vamos a aplicar, desaparecen dos de las limitaciones más importantes que se pueden plantear: la dificultad de estimar el mercado potencial o “techo de adopción”, y la posibilidad de “compras repetidas”. En el caso de una innovación de proceso de carácter intraempresarial, como son las que nos ocupan, el llamado “techo de adopción” sería el 100%, pues la totalidad de las actividades han de ser finalmente realizadas mediante el nuevo proceso; y, una vez que se ha realizado este “cambio” a la nueva tecnología, no hay posibilidad de realizarlo otra vez (lo cual sería considerado como “compra repetida”).

Sin embargo, sí tienen gran relevancia algunos otros aspectos propuestos. En primer lugar, cabe señalar la incorporación de diversas variables que pueden afectar a los parámetros de los modelos, haciendo que estos no sean constantes. En el caso de la difusión interempresarial se trata de variables de marketing controladas por la empresa (precio,

1. Nótese que si $q=0$ obtenemos la distribución exponencial, y si $p=0$ la distribución logística.

gasto en publicidad,...) ; y en el contexto de un centro hospitalario podrían considerarse otras variables como el gasto en equipos informáticos, el gasto en equipos electrónicos, el número de empleados cualificados para la utilización de las nuevas tecnologías, la formación recibida por el personal para lograr un adecuado manejo de dichas tecnologías,...

Entonces, la forma más general de introducir estas variables, $X(t)$, en los modelos descritos sería a través de una cierta función de las mismas, de modo que tendríamos:

1. MODELO LOGÍSTICO:

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = d \cdot B(t) \cdot N(t) \cdot [M - N(t)] ; d > 0, \text{ constante} \quad (12)$$

$$N(t) = \frac{M}{1 + e^{-(a + d \cdot B(t))}} ; d > 0; a, d \text{ constantes} \quad (13)$$

2. MODELO EXPONENCIAL:

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = d \cdot B(t) \cdot [M - N(t)] ; d > 0, \text{ constante} \quad (14)$$

$$N(t) = M - \frac{1}{e^{a + d \cdot B(t)}} ; d > 0; a, d \text{ constantes.} \quad (15)$$

3. MODELO DE GOMPERTZ:

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = d \cdot B(t) \cdot \frac{N(t)}{M} [LnM - LnN(t)] , d > 0, \text{ constante} \quad (16)$$

$$N(t) = M \cdot \alpha^{-\exp(d \cdot B(t))} , d, a > 0; \quad (17)$$

4. MODELO DE BASS:

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = [P(t) + Q(t) \cdot N(t)] [M - N(t)] \quad (18)$$

Moe et al. (1998) utiliza en este caso una función:

$$B(t) = \sum e^{\beta \cdot X(t)} \quad (19)$$

siendo β el vector de parámetros de respuesta, y $X(t)$ las variables introducidas. Pero, en general, se podría utilizar para $B(t)$, $P(t)$ y $Q(t)$ cualquier función no decreciente de las variables $X(t)$.

Otro tipo de extensión y ampliación de los modelos “tradicionales” que podría tener interés en nuestro estudio es la de los modelos que buscan una cierta fundamentación microeconómica, reflejando así el comportamiento óptimo y racional que están llevando a cabo los agentes del sistema. Según este punto de vista, en la velocidad de difusión de una innovación dentro de un cierto sistema influirían factores como la información disponible acerca del nuevo producto o proceso, su facilidad de uso, la incertidumbre de sus resultados, el riesgo que conlleve su utilización,...

Chatterjee et al (1990) plantea un modelo general de difusión que incorpora la cantidad de información relevante disponible, y cuyas funciones de adopción y de difusión son:

$$n(t) = M \cdot \varphi_2 \cdot i(t) \cdot f_g \quad (20)$$

$$N(t) = M \cdot [\varphi_1 + \varphi_2 \cdot F_g] \quad (21)$$

donde $i(t)$ es la cantidad de información que hay en el sistema en el momento t , y f_g y F_g son sus funciones de densidad y de distribución acumulada, respectivamente.

Pero, en general, se podrían formular modelos con una estructura similar a las especificadas en el caso anterior (ecuaciones (12) a (18)).

El principal problema de estos modelos con fundamentos microeconómicos es que requieren una gran cantidad de datos para su estimación, no solo de variables fácilmente medibles (gasto o número de empleados), sino también de otras que son no observables (nivel de información, grado de aprendizaje, riesgo, facilidad de uso, utilidad obtenida,...).

Por último, también es importante considerar los modelos que contemplan interrelaciones entre los distintos elementos del sistema y cómo pueden afectar al proceso de difusión estudiado. En el contexto de la difusión intraempresarial, tiene especial interés el análisis de la sustitución generacional de productos/procesos, teniendo en cuenta los costes hundidos (sunk costs) de la más antigua; así como el grado de complementariedad del producto/proceso que se está difundiendo con los demás elementos del entorno y el sistema. Ambos factores pueden determinar las características de la difusión, acelerando o retrasando la velocidad a la que tiene lugar el proceso.

Para estudiar esta situación es frecuente emplear la ampliación del modelo de Bass conocida como Modelo de Peterson y Mahajan (1978), cuya función de adopción es:

$$n_i(t) = [p_i + q_i N_i(t) + c_{is} N_s(t)] \cdot [M_i - N_i(t)] \quad (22)$$

donde p_i y q_i son los ya conocidos parámetros de innovación y de imitación de la innovación “i”; y c_{is} es un parámetro que define la relación entre el producto analizado y otro producto “s”, de modo que si $c_{is} > 0$ son complementarios, y si $c_{is} < 0$ son sustitutivos.

Considerando la ecuación (22) en términos discretos, $n_i(t) = N_i(t+1) - N_i(t)$, y transformándola tenemos que:

$$N_i(t) = p_i + (1 + q_i - p_i) \cdot N_i(t-1) - q_i \cdot N_i(t-1)^2 + c_{is} N_s(t-1) \cdot [1 - N_i(t-1)] \quad (23)$$

En la sección 4 estimaremos esta expresión con el fin de conocer la relación existente, en ambos hospitales, entre cada una de las innovaciones analizadas y todas las demás; así como la influencia que puede tener la evolución del proceso de difusión de cada uno de los módulos en el hospital 1 sobre el proceso en el hospital 2.

3. LAS INNOVACIONES HOSPITALARIAS

Un Sistema Telemático Hospitalario supone la combinación de la informática y de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones como medio para mejorar la asistencia médica. Pero, a diferencia de lo que ocurre en el sector empresarial, la mera adopción de una innovación tecnológica en el sector hospitalario no asegura, mediante el funcionamiento del mercado, que las innovaciones tecnológicas introducidas sean eficientes, garanticen una mejor calidad del producto final (es decir, el estado de salud de los pacientes) o reduzcan los costes.

En general, cualquier innovación sanitaria conlleva una serie de costes y beneficios que dependen tanto del hecho de adoptarla y de difundirla como del grado y la intensidad con que se utilice. Entre los beneficios cabe destacar tanto los beneficios directos (de personal, equipamiento, servicio de proceso de datos, elaboración de formularios y recibos), como beneficios de calidad (aumento del tiempo dedicado al paciente, reducción de los errores en las órdenes médicas y de las órdenes repetidas, más rapidez en completar las órdenes, incremento en la satisfacción del personal asistencial, mejor facilidad de uso y mejor documentación, apoyo a la administración y toma de decisiones). Por su parte, en lo relativo a los costes es importante señalar que la tecnología sanitaria influye en los gastos de los hospitales de forma directa mediante la adquisición de equipos (hardware, software, instalación e implantación y mantenimiento), y de forma indirecta, a través de diversos requerimientos de inputs intermedios y de trabajo especializado (suministros, depreciación, personal del centro de proceso de datos, formación y entrenamiento).

Además, también hay que tener en cuenta que la adopción de nuevas tecnologías hospitalarias generalmente implica un cambio organizativo notable y un fuerte impacto cultural. Es necesario entonces rediseñar los procesos existentes, definir nuevas funciones para cada puesto, establecer mecanismos de coordinación y protocolos adecuados, y lograr una adaptación a las nuevas formas de trabajar, tanto por parte de los facultativos como del personal de administración o de laboratorio.

Teniendo esto en cuenta, vamos a analizar la difusión de un Sistema Telemático Hospitalario en dos hospitales, con el fin de conocer si se comportan de acuerdo a lo que predice la teoría económica de la difusión de innovaciones, y de estudiar las razones que explican la velocidad de difusión en este contexto. El Sistema Telemático Hospitalario estudiado presenta una configuración centralizada para cada hospital, los cuales están unidos entre sí a través de una red telemática que permite el acceso a una Base de Datos Clínica Central. A su vez, cada sistema informático hospitalario está formado por un ordenador central, al cual están conectados alrededor de cien terminales. El soporte lógico está formado por 35 aplicaciones, clasificadas en 5 módulos:

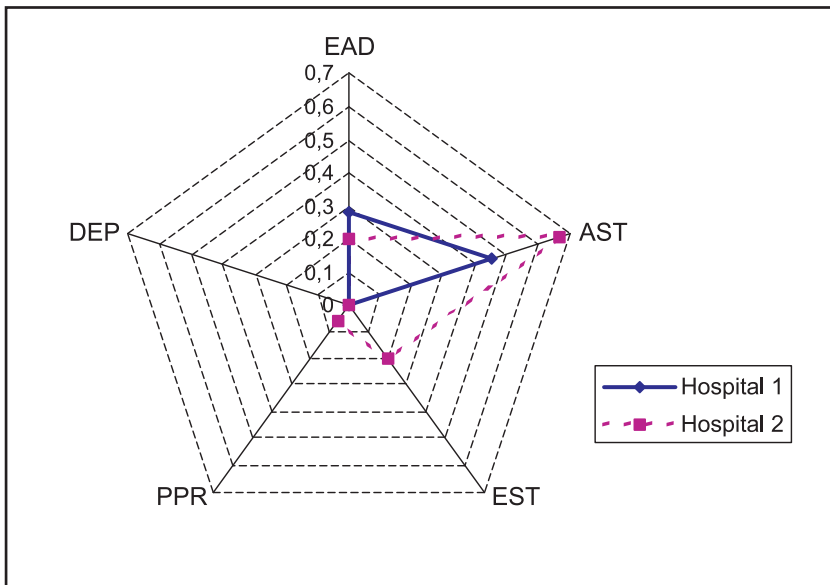
- a) **MÓDULO ESTADÍSTICO (EST).** Su función es resumir los datos asistenciales y económicos del hospital, y aplicarlos a los Sistemas de Información de la Gerencia, con el fin de permitir un conocimiento exacto del funcionamiento del centro y de proporcionar la información necesaria para la toma de decisiones de la dirección.
- b) **MÓDULO ECONÓMICO-ADMINISTRATIVO (EAD).** Su función es la gestión de personal, nómina y seguridad social, contabilidad general, contabilidad presupuestaria, contabilidad analítica, facturación, material de consumo, material inventariable, compras y almacenes (dietética y cocina). Estas aplicaciones, especialmente las tres primeras, son críticas para el control del presupuesto, y además requieren unas habilidades no específicas del sector sanitario. Por ello, suelen ser las primeras en implantarse y utilizarse en los hospitales.
- c) **MÓDULO DEPARTAMENTAL (DEP).** La función de este módulo es gestionar diversos departamentos del hospital; y es de una gran importancia ya que por un lado tiene centros de coste clave (como farmacia), y por otro lado gestiona recursos caros (como quirófanos), que requieren una alta productividad. Son en general un autentico “cuello de botella” y su grado de utilización suele depender del interés de la persona responsable en cada caso.
- d) **MÓDULO DE PETICIÓN DE PRUEBAS (PPR).** Este módulo de aplicaciones es el encargado de gestionar las comunicaciones entre distintos departamentos. Cuando se produce una admisión, los profesionales médicos y/o las unidades de enfermería generan un paquete de peticiones de pruebas que son realizadas en laboratorios, unidades funcionales y departamentos de imagen (peticiones a laboratorio, peticiones a cocina, peticiones a radiología, peticiones de exploraciones funcionales, peticiones externas,...). La responsabilidad está algo difusa, por lo que su implantación efectiva es incierta.
- e) **MÓDULO DE GESTIÓN ASISTENCIAL (AST).** Este módulo es responsable de gestionar los datos históricos del paciente: lista de espera, urgencias, ingresos y altas, gestión de camas, recién nacidos, informes de alta, generación informes de los pacientes, archivo historias clínicas, consultas externas, cumplimentación del Conjunto Mínimo Básico de Datos (CMBD).

Para la estimación de los modelos disponemos de datos bimensuales sobre el grado de utilización de cada uno de los cinco módulos descritos en dos hospitales de la Región de Murcia, que llamaremos “Hospital 1” y “Hospital 2”. Para el Hospital 1 tenemos 27 observaciones (desde Febrero de 1992 hasta Agosto de 1996), y para el Hospital 2 tenemos 24 observaciones (desde Junio de 1992 hasta Junio de 1996).

Con esta información podemos comprobar tres hechos importantes:

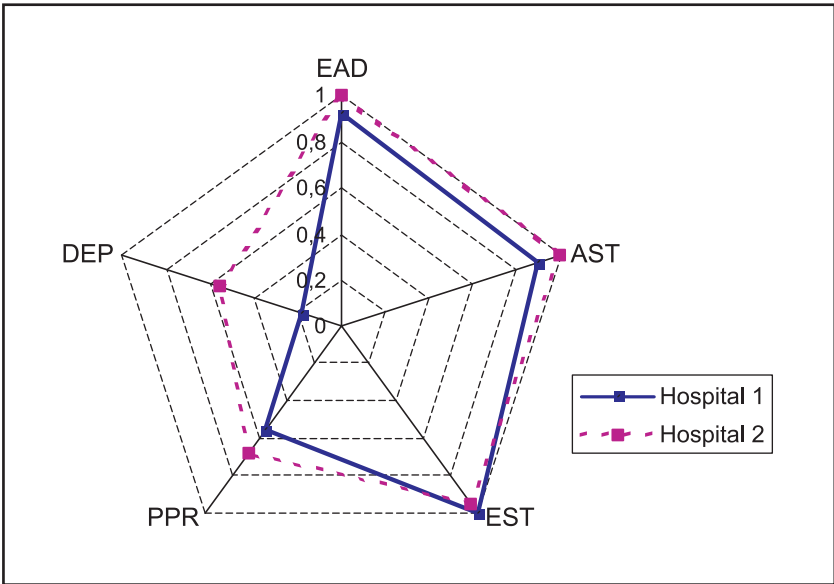
- a) Como cabía esperar, en el momento de la primera observación (Febrero de 1992 en el caso del Hospital 1 y Junio de 1992 en caso del Hospital 2), los niveles iniciales de utilización de los cinco módulos considerados son muy bajos. Todos ellos están próximos a cero, excepto la Gestión Asistencial (AST) que tiene un valor del 44% en el Hospital 1 y del 67% en el Hospital 2 (Gráfico 1), debido a que su introducción fue anterior al inicio de la muestra utilizada.

Gráfico 1. Grado inicial de utilización de los módulos en los hospitales 1 y 2.



- b) Por su parte, los niveles finales (Agosto de 1996 y Junio de 1996 en el Hospital 1 el Hospital 2, respectivamente) de utilización de los cinco módulos considerados están en torno al 100%, excepto el Módulo Departamental (DEP) que tiene un valor de tan solo el 18% en el Hospital 1 y del 55% en el Hospital 2 (Gráfico 2). Este hecho es debido a que la introducción de este módulo se realizó en ambos hospitales algunos meses más tarde de la introducción de los demás módulos

Gráfico 2. Grado final de utilización de los módulos en los hospitales 1 y 2.



c) Tal y como se comprobará en el apartado siguiente, la velocidad de difusión de las innovaciones dentro del Hospital 2, es mayor que dentro del Hospital 1. Esto se debe, probablemente al hecho de que en el Hospital 2 las innovaciones se introducen más tarde y, por lo tanto, el grado de incertidumbre asociado a la utilización de las mismas y a sus beneficios derivados será menor.

4. RESULTADOS DEL ESTUDIO

4.1 Difusión de los módulos del STH en cada hospital

La estimación de los modelos descritos se ha llevado a cabo con el programa Eviews 4.0 , linealizando previamente la expresión de la curva de difusión y aplicando el método de MCO. La mayoría de las estimaciones efectuadas presentaba problemas de heterocedasticidad y/o autocorrelación, que han sido corregidos estimando el residuo del modelo como un proceso autorregresivo de orden 1 estacionario. En estos casos, la perturbación está indicada en la especificación del modelo como *u*; y si no ha sido necesario blanquear el residuo estará indicado como *e*. Las tablas 1 y 2 resumen los resultados obtenidos para cada uno de los hospitales:

TABLA 1. DIFUSIÓN DE LOS MÓDULOS EN EL HOSPITAL 1

	<i>M. Logístico</i> $N(t)=$	<i>M. Exponencial</i> $N(t)=$	<i>M. de Gompertz</i> $Ln(-ln(N(t))=$	<i>M. de Bass</i> $N(t)=$
EST	No significativo	$1-\frac{1}{e^{0.033t+u}}$ $R^{2c} = 0.9206$ $BIC = -2.0931$	$-0.016t + \varepsilon$ $R^{2c} = 0.4795$ $BIC = -0.7990$	$1.050 N(t-1) + \varepsilon$ $R^{2c} = 0.8629$ $BIC = -1.4015$
EAD	$\frac{1}{1+e^{-0.094t+u}}$ $R^{2c} = 0.9642$ $BIC = -0.7626$	$1-\frac{1}{e^{0.770+0.063t+u}}$ $R^{2c} = 0.9677$ $BIC = -1.4360$	$-0.623-0.067t + u$ $R^{2c} = 0.9689$ $BIC = -1.1502$	$0.144 + 0.839 N(t-1) + \varepsilon$ $R^{2c} = 0.9701$ $BIC = -4.3137$
DEP*	$\frac{1}{1+e^{3.369-0.083t+\varepsilon}}$ $R^{2c} = 0.6685$ $BIC = 0.9414$	$1-\frac{1}{e^{0.009t+u}}$ $R^{2c} = 0.8769$ $BIC = -4.5648$	$1.271 -0.033t + \varepsilon$ $R^{2c} = 0.6907$ $BIC = -1.0221$	$1.558N(t-1)-3.091+N(t-1)^2+\varepsilon$ $R^{2c} = 0.8732$ $BIC = -4.7870$
PPR	No significativo	No significativo	$-0.024t + u$ $R^{2c} = 0.8827$ $BIC = -1.0696$	$0.060 + 0.904 N(t-1) + \varepsilon$ $R^{2c} = 0.9426$ $BIC = -3.1872$
AST	$\frac{1}{1+e^{-0.091t+u}}$ $R^{2c} = 0.9580$ $BIC = -0.5823$	<i>No significativo</i> $BIC = -0.8363$	$-0.087t + u$ $R^{2c} = 0.9577$ $BIC = -3.9632$	$0.095+0.896 N(t-1) + \varepsilon$ $R^{2c} = 0.9511$

* Estimaciones realizadas con 18 observaciones, considerando la verdadera fecha inicial del proceso.

TABLA 2. DIFUSIÓN DE LOS MÓDULOS EN EL HOSPITAL 2

	<i>M. Logístico</i> $N(t)=$	<i>M. Exponencial</i> $N(t)=$	<i>M. de Gompertz</i> $Ln(-ln(N(t))=$	<i>M. de Bass</i> $N(t)=$
EST	$\frac{1}{1+e^{-0.127t+u}}$ $R^{2c} = 0.9303$ $BIC = 1.1342$	$1-\frac{1}{e^{0.129t+u}}$ $R^{2c} = 0.9427$ $BIC = 0.3444$	$-0.127t + u$ $R^{2c} = 0.9382$ $BIC = 0.7152$	$1.035 N(t-1)+\epsilon$ $R^{2c} = 0.8972$ $BIC = -2.1268$
EAD	$\frac{1}{1+e^{1.843-0.383t+\epsilon}}$ $R^{2c} = 0.9673$ $BIC = -1.8634$	$1-\frac{1}{e^{0.238t+u}}$ $R^{2c} = 0.9359$ $BIC = -1.8286$	$1.049-0.322+\epsilon$ $R^{2c} = 0.9502$ $BIC = -1.7739$	$1.363N(t-1)-0.362N(t-1)^2+u$ $R^{2c} = 0.9823$ $BIC = -3.4752$
DEP*	$\frac{1}{1+e^{2.874-0.139t+\epsilon}}$ $R^{2c} = 0.9729$ $BIC = -0.8417$	$1-\frac{1}{e^{-0.125+0.038t+\epsilon}}$ $R^{2c} = 0.9211$ $BIC = -2.3384$	$1.243-0.076t + \epsilon$ $R^{2c} = 0.9704$ $BIC = -1.9568$	$1.068 N(t-1)+\epsilon$ $R^{2c} = 0.9446$ $BIC = -3.620$
PPR	No significativo	$1-\frac{1}{e^{0.055t+u}}$ $R^{2c} = 0.9532$ $BIC = -4.8088$	$-0.046t + u$ $R^{2c} = 0.9532$ $BIC = -0.8658$	$1.357N(t-1)-0.548N(t-1)^2+\epsilon$ $R^{2c} = 0.9537$ $BIC = -3.1175$
AST	$\frac{1}{1+e^{-0.217t+u}}$ $R^{2c} = 0.9856$ $BIC = -0.0256$	$1-\frac{1}{e^{0.222t+u}}$ $R^{2c} = 0.9863$ $BIC = -0.2392$	$-0.216t + u$ $R^{2c} = 0.9860$ $BIC = -0.1372$	$1.016 N(t-1)+\epsilon$ $R^{2c} = 0.9694$ $BIC = -7.5442$

* Estimaciones realizadas con 18 observaciones, considerando la verdadera fecha inicial del proceso.

En general, los modelos estimados tienen un buen ajuste a los datos disponibles, excepto en cinco casos -la mayoría de ellos en el Hospital 1- en los que ninguna de las variables es significativa y un caso -también en el Hospital 1- que tiene un R^{2c} menor que 0.6. Además la difusión de cada tipo de innovación en cada uno de los centros hospitalarios considerados está mejor explicada por un modelo u otro, según las características y el contexto en que tiene lugar el proceso.

Es importante también señalar que, al eliminar las variables no significativas, algunos de los modelos de Bass estimados se convierten en modelos autorregresivos AR(1) no

estacionarios en los que el nivel actual de penetración de la innovación considerada depende del nivel de penetración en el periodo anterior.

Analizaremos a continuación los resultados más importantes:

- **MÓDULO ESTADÍSTICO:**

Si tenemos en cuenta el criterio BIC (Schwarz Information Criterion), en el caso del Hospital 2 sería mejor el modelo de Bass aunque, como comentamos anteriormente, queda reducido a un proceso autorregresivo no estacionario de orden 1 (paseo aleatorio en este caso²), lo cual no ofrece información alguna acerca de las características del proceso de difusión.

Sin embargo, considerando un mayor R^{2c} , es el modelo exponencial el que mejor describe la difusión de los módulos estadísticos en los dos hospitales. Además, comparando los parámetros del modelo en ambos centros, vemos que el parámetro b es mayor en el Hospital 2 que en el Hospital 1:

$$b_1 = 0.033 < 0.129 = b_2$$

lo cual indica que la velocidad a la que se ha implantado el módulo Estadístico es mayor en el centro donde la innovación es introducida más tarde (Hospital 2).

- **MÓDULO ECONÓMICO-ADMINISTRATIVO:**

En ambos hospitales el modelo de Bass es el que mejor explica la difusión de este módulo, teniendo en cuenta tanto el criterio del R^{2c} como el BIC; y con las dos estimaciones se obtienen unos valores coherentes para los parámetros del modelo.

En el caso del Hospital 1 encontramos que el coeficiente de imitación $q = 0$. Este hecho se debe, posiblemente, a que fue el primer centro hospitalario de la zona que introdujo este tipo de innovaciones y, por ello, no pudo tener ninguna influencia de otros adoptantes a los que imitar (pues no existían tales adoptantes). En el Hospital 2 se obtiene que el coeficiente $p = 0$, lo cual también es lógico si tenemos en cuenta que se trata de una innovación cuyo funcionamiento y utilización ya se conoce y, por lo tanto es más importante el “efecto imitación” de otros adoptantes -es decir, del Hospital 1- que el “efecto innovación”.

- **Módulo Departamental:**

La difusión de este módulo en el Hospital 1 es explicada con un menor BIC por el modelo de Bass, pero no es posible hacer una interpretación adecuada del mismo ya que los valores de los parámetros estimados no son coherentes con el modelo planteado (se obtiene un coeficiente de influencia externa $q = 3.091 > 0$). En cambio, el modelo con un mayor R^{2c}

2. En un contraste del 99% se aceptaría la hipótesis nula de que $b = 1$.

es el modelo exponencial, para el cual nuevamente comprobamos que el parámetro b es mayor en el Hospital 2 que en el Hospital 1:

$$b_1 = 0.009 < 0.038 = b_2$$

lo cual vuelve a indicar que la velocidad de difusión del módulo Departamental es mayor en el centro donde la innovación es introducida más tarde (Hospital 2).

En el caso del Hospital 2, es el modelo de Bass el que presenta claramente un menor BIC (el modelo logístico es el que ofrece un mayor R^{2c} , pero las diferencias con otros modelos son muy reducidas). Pero no ofrece información alguna acerca de las características del proceso de difusión puesto que, tanto el coeficiente de innovación como el de imitación se hacen nulos $p = q = 0$ y nuestro modelo queda reducido a un proceso autorregresivo no estacionario de orden 1 (paseo aleatorio en este caso³).

- MÓDULO DE PETICIÓN DE PRUEBAS:

En el Hospital 1, la difusión del módulo relacionado con la petición de pruebas a los distintos departamentos es explicada con un mayor R^{2c} y un menor BIC por el modelo de Bass. En este caso sí obtenemos unos valores de los parámetros coherentes con el modelo planteado, y tenemos que el coeficiente de innovación es $p = 0.06$, y el coeficiente de imitación es $q = 0$, pues nuevamente se trata del primer hospital de la zona que introdujo este tipo de innovaciones y, por ello, no pudo “imitar” a ningún otro adoptante.

En el Hospital 2 tomaremos el modelo que presente un menor BIC, puesto que las diferencias en el R^{2c} son mínimas. En este caso es el modelo exponencial el que mejor describe la difusión del módulo de Petición de Pruebas, aunque no podemos comparar los valores de sus parámetros con los del modelo para el Hospital 1 pues en éste no es significativo.

- MÓDULO DE GESTIÓN ASISTENCIAL:

Como las diferencias en el R^{2c} vuelven a ser mínimas para ambos hospitales, nos basaremos en el criterio BIC para decidir qué modelo explica mejor la difusión de esta innovación en los hospitales analizados.

En ambos centros es el modelo de Bass el que mejor describe la dinámica de los datos de difusión. Y encontramos nuevamente que en el caso del Hospital 1 predomina el efecto innovación (el coeficiente de innovación es $p = 0.095$ y el coeficiente de imitación es $q = 0$), y en el caso del Hospital 2 nuestro modelo de Bass se transforma en un proceso autorregresivo no estacionario $AR(1)$ ⁴.

3. En un contraste del 99% se aceptaría la hipótesis nula de que $b = 1$.

4. En un contraste del 99% se aceptaría la hipótesis nula de que $b = 1$.

4.2. Difusión de cada módulo considerando las interrelaciones con los demás módulos del STH

En segundo lugar se ha estimado el modelo de Peterson y Mahajan (ecuaciones (22) y (23)) para ambos hospitales, haciendo que el proceso de difusión de cada uno de los módulos considerados dependa no solo de unos ciertos coeficientes de innovación y de imitación, sino también de cómo se desarrolle la difusión de los otros módulos que componen el Sistema Telemático Hospitalario. Recordemos que:

$$N_i(t) = p_i + (1 + q_i - p_i) \cdot N_i(t-1) - q_i \cdot N_i(t-1)^2 + c_{is} N_s(t-1) \cdot [1 - N_i(t-1)] \quad (23)$$

con $i = \text{EST, EAD, DEP, PPR, AST}$; $s = \text{EST, EAD, DEP, PPR, AST}$; $i \neq s$.

Los resultados obtenidos se resumen en las Tablas 3 y 4, que indican si entre los módulos considerados hay una relación positiva o negativa, y cuál es el valor del coeficiente c_{is} correspondiente:

TABLA 3. DIFUSIONES EN EL HOSPITAL 1 CONSIDERANDO LAS INTERRELACIONES CON LOS DEMÁS MÓDULOS

Módulo Influyente $N_s(t-1)$						
Difusión Principal $N_j(t)$	EAD	AST	EST	PPR	DEP	
	EAD	—	Complement $C_{is} = 1.054$	Independien .	Sustitutivos $C_{is} = -0.607$	Independien
	AST	Independien.	—	Independien.	Independien.	Complement $C_{is} = 3.465$
	EST	Independien.	Independien.	—	Complement. $C_{is} = 1.049$	Independien.
	PPR	Complement. $C_{is} = 0.155$	Complement. $C_{is} = 0.767$	Independien.	—	Independien.
	DEP	Independien.	Independien.	Independien.	Complement. $C_{is} = 0.068$	—

R^{2c} superior a 0'8 en todas las estimaciones.
En los casos especificados como “Independien.”, el coeficiente C_{is} no es estadísticamente significativo al 95%.

TABLA 4. DIFUSIONES EN EL HOSPITAL 2 CONSIDERANDO LAS INTERRELACIONES CON LOS DEMÁS MÓDULOS

Módulo Influyente $N_s(t-1)$						
Difusión Principal $N_j(t)$		EAD	AST	EST	PPR	DEP
	EAD	—	Complement. $C_{is} = 7.728$	Complement. $C_{is} = 0.313$	Complement. $C_{is} = 2.110$	Independien.
	AST	Independien.	—	Independien.	Independien.	Complement. $C_{is} = 0.600$
	EST	Independien.	Complement. $C_{is} = 0.455$	—	Independien.	Independien.
	PPR	Complement. $C_{is} = 0.564$	Complement. $C_{is} = 0.084$	Independien.	—	Complement. $C_{is} = 1.165$
	DEP	Independien.	Independien.	Complement. $C_{is} = 0.086$	Independien.	—

R^{2c} superior a 0’8 en todas las estimaciones.
En los casos especificados como “Independien.”, el coeficiente C_{is} no es estadísticamente significativo al 95%.

Estos resultados muestran que la difusión de una cierta innovación tecnológica en el entorno hospitalario no es independiente de la adopción y difusión de otras aplicaciones utilizadas en dicho sistema, sino que pueden establecerse relaciones de complementariedad que acelerarían el proceso analizado.

Las estimaciones realizadas nos permiten afirmar que el módulo de Gestión Asistencial (AST) influye positivamente en ambos hospitales sobre el módulo Económico Administrativo (EAD) y sobre el módulo de Petición de Pruebas (PPR), lo cual significa que un mayor nivel de implantación del primero en un cierto periodo da lugar a un mayor nivel de penetración de los segundos en el periodo siguiente: una gestión más ágil y eficiente de los datos clínicos de cada paciente puede facilitar la implantación de un sistema que gestione también más ágil y eficientemente las peticiones de pruebas a diversos departamentos, la facturación, el control de material,... Lo mismo sucede con el módulo Económico Administrativo (EAD), que afecta positivamente en ambos hospitales sobre el módulo de Petición de Pruebas (PPR); y el módulo Departamental (DEP), que lo hace sobre el módulo de Gestión Asistencial (AST).

Cabe señalar, como resultado sorprendente, el carácter “sustitutivo” entre los módulos de Petición de Pruebas y Económico-Administrativo del Hospital 1. El signo negativo del coeficiente c_{is} puede deberse a que, como se ha expresado en la definición del módulo de Petición de Pruebas, dicha innovación tiene un carácter impreciso y no bien delimitado en

lo que se refiere a su responsabilidad, especialmente en los inicios de la implantación, por lo que su difusión en esta etapa sería incierta.

4.3. Difusión de los módulos del STH en el Hospital 2 considerando la situación del Hospital 1

Por último, hemos estimado nuevamente el modelo de Peterson y Mahajan (ecuaciones (22) y (23)) pero, en este caso, considerando la relación entre los módulos correspondientes del Hospital 1 y el Hospital 2, con el fin de conocer la intensidad del efecto imitación del Hospital 2 respecto del Hospital 1, ya puesto de manifiesto en la sección 4.1. Para ello, estaremos la ecuación:

N_{i2}(t) = p_i + (1 + q_i - p_i) \cdot N_{i2}(t-1) - q_i \cdot N_{i2}(t-1)^2 + c_i N_{i1}(t-1) \cdot [1 - N_{i2}(t-1)] \tag{24}

donde i = EST, EAD, DEP, PPR, AST; N_{ik}(t) es la función de distribución acumulada para el módulo «i» en el Hospital k.

Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 5, que indica si existe o no algún tipo de relación que sea estadísticamente significativa entre la difusión de cada uno de los módulos considerados en el hospital 2 y el mismo en el hospital 1, así como el valor del coeficiente c_{is} correspondiente:

TABLA 5. DIFUSIONES DE LOS MÓDULOS DEL HOSPITAL 2
CONSIDERANDO LAS INTERRELACIONES
CON LOS MÓDULOS DEL HOSPITAL 1

Módulo Principal N_{i2}(t)		Módulo N_{i1}(t-1)
	EAD	Complement. C_{is} = 0.188
	AST	Independien.
	EST	Independien.
	PPR	Complement. C_{is} = 0.301
	DEP	Independien.

R^{2c} superior a 0'9 en todas las estimaciones.
En los casos especificados como "Independien.", el coeficiente C_{is} no es estadísticamente significativo al 95%.

Podemos comprobar que el efecto imitación más intenso se produce en el módulo Económico Administrativo (EAD) y el módulo de Petición de Pruebas (PPR). De modo que cuanto mayor es el nivel de penetración de cada uno de estos módulos en el Hospital 1 durante un cierto periodo, mayor será la difusión del mismo en el Hospital 2 en el periodo siguiente.

En cambio, los módulos de carácter clínico (DEP y AST) y el módulo estadístico (EST) del hospital 2 son mas independientes de lo que ocurre en el otro centro.

5. CONCLUSIONES

La implantación de un Sistema Telemático Hospitalario en un cierto hospital supone introducir una innovación de proceso que conlleva importantes cambios organizativos en el centro, con el objetivo de mejorar la asistencia médica, lograr un mejor estado de salud de los pacientes y reducir los costes de gestión.

En este artículo hemos aplicado el marco de la teoría de la Difusión Intraempresarial al ámbito hospitalario, con el fin de analizar la difusión de los cinco módulos que forman el Sistema Telemático Hospitalario implantado en dos hospitales murcianos, obteniéndose las siguientes conclusiones:

La velocidad de difusión es más rápida en el Hospital 2, donde las innovaciones fueron introducidas más tarde. Así, aunque comienza con niveles de penetración más bajos que el otro centro, pronto lo supera y en la segunda mitad de la muestra tiene un grado de implantación mayor en todos los módulos considerados.

En el Hospital 1, que fue el primero en introducir el STH, predomina el llamado efecto innovación, mientras que en el Hospital 2 el que predomina es el efecto imitación, pues los resultados del otro centro le indican el mejor modo de utilización, los beneficios esperados,... Además, este efecto imitación es más intenso en el caso de los módulos Económico Administrativo y en el de Petición de Pruebas.

Existe asimismo una importante relación de complementariedad entre los diferentes módulos del STH, de modo que su implantación no es independiente: una mayor tasa de difusión de cada módulo da lugar a una tasa mayor de los otros.

Por lo tanto, las recomendaciones a efectuar a los órganos de gerencia hospitalaria encargados de tomar la decisión de implantar o no una innovación del tipo de los STH analizados serían dos. En primer lugar, el hecho de ser el primero en la zona en introducir la innovación conlleva la ventaja de ser “pionero”, el más innovador; sin embargo, el centro que lo hace en segundo lugar puede tener una mayor velocidad de difusión debido a que la incertidumbre asociada al proceso y a su desarrollo está parcialmente despejada con la experiencia anterior; y, a medio plazo, alcanza tasas de penetración superiores.

En segundo lugar, es importante que todos los módulos que componen el STH se implanten a la vez, pues existen importantes complementariedades y sinergias entre ellos, de modo que la difusión de unos contribuye a acelerar la de los otros.

Como línea futura de trabajo, sería interesante ahondar en modelos que expliquen mejor e interpreten estas complementariedades entre unas innovaciones y otras; y que incor-

poren otros aspectos del proceso de difusión relevantes en este contexto: sistemas de decisión, tipo de financiación, restricciones económicas, resistencias a adoptar por parte de los facultativos, presiones externas por parte de otras industrias (ej. Farmacéutica), “costes hundidos”, grado de compatibilidad con los procesos actuales, etc. Para ello, además, es de suma importancia recabar más datos e información que muestren la influencia de estas variables, con el fin de que puedan ser introducidas de un modo adecuado en el análisis.

Asimismo, sería interesante relacionar el proceso de difusión de innovaciones hospitalarias y sus características con posibles mejoras en los diversos índices de calidad de los centros sanitarios y con una reducción de los costes por paciente, con el fin de analizar en qué medida el cambio técnico contribuye a un aumento de la eficiencia de los centros hospitalarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Bass, F. (1969) “A New Product Growth Model for Consumer Durables”, *Management science*, 15(5), pp. 215-226.
- Chatterjee, R. and Eliashberg, J. (1990) “The Innovation Diffusion Process in a Heterogeneous Population: A Micro-Modelling Approach”, *Management Science*, 36, pp. 1057-1079.
- Dixon, R. (1980), “Hybrid Corn Revisited”, *Econometrica*, 48 (6), pp. 1451-1461.
- Fourt, L.; Woodlock, J. (1960) “Early Prediction of Market Success for New Grocery Products”, *Journal of Marketing*, 25, pp. 31-38.
- Greer, A. (1990) “The state of the art versus the state of the science: the diffusion of new medical technologies”, *International Journal of Technology Assessment in Health Care*, 4 (5) pp. 549-556.
- Griliches, Z. (1957) “Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change”, *Econometrica*, 25 (4), pp. 501-522.
- Mahajan, V. Shoeman, M. (1977) “Generalized Models for the Time Pattern of the Diffusion Process”, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 24(1), pp. 12-18.
- Mansfield, E. (1961) “Technical Change and the Rate of Imitation”, *Econometrica*, 29 (4), pp. 741-766.
- Moe, W.; Fader, P. (1998) “A Joint Segmentation Model of Consumers and Products Applied to the Sales of Music Albums”, Working Paper 98-028, The Wharton School, University of Pennsylvania.
- Roberts, E. (1988) “Technological Innovation and Medical Devices”, en Ekelman K.B. (Ed.): “New Medical Devices. Invention, Development, and Use”. Washington D.C. National Academy Press.
- Rogers, E. (1995) “Diffusion of Innovations”, 5ª ed., New York, The Free Press.
- Sechrest, L. et al (eds.) (1994) “Effective Dissemination of Clinical and Health Information: Conference Summary”, Washington DC: Agency for Health Care Policy and Research.
- Stoneman, P., Battisti, G., (1998) “Intra-firm Diffusion of New Technologies- the Neglected Part of Technology Transfer”, *International Journal of Industrial Engineering*, Ohio-US, (4), pp. 270-82.