

2. Marco Teórico

2.1 ¿Qué es Difusión?

De acuerdo a Rogers (1995), *difusión* es el proceso por medio del cual una innovación es comunicada por medio de ciertos canales a través del tiempo entre los miembros de un *sistema social*, un grupo de unidades interrelacionadas trabajando en conjunto para el logro de un objetivo común. Así pues es un tipo de comunicación especial en donde los mensajes son esencialmente ideas nuevas que generan incertidumbre debido a las alternativas, en cuanto a efectos, que presentan. Esta incertidumbre está a su vez afectada por la disponibilidad de información, sea ésta escrita, auditiva, o de cualquier otro medio. En términos muy generales, la difusión es un tipo de cambio social, ya que genera un cambio en la estructura y formación de un sistema social.

Una *innovación* se define como una idea, proceso u objeto que es percibido como nuevo por un agente. Cabe mencionar que la innovación no necesariamente debe ser nueva en términos absolutos, solo importa la percepción del agente en cuanto a esta característica. Más aún, esta innovación debe estar accesible al agente en el sentido en que pueda tomar una decisión de adopción o rechazo. En el caso de las computadoras, éstas han existido desde los años 40, y las computadoras personales desde los años 70. Mucha gente ha estado conciente de la existencia de las mismas desde tiempo atrás; sin embargo no habían desarrollado en su tiempo una actitud positiva o negativa hacia ellas en cuanto a la decisión de adopción o rechazo.

Muchas veces, inclusive en este estudio, se utilizan los términos innovación y *tecnología* como sinónimos. La tecnología se define como un diseño para una acción instrumental que reduce la incertidumbre en las relaciones de causa y efecto involucradas en obtener un resultado deseable. Esta tecnología generalmente tiene un aspecto de *hardware*, que consiste en el objeto físico o material que contiene la tecnología, y un aspecto de *software*, que consiste en la base informática para esa herramienta. Aún así, no todas las tecnologías son necesariamente objetos físicos. La

tecnología puede ser compuesta meramente del aspecto *software*, como serían nuevos procesos productivos, ideologías políticas o religiones. No obstante, por lo general las tecnologías involucran esta dualidad hardware/software mencionada; ejemplos son cámaras y rollo fotográfico, reproductores de CD y CDs individuales, o computadoras y sus programas.

Aún considerando las diferencias inherentes entre tecnologías distintas, existen cinco características básicas comunes en ellas, estas son: *Ventaja relativa*, el grado en que la innovación se percibe superior a la que reemplaza. *Compatibilidad*, el grado en que la innovación se percibe consistente con los valores y necesidades existentes de adoptantes potenciales dentro del sistema social. *Complejidad*, el grado en que la innovación se percibe como difícil de entender y usar. *Habilidad de Ensayo*, el grado en que la innovación puede ser experimentada o probada antes de adopción. *Observabilidad*, el grado en que los resultados de la innovación son visibles a otros. Estos cinco aspectos fundamentales de cada tecnología tienen considerable importancia en entender diferencias en difusión por lo que se vuelven una parte crítica del análisis.

2.2 Redes de Difusión

La manera en que las innovaciones se difunden da lugar al estudio de los canales de comunicación por donde esto ocurre. La *comunicación* se define en Rogers (1995) como el proceso mediante el cual los agentes crean y comparten información entre sí para de esta forma poder llegar a un entendimiento mutuo. La difusión es un estilo particular de comunicación en donde el contenido se refiere a una nueva idea. El medio por donde estos mensajes llegan de un individuo a otro es el *canal de comunicación*.

2.2.1 Canales de Comunicación

Existen dos tipos de canales de comunicación. El primero es vía los medios masivos. Estos suelen ser los más rápidos y eficientes para informar a una audiencia de adoptantes potenciales sobre la existencia de una innovación. Este tipo de canal incluye todos los medios para transmitir mensajes que puedan llegar a una audiencia con gran

numero de individuos; estos medios pueden ser la radio, periódicos, televisión y más recientemente, el Internet. Por otro lado, existen los canales interpersonales de comunicación. Estos canales suelen ser más efectivos en persuadir a un individuo en aceptar una nueva idea, especialmente si el canal interpersonal vincula dos o más individuos que son semejantes en nivel socioeconómico, educación entre otras, puesto que generan un intercambio de información de cara a cara. Estudios de difusión han demostrado que la mayoría de los individuos no evalúan una innovación con base en estudios científicos sino mediante una evaluación subjetiva con base en lo que otros individuos, generalmente semejantes a ellos, han adoptado previamente; es decir, por medio de canales interpersonales. Esto genera evidencia de que existe una red social de comunicación que facilita o dificulta la difusión.

Un aspecto primordial de la comunicación es que se transfiere más fácilmente por medio de individuos que son muy semejantes, o sea, *homofilios*. Cuando existe homofilia en individuos, mediante atributos semejantes como creencias, educación, estratos sociales, raza, etc. es más común que exista interacción entre ellos y esta comunicación generalmente es más efectiva y gratificante. No obstante un gran problema es que los individuos son por lo general bastante *heterofilios*, en especial los agentes de cambio que tratan de incitar a un individuo a adoptar una innovación. Por ejemplo, estos agentes suelen ser técnicamente más competentes que los receptores (como es el caso del técnico en computación tratando de convencer a una persona que nunca ha tenido ni usado una computadora a que decida comprarla). Aún así, cierto grado de heterofilia es necesario ya que dos individuos perfectamente homofilios en cuanto a la innovación no tendrían información que transmitir entre ellos. En general pues, la homofilia se limita a ciertas características sociales ya mencionadas y no a su conocimiento de la innovación.

Cabe mencionar también que la homofilia en sí no es necesariamente positiva, ni la heterofilia necesariamente negativa. La heterofilia puede ser una barrera para la difusión en primer lugar porque pueden existir tendencias elitistas entre el grupo social. Generalmente las ideas nuevas entran en un sistema social por medio de los estratos más altos y de sus miembros más innovadores. Un alto grado de heterofilia puede hacer que estos individuos interactúen exclusivamente entre ellos y no exista un efecto de *spillover* hacia miembros ajenos a ese grupo. En estos casos, la información fluye de

manera horizontal, en vez de vertical. Ahora, cuando la mayoría de las redes de difusión interpersonales son heterofilias, como generalmente sucede, entonces es posible que existan problemas de difusión con otros sectores de la sociedad. En cambio, la comunicación heterofilica puede ser positiva si genera un lazo entre dos diferentes individuos o grupos sociales. Esto hace posible la difusión de información de manera vertical, lo cual es más beneficiosa para una difusión completa.

2.2.2. Efectos de Redes y Externalidades

La difusión de innovaciones se basa en efectos de redes. Esto en términos conceptuales, no las hace tan distintas a las redes que observamos en la vida cotidiana, como redes de transporte y de comunicación. Para efectos de este estudio, el factor más importante de las redes es que generan externalidades. Una externalidad de red significa que el valor de una unidad del bien se incrementa con el número de unidades vendidas, o mejor dicho, con el número esperado de unidades que serán vendidas por lo que se tiene una demanda con pendiente negativa pero que se desplaza hacia arriba cuando existen incrementos en el número de unidades que se piensa vender. La literatura identifica dos tipos de externalidades: directas e indirectas. Una externalidad directa es donde un cliente se identifica con un componente de la red, como el caso de una red de dos vías. Un ejemplo sería una red telefónica local donde un usuario extra provee directamente externalidades a los demás usuarios mediante la suma de una línea extra a la que todos pueden marcar. Por otro lado una externalidad indirecta generalmente se da en una red de una vía. Un ejemplo sería una economía de varios bienes. Un consumidor extra en esta economía que incremente la demanda de los bienes genera externalidades indirectas al hacer que las economías de escala eventualmente aumenten la variedad de productos, un beneficio que afecta a todos los demás consumidores (Economides, 1995).

Las externalidades indirectas tienen particular importancia en el caso de las computadoras debido al fuerte vínculo entre su hardware y su software. Church, Gandal y Krauze (2002) explican que los efectos de red indirectos llevan a externalidades mediante tres requisitos fundamentales: aumentos en los rendimientos a escala en la producción de software, libre entrada al software y finalmente gustos y preferencias del

consumidor hacia la variedad en software. Así pues, un incremento en ventas de hardware resulta en un aumento en variedad de software que beneficia a todos los consumidores. Los beneficios de consumo fluyen tras la creación de sistemas que consisten en una unidad de hardware y una unidad de software y cuando este hardware es compatible con una gran variedad de software. En resumen, el consumidor se beneficia en que podrá crear más componentes hardware / software cuando otro consumidor adopta una unidad de hardware e induce el aumento en la variedad de software.

2.3 Difusión Tecnológica

Entender por qué las empresas o individuos adoptan o adquieren tecnología es vital para entender el proceso mediante el cual nueva tecnología genera mayor progreso económico; a fin de cuentas solo mediante la introducción a la economía de una nueva tecnología se pueden obtener sus beneficios. El estudio de la propagación del uso y/o apropiación de nueva tecnología es conocido como el estudio del fenómeno de *difusión tecnológica*. Cualquier estudio económico que relaciona crecimiento y desarrollo económico con el cambio tecnológico involucra supuestos implícitos o explícitos sobre la manera en que las innovaciones, después de originarse en algunos puntos del sistema económico, se difunden sobre el sistema en sí (Lissoni y Metcalfe, 1994).

Los conceptos elementales de la difusión se muestran en el siguiente modelo. Para empezar, hay que considerar que la difusión de nueva tecnología toma tiempo, posiblemente decenios, ya sea una tecnología de consumidor esparciéndose a través de viviendas o una tecnología de productor (proceso). Además, las tecnologías nuevas en sí cambian y se mejoran a través del tiempo como es el caso de las computadoras que han pasado por varias generaciones después de su introducción en los años 40. Se podría entonces considerar cada generación como un proceso de difusión individual pero relacionada. Por el momento se tomará en cuenta solo las tecnologías genéricas. Se considera el consumidor $i(i=i...n_{jt})$ dentro del sistema social j en tiempo t , consumiendo Y_{ijt} , del cual una cantidad X_{ijt} es consumo de la nueva tecnología (una alternativa para observar el nivel de difusión es utilizar la composición del stock de capital en vez del consumo). Se define entonces,

$$(1) \quad Z_{ijt} = \frac{X_{ijt}}{Y_{ijt}}$$

Uno de los resultados empíricos que regularmente se observan en el estudio de difusión es que al graficarse Z_{ijt} contra el tiempo, la curva que resulta tiene una forma de sigmoideo o S . La curva en forma de S indica que tras el momento de primer uso de la nueva tecnología por el consumidor i , Z_{ijt} crecerá lentamente pero a una tasa creciente hasta llegar a un punto de inflexión en donde la tasa de crecimiento se irá reduciendo, posteriormente habrá un punto donde Z_{ijt} llegará a su máximo. En ocasiones también es posible que Z_{ijt} comience a caer después de cierto tiempo, reflejando el uso de una tecnología suplementaria.

La difusión *intra-empresarial* se refiere al análisis de la trayectoria de Z_{ijt} a través del tiempo; es decir, el nivel de uso de la nueva tecnología. Al tratarse de una tecnología de empresa, se puede considerar este mismo fenómeno como difusión *intra-empresarial*. Por otro lado, la difusión *inter-vivienda* (o *inter-empresarial*) se refiere al número de consumidores usando las nuevas tecnologías. Esto se representa definiendo un nivel base de utilización de una nueva tecnología como Z^* , y se define un consumidor como usuario de la nueva tecnología si $Z_{ijt} \geq Z^*$. El número de usuarios de la nueva tecnología en el sistema social j se define como m_{jt} , dentro de un número potencial de n_{jt} . Así pues, la difusión inter-vivienda corresponde a la trayectoria a través del tiempo de

$$(2) \quad M_{ijt} = \frac{m_{ijt}}{n_{ijt}}$$

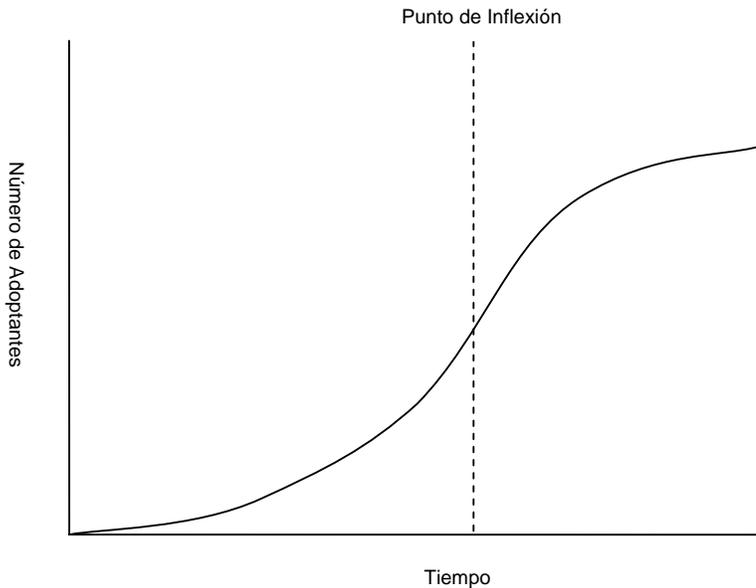
Al igual que el fenómeno de difusión intra-vivienda, resulta común en estudios empíricos que M_{jt} siga una trayectoria de forma sigmoideo o S . Cabe mencionar que a la hora de realizar estudios inter-vivienda es necesario distinguir entre difusión y adopción tecnológica, dos términos utilizados muy seguido para explicar un mismo fenómeno. Estudios de adopción tratan de explicar las razones detrás del retraso en el tiempo de adopción de los individuos con respecto a la primera adopción. En cambio, los estudios

de difusión analizan el comportamiento agregado de la tecnología en sí a través de un rango de individuos o empresas. Se puede decir, entonces, que la adopción toma al agente como protagonista, para explicar su proceso de decisión, mientras que la difusión toma a la tecnología como protagonista para explicar su proceso difusivo entre los agentes (Lissoni y Metcalfe, 1994).

Finalmente hay que mencionar que el estudio del fenómeno de difusión tecnológica resulta de la necesidad de responder a varias preguntas fundamentales en cuanto al por qué la adopción de nuevas tecnologías toma tiempo, por qué la tasa de difusión varía entre consumidores, empresas, tecnologías, industrias y países, y por qué la trayectoria de difusión a través del tiempo toma la forma S. (Karshenas y Stoneman, 1995) ¹

¹ Karshenas, Stoneman pg. 266-269,

Fig. 2.1: Curva de Difusión



2.4 Modelos de Difusión

2.4.1 Antecedentes y el Modelo Epidemiológico de Difusión

Joseph Shumpeter es considerado el padre del estudio de difusión tecnológica en la economía; sin embargo los primeros estudios que intentaron modelar el fenómeno fueron realizados por estudios de varias disciplinas ajenas, incluyendo sociólogos, geógrafos, antropólogos, y psicólogos, teniendo como objetivos la innovación agrícola y médica. El principal problema que estos estudios consideraban como la razón por la cual algunas empresas se tardaban para innovar era la falta de información sobre las ventajas de la nueva tecnología. Así pues, una empresa carecía de información por lo que consideraba la actividad innovadora altamente riesgosa. Solo tras la adopción por varias otras empresas (resultando en un aumento de la base de información) se disminuiría el riesgo percibido y la empresa en cuestión se inclinaría por adoptar la tecnología.

El problema de información tenía un curioso paralelo en los estudios sobre la difusión de enfermedades, y por esta razón es que inicialmente se modelaron de manera similar. En estos estudios existía una probabilidad de un agente de contraer una enfermedad (probabilidad de adopción), dentro de una población dada (empresas que potencialmente adoptarían). Esta probabilidad aumentaría mientras aumenta el número de personas que han contraído la enfermedad. El resultado es una curva logística similar a la curva S anterior cuando se grafica el porcentaje de personas contagiadas con respecto al tiempo. En estos estudios se enfatizaba el papel de factores psicológicos y sociológicos - no económicos - para influenciar la probabilidad de adopción, el vínculo primordial siendo la eficiencia de las redes de comunicación. Los primeros estudios económicos fueron hechos por Griliches (1957) sobre maíz híbrido en los Estados Unidos y Mansfield (1961) sobre la difusión de doce innovaciones en la industria manufacturera de los Estados Unidos. Sin embargo, ahora el impulsor de la innovación no fueron las redes de comunicación sino la atracción de la innovación, llamada el beneficio de adopción (*adoption profitability*).

La representación matemática del modelo epidemiológico de difusión es la siguiente: Si $x(t)$ es la fracción de adoptantes potenciales que han adoptado ya en tiempo t , la tasa de difusión será dada por $dx(t)/dt$. Esta tasa es proporcional a la fracción de adoptadores $x(t)$ y a la fracción de adoptadores potenciales que quedan ($1-x(t)$):

$$(3) \quad \frac{dx(t)}{dt} = \beta x(t) \cdot (1 - x(t))$$

donde β es una constante. Diferenciando se obtiene:

$$(4) \quad x(t) = \frac{1}{1 + \exp(-\alpha - \beta t)}$$

El resultado es una ecuación de una curva logística de tiempo; es decir una curva en forma de S. La constante α representa el punto en que la curva de difusión comienza a subir, mientras que β representa la pendiente en que sube. Estos resultados son consistentes con los encontrados empíricamente en los trabajos de Griliches y Mansfield entre otros donde las curvas de difusión obtenían formas de S y una curva logística era

la que mejor explicaba la difusión de innovaciones. Las variables que influenciaban la tasa de difusión se dividían entre aquellas relacionadas al adoptador (tamaño de la firma siendo la más significativa pero también incluyendo la tasa de crecimiento de la industria y la calidad de la gerencia) y las relacionadas a la innovación (las más beneficiosas y menos caras). (Coombs et al.).

No obstante, el modelo epidemiológico no ha estado exento de crítica aun considerando su popularidad. Para empezar, el modelo considera a los adoptantes potenciales como receptores pasivos de información, en vez de buscadores activos de ella. Más aún, dado que son modelos enteramente del lado de la demanda, omiten consideraciones de factores de oferta, que incluirían la provisión de información (Karshenas y Stoneman, 1995). Otra crítica fuerte del modelo es que la información generalmente se difunde más rápidamente que el uso de la nueva tecnología y que a raíz de esto los adoptantes potenciales deben ser no solo informados de la innovación sino también persuadidos en adoptarla. Finalmente, y lo que es la crítica más acertada, es que hay muchos otros factores que explican la rapidez de adopción de una innovación, por lo que estudiar el fenómeno de difusión basado meramente en el aspecto de la comunicación de información tiende a ser un fuerte limitante (Geroski, 1999).

2.4.2 Modelos de Umbral

Como ya se mencionó anteriormente, una de las críticas más fuertes a los modelos epidemiológicos que se basan en la difusión de información, es que existen factores adicionales que influyen en la decisión de adopción por parte de empresas o individuos. Esto ha llevado a la formulación de modelos de umbral de difusión donde en esencia se postula, no que la información es imperfecta, sino que a primera vista la innovación no es necesariamente superior a la tecnología existente para algunos adoptantes potenciales. Los modelos de umbral suponen primordialmente que las empresas e individuos actúan de manera óptima; esto lleva a la restricción de que en cualquier periodo, todos los agentes para cual la adopción es beneficiosa, ya han adoptado. Esto por otro lado significa que las empresas que no lo han hecho no están mal informadas sino simplemente esperando el momento óptimo para adoptar. (Lissoni y Metcalfe, 1994).

Los modelos de umbral (también conocidos como modelos de rango o Probit) comienzan con los estudios de Davies (1969) sobre difusión de innovaciones al nivel empresarial. El notó la similitud entre este tipo de estudio y el de los patrones de comportamiento de los consumidores frente a nuevos bienes de consumo. Se suelen llamar modelos Probit porque en la mayoría de los casos basan su estimación en el modelo econométrico del mismo nombre, donde la variable dependiente es una variable dicotómica que indica si adoptó o no la innovación. Otro elemento en los modelos de umbral iniciales es el supuesto en donde los agentes basan su decisión de consumo en la relación entre su ingreso y un “ingreso crítico”. Estos agentes se adueñan de la tecnología si y solo si su ingreso es superior a este punto crítico, que depende tanto del precio del bien como de los gustos y preferencias de los agentes. En cualquier periodo, pues, todos los consumidores con ingreso superior al crítico son dueños del bien. Finalmente, un último supuesto es que supone que la heterofilia es la única fuerza detrás de la difusión, la cual no es instantánea, simplemente porque las empresas o individuos no son idénticos, difiriendo en el ingreso o en su ingreso crítico. Mientras más semejantes sean estas personas, más rápida es la difusión. El modelo de umbral es igualmente adaptable con respecto a empresas en vez de individuos; en este caso simplemente se sustituye ingreso por tamaño de empresa y los supuestos se mantienen.

El modelo matemático de Davies (1969) se basa en un estudio previo de David (1966) sobre difusión de segadores mecánicos en los Estados Unidos durante el siglo pasado. En este caso, la ventaja de los segadores mecánicos sobre técnicas manuales estaba en el ahorro de mano de obra. Así pues se tiene que:

$$(5) \quad S_i w (a_0 - a_1) \geq rp$$

donde:

a_1	= ahorro en mano de obra por segadora mecánica
a_0	= ahorro en mano de obra no-mecánica
w	= nivel general de salario
S_i	= extensión de terreno en la granja i .

p = precio de la innovación
 r = tasa de interés

La ventaja de la segadora mecánica en cuanto a mano de obra se puede expresar por la relación $a_0 - a_1 > 0$. Multiplicando esto por el salario se tienen los beneficios de una unidad de terreno, que multiplicado por el tamaño de la granja S_i se obtiene el beneficio anual. Los costos de adopción se observan en el lado derecho donde están compuestos por el precio de la innovación y su tasa de interés. Así pues, la adopción se da cuando esta condición se cumple. De esta condición se puede derivar el tamaño crítico como:

$$(6) \quad S_i > \frac{rp}{w(a_0 - a_1)} \equiv S_c$$

Nótese que en este modelo la incertidumbre no existe; las empresas conocen el valor de los beneficios de adopción pero se esperan antes de adoptar por el simple hecho de que para muchas empresas, estos beneficios no son suficientes. Los beneficios solo pueden aumentar, consiguiendo así nuevos adoptantes, solo si hay disminuciones de precio o tasa de interés, aumento salarial, o pequeños incrementos novedosos que pueden mejorar la tecnología, haciendo que a_1 caiga. Muchos estudios contemporáneos se han enfocado al lado de la oferta, y ver como el precio de las tecnologías cae a través del tiempo. Esto puede ser gracias a mayor eficiencia productiva que hace que caiga el costo marginal de producción, como también debido a la discriminación de precios que se hace menos evidente mientras mas competitividad exista en la oferta (Lissoni y Metcalfe, 1994).

¿Qué ventajas y desventajas tienen los modelos de umbral frente a los otros modelos de difusión en especial al modelo epidemiológico? En cuanto a enfoque, es evidente que el modelo epidemiológico considera la difusión de información como factor primordial en la difusión de innovaciones, mientras que el modelo de umbral se enfoca hacia las decisiones individuales de adopción de los agentes. El modelo epidemiológico entonces considera a los individuos o empresas como homofilios y receptores pasivos de información de otros mientras que los modelos de umbral se basan en la heterofilia de estos. Es por esto que las diferencias entre individuos y sus gustos y preferencias juegan un papel fundamental en los modelos de umbral. El

ejemplo de Davies (1979) menciona ingreso (o su contraparte al nivel empresarial: tamaño de la empresa) como uno de estas características individuales; sin embargo, no es la única de interés ya que se pueden modelar un sin número de características que puedan tener un tamaño crítico y por lo tanto influir en la adopción. Estas pueden ser costos de adopción, de cambio, o de oportunidad. Tomadas todas estas como un vector de características x_i , se puede entonces construir un vector crítico x^* que contenga todo aquel factor que influye en la decisión de adopción.

Finalmente, como principales críticas, se tiene que los modelos de umbral son menos eficaces que los epidemiológicos en explicar los fenómenos que afectan la interacción entre individuos puesto que los canales de comunicación se toman como exógenos. Así pues, explicar la difusión tecnológica como un fenómeno primordialmente social encontrará en el modelo epidemiológico una mejor herramienta. Los modelos de umbral por su lado, no logran eliminar del todo la exogeneidad en las diferencias en el vector de características entre los individuos. No obstante, es posible combinar ambos modelos, a manera de integrar poblaciones heterogéneas en un modelo epidemiológico, o como lo que es más común y lo que será aplicado en este trabajo, incluir aquellos factores de flujo de información en el planteamiento de un modelo de umbral.

2.4.3. Otros Modelos

Los demás modelos de difusión han recibido menor atención y trato empírico, mas aún están enfocados principalmente hacia la adopción por parte de empresas, no de individuos, por lo que su aplicación a un estudio como éste es menor. No obstante, serán brevemente mencionados con el objeto de hacer una revisión literaria más completa del tema. El primer grupo de estos son los modelos de orden. Estos se basan en la idea de que el orden en que las empresas adoptan la nueva tecnología determina el beneficio neto que obtienen de ellas, y donde las que adoptan primero obtienen retornos más altos. Debido a este efecto de orden al principio solo será rentable adoptar para un numero limitado de empresas (generalmente las mas grandes, con mayor I&D, con mano de obra más capacitada, los mismos factores que afectan los modelos de umbral).

A través del tiempo el retorno neto sobre la adopción aumenta por factores como economías de escala, reducción de costos, de búsqueda e incertidumbre o depreciación.

Un segundo modelo alternativo es el modelo de acervo o stock. Este presenta la idea de que el beneficio neto sobre la adopción depende del acervo total de empresas que han adoptado y este beneficio disminuye mientras el acervo aumenta. Así pues, al principio la adopción solo será rentable para un reducido número de empresas pero los beneficios aumentan mientras más adoptan y caen los costos de producción de estas nuevas tecnologías haciendo caer su precio por lo mismo. Para los modelos de acervo, las características de la tecnología son igualmente importantes que las características de las empresas ya que esta heterofilia empresarial resulta en efectos de acervo diferentes.

Para concluir existen modelos que se desprenden considerablemente de los explicados hasta el momento. Algunos de los más notables son los modelos de aprendizaje Bayesianos en los que se reintroduce la falta de información como el principal determinante en el tiempo de adopción; este se modela por vía de la actitud de la gerencia empresarial hacia la innovación. También existen modelos basados en teoría de juegos, que buscan modelar el comportamiento estratégico de las firmas con respecto a la adopción de innovaciones. La última y posiblemente más significativa alternativa a las teorías de difusión son los modelos evolutivos, desarrollados por Nelson y Winter en el decenio de los 80. Estos modelos estudian la difusión de la tecnología no como una simple adopción de un bien sino como parte de un proceso más complejo que incluye elementos de organización y de cultura empresarial. Dado que las aplicaciones al nivel individual han sido menos desarrolladas en estos modelos, no han sido considerados para este estudio pero un resumen puede encontrarse en Lissoni y Metcalfe (1994) y Karshenas y Stoneman (1995). Finalmente, existen modelos que meramente tratan de estudiar el fenómeno de adopción de tecnología sin tomar en cuenta su difusión a través del tiempo. Este tipo de estudios suelen ser útiles para analizar factores macroeconómicos que afectan los niveles de tecnología agregados, o lo contrario, para ver cómo la adopción tecnológica afecta cuestiones como la capacitación, el empleo y los salarios. Un estudio ejemplar para México de adopción de ciertas tecnologías básicas es el de López-Acevedo (2001).

2.5 Difusión de Computadoras

2.5.1. Historia de la Computación²

El ábaco se puede considerar la primera “computadora” diseñada por el ser humano, aproximadamente 3,000 años antes de Cristo en la antigua Mesopotamia. No obstante tardarían casi cinco milenios hasta que la tecnología fuera suficientemente desarrollada para crear un instrumento mecánico capaz de hacer cálculos básicos. El creador fue el inglés Charles Babbage quien en 1822 inventó la Turbina Diferencial que tenía gran potencial aritmético. Gracias al estudio de la condesa Augusta Ada Byron, esta máquina también fue precursora de la teoría fundamental de la computación incluyendo análisis de datos y dirección de memoria. Mas de cien años después, durante la Segunda Guerra Mundial se logró construir las primeras computadoras modernas: una calculadora programable diseñada por el alemán Konrad Zuse, y las computadoras *Colossus* (Inglaterra, 1943) y *ENIAC* (Universidad de Pennsylvania, 1945). Como muchos inventos de nuestro siglo, estas computadoras tenían un objetivo militar: *Colossus* fue diseñada para quebrar códigos enemigos mientras que *ENIAC* fue hecha para calcular tablas de disparo para artillería.

La invención del transistor en 1947 cambió para siempre el mundo de la computadora. A partir de allí las computadoras avanzaron con grandes pasos incorporando semiconductores y circuitos integrados, el precursor de los microprocesadores de hoy. En 1964 IBM lanzó al mercado su modelo 360 que sería adoptado como un estándar por muchos años. En estos tiempos una “microcomputadora” (término utilizado para diferenciar una computadora personal con los *mainframes* o servidores) costaba alrededor de \$20,000 dólares, poco práctico para todos menos los más aficionados. En 1968, la compañía Intel fue fundada por Gordon Moore y Robert Noyce. Moore se convertiría famoso hasta hoy día por su famosa Ley de Moore, que estima que el poder de los microprocesadores aumentaría al doble cada 18 meses. Casi más de 30 años después, la ley sigue siendo válida. En los años 70, Intel

² El resumen histórico fue recopilado de los siguientes sitios de Internet: *The Virtual Museum of Computing* (<http://vmoc.museophile.org>) y *Triumph of the Nerds!* de PBS (<http://www.pbs.org/nerds>).

lanzó procesadores de 4-bits y 8-bits³ y se establecería como la compañía dominante en fabricación de circuitos integrados hasta el momento.

Los años 70 serían el decenio cuando las computadoras personales vieron su nacimiento y popularización entre una gran parte de la sociedad, al menos en los países del primer mundo. En 1975 salió al mercado la Altair 8800, considerada la primera verdadera computadora personal. Posteriormente nació la empresa Microsoft fundada por Bill Gates y Paul Allen con el objetivo de programar el lenguaje BASIC para el Altair 8800. En los 80 IBM desarrolló la IBM PC mientras que su principal rival, Apple, lanzaría la Macintosh, los dos modelos de computadora que dominan el mercado hoy. La entrada al mercado de los fabricantes “clones” para las PCs (como Compaq) a finales del decenio amplió considerablemente la variedad de modelos de la IBM, logrando también una reducción de precios. Por primera vez en la historia, las computadoras personales eran accesibles para la gran mayoría de la población con costos aproximados de US\$2,000-US\$3,000 al inicio de los 90.

Finalmente, los años 90 vieron el nacimiento del medio masivo más importante jamás creado en la historia: el Internet. El Internet comenzó como una aplicación militar (ARPANET) de una red descentralizada, capaz de operar aún después de un desastre nuclear. Creada en 1969, el ARPANET creció lentamente, limitado generalmente hacia laboratorios gubernamentales e universidades. En 1991, en Suiza, Tim Berners-Lee y la CERN desarrollaron la *World Wide Web* a raíz de un lenguaje de hiper-texto (HTML) que permitía una visualización gráfica del Internet. La invención del WWW fue la chispa que hizo explotar este nuevo medio por el mundo. El número de redes se disparó exponencialmente, y sigue creciendo a un ritmo sin precedentes.

2.5.2 Computadoras en la Economía

La computadora es sin duda la herramienta más revolucionaria de estos tiempos, y uno de los grandes inventos en la historia de la humanidad. Ha cambiado la manera de trabajar, de estudiar, y gracias al Internet, ha traído un mundo de información accesible

³ Un bit representa un valor binario, 0 o 1. El número de bits en un procesador indica cuantas operaciones binarias es capaz de hacer simultáneamente.

a menor costo que cualquier otro medio masivo anterior. Esta importancia no ha sido ignorada por la literatura económica de los últimos años. En primer lugar se encuentran los estudios sobre las Tecnologías Generales, o GPT por sus siglas en inglés (*General Purpose Technologies*). Entre ellas se encuentran innovaciones como la turbina de vapor, el motor eléctrico, y más recientemente los semiconductores y las computadoras. La computadora es claramente un GPT puesto que reúne todas las características de estas tecnologías: tienen el potencial de avances técnicos persistentes; estos avances tienen influencia sobre una gran variedad de aplicaciones que junto con innovaciones complementarias han traído un cambio significativo en el universo de bienes y servicios a nuestra disposición (Bresnahan y Trajtenberg, 1992).

Algunos estudios como Bresnahan y Trajtenberg (1992) analizan las externalidades de dichas tecnologías hacia otros sectores de la economía. Se ha observado que estas GPT proporcionan externalidades verticales en cuanto a innovaciones complementarias dentro del mismo sector, como también externalidades horizontales entre varios sectores que eventualmente adoptan la innovación. Se concluye que la relación de las GPT con el crecimiento depende de manera crítica de la organización de las industrias en los mercados asociados con los GPTs. Helpman y Trajtenberg (1996) posteriormente obtienen evidencia de que durante las etapas iniciales de la difusión de un GPT, existe un periodo de crecimiento intermitente durante el cual los adoptantes tempranos realizan las inversiones necesarias (mientras que los adoptantes tardíos continúan produciendo con el viejo GPT). Es solo cuando una masa crítica de sectores han adoptado y el ingreso real ha aumentado lo suficiente que los pioneros como también los tardados son inducidos a hacer inversiones adicionales que son redituables inmediatamente, generando así un periodo de crecimiento sostenido.

Aparte de los estudios de las computadoras como GPTs, el mayor volumen de literatura referente a ellas analiza su influencia con varios factores como la productividad, el empleo, y la capacitación. Un estudio muy reciente, Atrostic y Nguyen (2002) que utiliza por primera vez datos de un suplemento al censo en Estados Unidos, concluye que el uso de computadoras y redes aumenta la productividad laboral aproximadamente en un 5% a nivel agregado en industrias manufactureras. En cuanto a la demanda laboral, Autor, Katz y Krueger (1997) estiman que aproximadamente entre el 30-50% en el incremento de la tasa de crecimiento de la demanda relativa de obreros

calificados desde 1970 puede ser explicado por la difusión de tecnología de computación. Estos resultados se obtuvieron en un estudio del mercado laboral de Estados Unidos entre 1940-1995 donde se observó que las industrias con mayores mejoras en capacitación (*skill upgrading*) fueron aquellas con mayor crecimiento en uso de computadoras por parte de los empleados. Por otro lado, Borghans y Ter Weel (2002) ofrecen un distinto enfoque con respecto a la distribución de salarios; estiman que la alta desigualdad inicial entre obreros calificados y no-calificados eventualmente cae cuando ambos han adoptado computadoras. Esta desigualdad cae a un nivel dependiendo de las diferencias en ganancias de productividad por usar las computadoras. En un trabajo posterior (2003), estos mismos autores demuestran que las diferencias en habilidades de computación son necesarias para explicar mejoras de capacitación y que en términos generales, las diferencias en salarios se deben al hecho de que las computadoras se introducen primero en trabajos de salarios altos por eficiencia de costos. Lo que queda claro con estos estudios es que las computadoras han tenido un impacto positivo en la productividad aunque han generado brechas salariales entre los sectores calificados y no-calificados de la economía. Sin embargo, la literatura parece no llegar a un acuerdo en cuanto a las razones de este impacto. Varios estudios en los países latinoamericanos llegan a conclusiones semejantes en cuanto al efecto de la difusión tecnológica en general; estos son Pavnick (2000) para Chile, y Hanson y Harrison (1995) y López-Acevedo (2001) para México.

2.5.3 Computadoras en el Hogar

Mucho se ha escrito sobre los efectos que las computadoras han tenido en el campo laboral y en la economía como agregado, sin embargo, pocos estudios económicos han incursionado en el ámbito de la productividad individual. Pero no hace falta hacer un análisis profundo de su impacto para ver que las computadoras han revolucionado la actividad humana, al menos de aquellos con acceso a ellas. Las computadoras han hecho que tareas como la escritura, la edición y el diseño se vuelvan altamente sencillas y automatizadas, y más importante, abriendo nuevas posibilidades para personas que inclusive no son expertos en esas áreas. Procesadores de palabras hacen posible la realización de documentos profesionales de una manera más sencilla y

menos costosa, hojas de cálculo hacen en un segundo el trabajo de varios minutos con una calculadora de bolsillo, el correo electrónico hace posible la comunicación casi instantánea, lo que antes tardaría días o hasta semanas usando los métodos tradicionales, además de costar una fracción de lo que costaría una llamada telefónica. Por medio del Internet, se puede obtener información que hace un decenio hubiera sido casi imposible obtener por otros medios. Así pues, en casi todos estos aspectos, la computadora representa una mejoría considerable sobre los métodos anteriores que ha reemplazado; una indiscutible ganancia en cuanto a tiempo, facilidad de uso, y reducción de costos.

¿Porqué una persona compra una computadora en su hogar? Por un lado, existe la posibilidad de utilizarla para fines laborales, siendo un complemento al equipo de oficina. Sin embargo, su uso doméstico puede verse limitado a una serie de actividades de interés personal y no profesional. Por lo general, estas caen en cuatro rubros principales, la primera es trabajo personal no relacionado a las actividades laborales, la segunda es el uso en actividades académicas, la tercera es comunicación (generalmente por medio del Internet), y finalmente es por entretenimiento. De esta manera, salvo para los que utilizan la computadora casi exclusivamente para fines recreativos, la computadora representa más que un gasto, una inversión, que se reditúa en una mayor eficiencia, un ahorro en recursos, y un aumento en el tiempo disponible para otras actividades.

Desde este punto de vista personal, cabe mencionar un estudio de Goolsbee y Klenow (1999), que analiza la difusión de computadoras al nivel individual (la mayoría de los trabajos han estudiado el fenómeno al nivel empresarial) y que vincula esta difusión con los canales de comunicación existentes entre consumidores. Se tomaron datos de una encuesta privada realizada a más de 110,000 hogares en Estados Unidos que buscaba analizar preferencias y actitudes de los individuos hacia una amplia gama de tecnologías de consumo modernas, incluyendo computadoras y el Internet. De allí se analizaron las externalidades de aprendizaje y de redes de comunicación en la difusión de esta tecnología. Se demuestra que la difusión está altamente relacionada con las computadoras siendo parte de redes de información y comunicación, como son la influencia de familiares y amigos, la intensidad de uso de éstas en el ambiente local, y el acceso al Internet y correo electrónico. Por otro lado efectos al nivel ciudad no resultaron significativos. En conclusión el estudio demostró fuerte evidencia de que

existe un sistema de difusión semejante a aquel del modelo epidemiológico donde la interacción de individuos es el principal motor de este fenómeno.

2.6 Objetivos e Hipótesis

La hipótesis fundamental de este trabajo es que la difusión de tecnología depende tanto de variables particulares de los individuos (como serían las demográficas y socio-económicas) como también de las extensas redes de comunicación entre y a través de los diversos sistemas sociales que existen en la región de estudio. Esto es equivalente a afirmar que, en efecto, tanto los factores que caracterizan a los modelos epidemiológicos como a los de umbral son significantes en la decisión de adopción de una tecnología nueva, en este caso de computadoras. Así pues, se pretende probar que esta decisión está compuesta tanto por consideraciones sobre un umbral de beneficio (basado en una percepción de costo-beneficio), como también consideraciones a partir de los efectos de red que existen dentro de su sistema social. A partir de estas hipótesis se pueden plantear una serie de objetivos del trabajo específicos. Esta investigación tiene tres puntos concretos de interés que son los siguientes:

1) *Graficar la curva S de difusión y analizar la forma y trayectoria de la curva.*

Como se ha mencionado en las secciones anteriores, la curva S de difusión indica la manera en que la difusión se está llevando a cabo dentro de un sistema social a través del tiempo. Graficando la curva en el caso de las computadoras en Puebla nos daría información sobre en qué punto de la curva se encuentra el proceso de difusión en éste momento. Siguiendo este mismo planteamiento, se da lugar a estudiar la principal tecnología complementaria de la computadora: el Internet, que es un fuerte componente en la relación hardware-software y en las redes de comunicación entre individuos, de esta manera se hará una gráfica similar para la difusión de Internet. De acuerdo a las tendencias observables, se espera que el proceso de difusión en Puebla se encuentre en un periodo de despegue, debido al ímpetu generado por un mayor acceso al Internet como también por la disponibilidad de equipos baratos y financiamiento flexible.

2) *Probar la existencia de efectos de red en la decisión de adopción.* Los efectos de red en particular las externalidades se han explicado y demostrado en la literatura tal

como en Economides (1995), Church Gandal y Krauze (2002) y Goolsbee y Klenow (1999). Este último estudio encontró evidencia empírica en los Estados Unidos de externalidades de red en la difusión de computadoras personales. Estos efectos de red se pueden demostrar observando vínculos entre el usuario y el sistema social y acceso a tecnologías complementarias de comunicación como sería el Internet.

3) Por último, *determinar si el efecto epidemiológico o el efecto umbral es el predominante en la difusión de la innovación en México*. En pocas palabras, esto implicaría determinar cual de los dos modelos tradicionales de difusión tecnológica es el más apropiado para estudiar el caso particular de la difusión en nuestro país. Mientras que estudios como Goolsbee y Klenow (1999) encuentran fuertes vínculos entre la difusión y los canales de comunicación, es muy posible que estos no estén igualmente desarrollados en México como en Estados Unidos. Esto podría ser debido a la mayor desigualdad de ingreso y de educación en nuestro país, lo que haría que la decisión de adopción se vuelva una cuestión de percepción de necesidad, más que de influencia o de *“keeping up with the Joneses”* (estar a la vanguardia). Debido a esto, se espera que en México exista una tendencia hacia efectos de umbral debido a que los individuos obtendrán beneficios menores (por ejemplo al no necesitar computadora tanto en el hogar como en el trabajo) y/o se enfrenten a costos excesivos de adopción de acuerdo a su nivel socioeconómico.

En resumen este trabajo pretende analizar el comportamiento de la difusión de tecnología en nuestro país, en donde el área de muestra es la ciudad de Puebla, y la tecnología es la computadora personal. Al no casarse con ninguno de los dos modelos prevalecientes en la literatura, el trabajo está abierto a la posibilidad de que las variables que afectan a ambos estén presentes de manera conjunta (aunque como ya se mencionó, se espera que los efectos de umbral prevalezcan). Entender cómo las computadoras se han difundido entre los hogares de la ciudad es entender al mismo tiempo el mecanismo que podría influir en la difusión de cualquier otra tecnología, tanto a nivel individual como a nivel empresarial.