

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE MINAS  
ESCUELA DE SISTEMAS

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA  
INDUSTRIA DEL SOFTWARE EN COLOMBIA ANTE  
ESCENARIOS DE CAPACIDADES DE INNOVACIÓN Y  
VENTAJAS COMPARATIVAS POR MEDIO DE  
DINÁMICA DE SISTEMAS**

por

Karla Cristina Palomino Zuluaga

Director: SANTIAGO ARANGO ARAMBURO

Trabajo Dirigido de Grado como requisito parcial para optar al título de  
Magíster en Ingeniería de Sistemas

Julio de 2011

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

RESUMEN

FACULTAD DE MINAS  
ESCUELA DE SISTEMAS

Trabajo Dirigido de Grado como requisito parcial para optar al título de  
Magíster en Ingeniería de Sistemas

por Karla Cristina Palomino Zuluaga

Este trabajo contiene inicialmente la identificación de las características y limitaciones de la industria de software colombiana, seguida de una revisión del estado del arte en el estudio de las capacidades de innovación y ventajas comparativas desde la perspectiva de dinámica de sistemas, teniendo en cuenta diferentes elementos teóricos que conforman la industria del software. Estos elementos fueron integrados en un modelo de dinámica de sistemas que permite explicar el fenómeno de surgimiento y crecimiento de la industria de software en Colombia; país cuyas firmas ingresaron tardíamente al mercado de software.

El modelo propuesto consiste en una adaptación al caso colombiano del modelo general para el crecimiento y surgimiento de las empresas de software en países de ingreso tardío propuesto por Pérez (2011). El objetivo de la adaptación del modelo es evaluar los efectos de las capacidades de innovación, a nivel de firma, y las ventajas comparativas, a nivel país, sobre las ventas y los beneficios en la industria de Software en Colombia.

La metodología utilizada por Pérez (2011) para el modelamiento es Dinámica de Sistemas. Esta herramienta permite hacer un análisis prospectivo mediante la simulación de escenarios base, óptimos y extremos, teniendo en cuenta las variables relacionadas con las capacidades de innovación y las ventajas comparativas.

A partir de las simulaciones y los escenarios analizados se concluyó que las firmas de software en Colombia poseen un bajo nivel de capacidad, y por lo tanto, se requiere una mayor inversión por parte de las firmas, ya que un aumento de la inversión en capacidades de innovación influye positivamente en el crecimiento de las ventas domésticas y los beneficios que obtienen las firmas por éstas. Igualmente, las ventas en el mercado internacional se pueden ver influenciadas por el incremento de factores que definen las ventajas comparativas del país.

**Palabras Clave:** Capacidades constitutivas de innovación, ventajas comparativas, Industria del Software, Dinámica de Sistemas.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

ABSTRACT

FACULTAD DE MINAS  
ESCUELA DE SISTEMAS

A thesis submitted in partial fulfillment for the degree of  
MSc in Systems Engineering

by Karla Cristina Palomino Zuluaga

This work contains an identification of the characteristics and limitations of the Software Industry in Colombia, followed by a review of the state-of-the-art in the study of innovation capabilities and comparative advantages from a systems dynamics perspective. This review contemplates several theoretical aspects that constitute the software industry and that were integrated into a systems dynamic model. This model explains the emerging and growing phenomenon of software industry in Colombia, whose software firms entered late in the software market.

The proposed model is an adaptation to colombian case of the general model for emerging and growing phenomenon of software industry in late-entry countries proposed by Pérez (2011). The model aims to evaluate the effects of innovation capabilities at firm level, and comparative advantages at country level, over sales and profits in the software industry in Colombia.

In so doing, systems dynamics was used as a tool, because it allows a prospective analysis by the simulation of base, optimal and extreme scenarios, considering variables related to the innovation capabilities and comparative advantages.

From the simulations and discussed scenarios, we concluded that software firms in Colombia have a low level of capacity and therefore, firms require greater investment, since an increase in the investment of innovation capabilities influences positively the growth of domestic sales and the profits obtained by these firms. Similarly, sales in the international market may be influenced by the increase in factors that define the country's comparative advantages.

**Keywords:** Innovation Capabilities, Comparative Advantages, Software Industry, Systems Dynamics

# Índice general

<b>Agradecimientos</b>	<b>VII</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos	4
1.1.1. Objetivo General	4
1.1.2. Objetivos Específicos	4
1.2. Organización del Documento	5
<b>2. La Industria del Software en Colombia y sus Limitaciones</b>	<b>6</b>
2.1. Contextualización	6
2.2. Caracterización de la Industria Colombiana de Software	8
2.2.1. Oferta de Productos de Software	9
2.2.2. Demanda de Productos de Software	10
2.2.3. Capital Humano	11
2.2.4. Protección de la Innovación	14
2.2.5. Políticas	15
2.3. Evolución de la Industria del Software en Colombia	15
2.4. Problemas y Barreras de la Industria	16
<b>3. Estado del Arte y Marco Teórico</b>	<b>18</b>
3.1. Introducción	18
3.2. Marco Teórico	18
3.2.1. Capacidad Tecnológica de Innovación	19
3.2.2. Difusión de Innovación y Efectos de Red	21
3.2.3. Externalidades de Red	23
3.2.4. Ingreso Tardío	24
3.2.5. Ventajas Comparativas	25
3.3. Estado del Arte	26
<b>4. Modelamiento Caso Colombiano</b>	<b>29</b>
4.1. Introducción	29
4.2. Justificación del uso de la metodología	29
4.3. Metodología de Trabajo	30
4.3.1. Etapa de Conceptualización	30
4.3.2. Etapa de Representación o Formulación	39
4.3.3. Etapa de Análisis y Evaluación	50
<b>5. Simulaciones y Análisis de Resultados</b>	<b>56</b>

5.1. Simulaciones . . . . .	56
5.1.1. Escenario Base . . . . .	56
5.1.2. Escenario 1 . . . . .	57
5.1.3. Escenario 2 . . . . .	59
5.1.4. Escenario 3 . . . . .	60
5.1.5. Escenario 4 . . . . .	61
5.1.6. Escenario 5 . . . . .	62
5.1.7. Escenario 6 . . . . .	63
5.1.8. Escenario 7 . . . . .	64
5.1.9. Escenario 8 . . . . .	64
5.2. Discusión de Resultados . . . . .	65
<b>6. Conclusiones y Trabajos Futuros</b>	<b>69</b>
6.1. Conclusiones . . . . .	69
6.2. Trabajos Futuros . . . . .	71
<b>Bibliografía</b>	<b>73</b>
<b>A. Criterios de Ponderación</b>	<b>82</b>
<b>B. Test de Consistencia Dimensional</b>	<b>87</b>
B.1. Dimensiones y definición de variables para el modelo de capacidades de innovación . . . . .	87
B.2. Dimensiones y definición de variables para el modelo de ventajas comparativas	93

# Índice de figuras

2.1. Ventas de software en Colombia (2005-2008) . . . . .	8
2.2. Exportaciones de las firmas en Colombia (2000-2009) . . . . .	9
2.3. Actividades de las empresas de software en Colombia . . . . .	9
2.4. Tipo de aplicaciones desarrolladas por las empresas de software en Colombia	10
2.5. Ingenieros y tecnólogos en Colombia (2001-2006) . . . . .	12
2.6. Demanda y oferta de recursos humanos en Colombia (2005-2030) . . . . .	13
2.7. Número de universidades y salarios por país (2007) . . . . .	13
4.1. Hipótesis dinamica del modelo general de surgimiento y crecimiento de las firmas de software . . . . .	32
4.2. Diagrama causal - Capacidades constitutivas de innovación. . . . .	34
4.3. Diagrama causal - Capacidad de I+D - Dinámica Nuevas Versiones. . . . .	35
4.4. Diagrama causal - Capacidad de I+D - Dinámica personal. . . . .	36
4.5. Diagrama causal - Capacidad de mercadeo. . . . .	36
4.6. Diagrama causal - Capacidad de fabricación. . . . .	37
4.7. Diagrama causal - Ventajas comparativas. . . . .	38
4.8. Diagrama general interacciones del modelo propuesto. . . . .	38
4.9. Diagrama de Forrester - Modelo de Capacidades de Innovación. . . . .	43
4.10. Diagrama de Forrester - Modelo ventajas comparativas. . . . .	46
4.11. Estrategias de costos y precios seleccionadas. . . . .	49
4.12. Tendencia logarítmica de las Ventas de software en Colombia (2005-2008)	54
4.13. Resultados - Test de condiciones extremas. . . . .	55
5.1. Resultados simulación Escenario Base. . . . .	58
5.2. Resultados simulación Escenario 1. . . . .	59
5.3. Resultados simulación Escenario 2. . . . .	60
5.4. Resultados simulación Escenario 3. . . . .	61
5.5. Resultados simulación Escenario 4. . . . .	62
5.6. Resultados simulación Escenario 5. . . . .	63
5.7. Resultados simulación Escenario 6. . . . .	64
5.8. Resultados simulación Escenario 7. . . . .	65
5.9. Resultados simulación Escenario 8. . . . .	65
5.10. Comparación de variables entre escenarios para la firma entrante. . . . .	66

# Índice de tablas

4.1. Niveles Diagrama Forrester - Capacidades de Innovación. . . . .	40
4.2. Flujos de Diagrama Forrester - Capacidades de Innovación. . . . .	41
4.3. Tamaño de las firmas . . . . .	42
4.4. Variables auxiliares de Diagrama Forrester - Capacidades de Innovación. . . . .	42
4.5. Pesos de capacidades por tamaño de empresa. . . . .	42
4.6. Parámetros Diagrama Forrester - Capacidades de Innovación. . . . .	43
4.7. Niveles Diagrama Forrester - Ventajas Comparativas. . . . .	44
4.8. Flujos Diagrama Forrester - Ventajas Comparativas. . . . .	45
4.9. Variables Auxiliares Diagrama Forrester - Ventajas Comparativas. . . . .	45
4.10. Parámetros Diagrama Forrester - Ventajas Comparativas. . . . .	46
5.1. Porcentajes de inversión por capacidad constitutiva para el Escenario Base. . . . .	56
5.2. Tiempos de entrada versiones - Firmas Pionera y Entrante. . . . .	57
5.3. Valores Niveles iniciales capacidades - Firmas Pionera y Entrante. . . . .	57
5.4. Porcentajes de Inversión para la firma Entrante. . . . .	58
5.5. Tiempos de entrada de las versiones de producto - Escenario 2. . . . .	60
A.1. Criterios de ponderación para microempresas. . . . .	83
A.2. Criterios de ponderación para pequeñas empresas. . . . .	84
A.3. Criterios de ponderación para medianas empresas. . . . .	85
A.4. Criterios de ponderación para grandes empresas. . . . .	86

## Agradecimientos

Agradezco especialmente a mi madre por el apoyo que me ha brindado, por la paciencia y por los ánimos que recibí de ella día a día. A mi padre por todo lo que me brindó cuando estuvo cerca. A mi novio porque su apoyo incondicional me permitió llenarme de fuerzas y levantarme todas las veces que intenté desfallecer.

También aprovecho para agradecer a la profesora Ana Lucía Pérez, a quien admiro y aprecio, por todas sus enseñanzas, consejos y guía constante. A los profesores Santiago Arango y Jorge Robledo por sus aportes y acompañamiento

Adicionalmente, a todos los miembros del proyecto “Metodología para la Medición y Evaluación de Capacidades de Innovación en Empresas de Software y Tecnologías Relacionadas y su Aplicación Experimental en Antioquia”, porque sin ellos nada de esto hubiera sido posible.

Finalmente, un agradecimiento especial para COLCIENCIAS e INTERSOFTWARE, por apoyar la investigación y por su financiación en el transcurso de este proyecto.

A todos mil gracias ...

*Karla Cristina Palomino Zuluaga*

# Capítulo 1

## Introducción

El sector de las *Tecnologías de la Información* (TI) ofrece oportunidades únicas para que países en vía de desarrollo den un salto en su evolución económica, política, social y cultural (Castellanos et al., 2007). Dentro del sector TI, se encuentra el sector de *Software*, el cuál en los últimos años ha sido considerado un sector estratégico y determinante para el desarrollo de economías emergentes (Castellanos et al., 2007).

Un país se considera de *ingreso tardío* en una industria cuando sus firmas ingresan a un mercado y al menos una firma de otro país ya se encuentra posicionada y compitiendo por el mercado potencial (Arora et al., 2005). Según esto los países de ingreso tardío tienen firmas que entran al mercado cuando otras llamadas Pioneras ya entraron. El mercado de software es una oportunidad para firmas pertenecientes a países de ingreso tardío. Firmas de países de ingreso tardío como Irlanda, India e Israel, y a nivel latinoamericano como Brasil, México, Argentina y Chile, han ingresado al mercado, emergido y crecido en mercados con firmas pioneras bien establecidas. (Arora and Gambardella, 2005a; Arora et al., 2005). Diversos factores han caracterizado el crecimiento y surgimiento de la industria de éstos países, entre ellos *las capacidades de innovación* de las firmas que los conforman y *las ventajas comparativas* (Arora and Gambardella, 2005b).

Colombia como país de ingreso tardío en mercados de software posee diferentes desventajas frente a sus competidores (FEDESOFIT, 2008; PROEXPORT, 2008). Estas desventajas se refieren principalmente a la poca experiencia con respecto a los demás países en los procesos de producción y a que la estructura de costos de producción de firmas pioneras pertenecientes a otros países es más flexible (Arora and Gambardella, 2005b; Bain, 1956). Además de las desventajas por el tiempo de entrada, la industria de software en Colombia presenta también deficiencias en diferentes aspectos relacionados con las firmas y sus empleados. Entre éstos se encuentran el desconocimiento de los procedimientos para llevar a cabo exportaciones, bajo nivel de bilingüismo y certificaciones de los empleados, poca inversión en capacidades de innovación, tasa de éxodo de empleados hacia el exterior alta y bajas tasas de retorno de los empleados (FEDESOFIT, 2008, 2009; PROEXPORT,

2008). Adicionalmente, la disminución del número de graduados de Ingeniería de Sistemas reduce la mano de obra calificada requerida para la industria (Mckinsey, 2008; Nasscom Report, 2008; PROEXPORT, 2008).

No obstante, Colombia tiene a su favor algunos factores para observar oportunidades en la industria del software. Entre ellos están los bajos costos por programador, si bien la madurez de las firmas no hace posible flexibilizar su estructura de costos, si se cuenta con el salario más competitivo de América Latina (PROEXPORT, 2009). Adicionalmente el nivel de los empleados en habilidades básicas (matemáticas, economía, administración, contaduría) es alto comparado con el nivel de otros países latinoamericanos (WEF, 2005). Otros factores como multinacionales y diáspora se encuentran presentes en Colombia, sin embargo, en la actualidad no están siendo focalizados a obtener a partir de éstos una oportunidad en el mercado internacional (FEDESOFTE, 2008; PROEXPORT, 2008). Los factores que determinan a las ventajas comparativas permiten incrementar las oportunidades de las firmas de un país en el mercado internacional (Arora and Gambardella, 2005a; Arora et al., 2005)

En general, las fortalezas y debilidades de la industria del software de Colombia han sido identificadas por diferentes organizaciones mediante diversos estudios que han ayudado a la caracterización del sector. Entre estas organizaciones se encuentran la *Federación Colombiana de la Industria del Software y Tecnologías relacionadas* (FEDESOFTE); la corporación INTERSOFTWARE; PROEXPORT; Ministerio de Comercio, Industria y Turismo; La *Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales de Colombia* (DIAN), el *Departamento Administrativo Nacional de Estadística* (DANE), Cámara de Comercio de Medellín, y Cámara de Comercio de Bogotá. Estas organizaciones coinciden en la definición de factores que deben caracterizarse en la industria de Software, tales como oferta y demanda de productos de software y actores que participan en la industria.

Con el fin de revisar el estado actual de propuestas similares a las que en este trabajo se proponen, se encuentran varios trabajos que utilizan dinámica de sistemas como herramienta para el estudio de los fenómenos que envuelve y que se relacionan con las capacidades de innovación y ventajas comparativas, aplicados a la industria manufacturera, vinera y de la construcción. Unos de estos trabajos son los expuestos en Bayer and Gann (2006) quien estudia el comportamiento y efectos de las capacidades de innovación y recursos dentro de las firmas y su acumulación a lo largo del tiempo. También se tiene el estudio de Tarek and Wahba (2005) que consiste en un modelo para simular el efecto de la variable exportaciones en la industria de software de Egipto; por otro lado se encuentra el estudio de Grobler (2010) en el cual se simulan la dinámica de las capacidades de fabricación y su importancia en el fortalecimiento interno de las firmas, y por último, el estudio de Kunc (2007) en el cual se concluye la importancia de la construcción de clústers de empresas para el fortalecimiento de las capacidades de innovación de las pequeñas y medianas empresas, y su efecto en la internacionalización de las mismas.

Por otro lado, se realizó una revisión de modelos que explican el comportamiento de las firmas en una industria. Entre los más citados se encuentran los modelos de difusión de productos y efectos de red, los cuales contemplan las influencias internas y externas sobre el crecimiento de las firmas (Bass, 1969, 2004; Mahajan and Muller, 1979; Meade and Islam, 1998; Verhulst, 1838), los modelos analíticos que estudian los efectos positivos de la red en las decisiones de compra, estrategias de mercado y equilibrio entre oferta y demanda (Chanda and Bardhan, 2008; Economides, 1996a; Griliches, 1957; Mahajan and Peterson, 1978; Maier, 1998; Mansfield, 1961; Polo, 1987; Randles, 1983; Rogers, 1983; Tanner, 1978; Teece, 1980). De igual forma, existen modelos y conceptos que establecen la definición y las consecuencias del ingreso tardío a una industria y el orden de entrada es un factor clave para el desempeño de las firmas (Lieberman and Montgomery, 1998). En particular, la industria del software provee mejores oportunidades para las firmas que ingresan más temprano que otras (Ries and Trout, 1986); sin embargo, dadas las incertidumbres del mercado, cuando una firma pionera no reacciona ni se adapta a las nuevas necesidades de los clientes, puede significar una oportunidad de ingreso para nuevas firmas (Richardson, 1998).

Como tema central de la tesis se encuentran las capacidades de innovación (a nivel de firma) y las ventajas comparativas (a nivel de país), las cuales han sido variables clave dentro del fenómeno de ingreso tardío de las firmas a una industria (Arora and Gambardella, 2005b; Athreye, 2005; Breznitz, 2005; Giarratana et al., 2005; Junqueira et al., 2005; Sands, 2005; Tschang and Xue, 2005). Pocas firmas entrantes tardías han logrado ingresar a los mercados internacionales, lo cual ilustra las dificultades presentes en la construcción de capacidades de innovación, entre otros factores de entrada que influyen, y la adaptación a la misma evolución del mercado (Rousseva, 2007). La comprensión de oportunidades y debilidades en la industria de software en Colombia puede tener un impacto positivo económico y dan lineamientos conceptuales al gobierno, a las empresas y a la universidades.

Este trabajo representa un aporte práctico/técnico a la industria del Software, específicamente en el caso colombiano. Se lleva a cabo un estudio del comportamiento de firmas de Software que hacen parte de la industria. El análisis se lleva a cabo mediante un modelo general de dinámica de sistemas para el estudio del crecimiento de las firmas de software pertenecientes a países con economías emergentes (Pérez et al., 2009), el cual es adaptado al caso colombiano con el fin de realizar un análisis prospectivo a partir de simulación. Se incluye en el modelo las capacidades constitutivas de innovación como variables influyentes en la capacidad de innovación de las firmas y las ventajas comparativas como variables que afectan la competitividad de las firmas que hacen parte del país. Adicionalmente se adecúan los parámetros del modelo general a la situación actual del país. Adicionalmente, el modelo se integra con un sistema de lógica difusa (Aguirre et al., 2009a,b), el cual permite determinar un criterio estable de medición y evaluación de las capacidades de innovación. Éste contempla la percepción de los empresarios y valores cuantitativos. El

nivel inicial de capacidades de innovación con los que se realizaron las simulaciones fueron obtenidos a partir de información de diferentes estudios realizados para la industria de Software (BSA, 2006; Castellanos et al., 2007; CCB, 2005; DANE, 2007; Datanalisis, 2005; DNP, 2007; FEDESOFTE, 2009; ICEX, 2005; McKinsey, 2008; Mincomercio, 2008a; PROEXPORT, 2009), y de datos obtenidos en la Cámara de Comercio de Medellín (CCM, 2009). El modelo permite analizar el comportamiento del sistema bajo diferentes escenarios, concluir y proponer políticas de acción. Finalmente, es importante indicar que esta investigación se encuentra en el marco del proyecto “METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE CAPACIDADES DE INNOVACIÓN EN EMPRESAS DE SOFTWARE Y TECNOLOGÍAS RELACIONADAS Y SU APLICACIÓN EXPERIMENTAL EN ANTIOQUIA”, financiado por Colciencias, código: “1118-405-20314. CT”.

## 1.1. Objetivos

A continuación se presentan los objetivos planteados para el desarrollo y focalización del trabajo de investigación.

### 1.1.1. Objetivo General

Explicar el comportamiento de la industria del software en Colombia teniendo en cuenta dos niveles de agregación (a nivel de firma y a nivel regional) ante escenarios de capacidades de innovación y de ventajas comparativas por medio de dinámica de sistemas.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Realizar una revisión crítica del estado del arte que permita tomar elementos importantes y adoptarlos en el modelo que se piensa proponer.
- Plantear una hipótesis dinámica basada en el modelo general de surgimiento y crecimiento de la industria de software en países de ingreso tardío, adecuándola a la industria del software colombiana.
- Modelar y simular las dinámicas endógenas y exógenas inducidas por las capacidades de innovación en empresas de software pertenecientes a Colombia visto como país de ingreso tardío.
- Hacer uso de escenarios para la explicación y comportamiento del modelo tanto en situaciones ideales, como en las mismas situaciones posibles dentro del caso colombiano.

## 1.2. Organización del Documento

Esta tesis se encuentra organizada de la siguiente forma:

- En el Capítulo 2 se presenta una descripción del problema de investigación enmarcado en un contexto global, seguido de la caracterización de la industria del Software en Colombia en cuanto a oferta y demanda, incluyendo tipos de productos, tipos de servicios, clientes que predominan, nivel de ventas, nivel de exportaciones, políticas restrictivas y políticas de motivación, habilidades del personal que conforma las firmas de software y su nivel educativo, y finalmente factores que hacen de Colombia un país con ventajas comparativas frente a otros países.
- En el Capítulo 3 se encuentra el estado del arte relacionado con diferentes propuestas cuya aproximación metodológica es la dinámica de sistemas, y posteriormente se expone un marco teórico desagregado en diferentes elementos relevantes para la construcción del modelo: capacidades de innovación, difusión de innovación, externalidades de red, ingreso tardío y ventajas comparativas.
- En el Capítulo 4 se describe la metodología que se lleva a cabo para la elaboración del modelo propuesto por medio de la hipótesis dinámica del modelo general de surgimiento y crecimiento para la industria de Software presentado en Pérez et al. (2009), donde se incluye el efecto de las capacidades constitutivas de innovación y las ventajas comparativas. Además se lleva a cabo la validación estructural y de comportamiento del modelo
- En el Capítulo 5 se describen las simulaciones realizadas, en las cuales se analizan inicialmente un escenario base, el cual contempla una situación estándar dada para el caso colombiano, y posteriormente se exponen diversos escenarios que se obtienen a partir de la variación de elementos relevantes dentro del modelo, como lo son: el precio del producto, los porcentajes de inversión en capacidad, tiempo de entrada de las versiones de producto, participación en el mercado. Posteriormente se presenta el análisis de los resultados generados a partir de dichas simulaciones.
- Por último, en el Capítulo 6 se concluye acerca del impacto que tiene la inversión en capacidades de innovación en el ingreso de una firma al mercado y los efectos positivos tanto de las capacidades de innovación como de las ventajas comparativas en las ventas.

## Capítulo 2

# La Industria del Software en Colombia y sus Limitaciones

### 2.1. Contextualización

Los países de ingreso tardío son aquéllos que entran a un mercado cuando otros ya estaban posicionados (Arora et al., 2005). Algunos países con economías emergentes cuyas firmas han ingresado a la industria del software son India, Irlanda, Israel—(3I's), China y Brasil. Estos países han ingresado, surgido y crecido exitosamente en la industria (Arora and Gambardella, 2005a,b). Algunas características de estos países se describen a continuación:

**India:** en los últimos quince años ha surgido como un exportador importante de servicios de software en la economía internacional, cuyo incremento en ventas de software entre 1995 y 2000 creció a una tasa superior al 50 % (Arora and Gambardella, 2005b). A pesar de los temores que el mercado del software de la India se derrumbaría en medio de la recesión de los EEUU, el crecimiento del software continua, aunque a un ritmo más lento, y la industria se ha diversificado y adaptado en otros mercados (Arora and Gambardella, 2005a; Arora et al., 2005).

**Irlanda:** en poco más de 20 años alcanzó uno de los niveles más altos de desarrollo humano e ingreso per capita de la región (Arora and Gambardella, 2005b). La educación ha sido un elemento importante. Irlanda tiene más de 30 universidades y centros de excelencia con costos razonables, lo que le permite contar con un equipo de servicios profesionales de primer nivel. Se apuesta por un conjunto de políticas educativas a favor de la competitividad y las nuevas tecnologías, con cerca de dos mil graduados por año. En Irlanda el ingreso de las multinacionales de computadores, equipos de telecomunicaciones, electrónica y software es anterior al crecimiento de la industria de software local (Giarratana et al., 2005).

**Israel:** la industria de software ha crecido notablemente durante las dos últimas décadas. En 1984, la industria exportó menos de US\$ 5 millones y tuvo un total de ventas de US\$ 370 millones. En el 2003, la industria exportó más de US\$ 2,6 mil millones, con ingresos de US\$ 3,7 mil millones. Distinto a la industria India de software, la industria Israelí se basa en la innovación orientada al producto, y es intensiva en *Investigación y Desarrollo* (I+D) (Breznitz, 2005).

**China:** la industria China es difícil de caracterizar, dado que aún se encuentra en etapa de surgimiento. Su economía doméstica ha provisto de amplias oportunidades a las empresas de software nacionales y extranjeras (Tschang and Xue, 2005). Mientras que la industria India está principalmente orientada a la exportación y el mercado doméstico es en su mayoría dominado por las multinacionales, las empresas nacionales Chinas dominan el 33 % de su mercado doméstico, un mercado que tiene el potencial de incrementarse de 33 % a 60 % en 10 años con políticas oficiales (Arora and Gambardella, 2005b).

**Brasil:** durante los 90's, desarrolló una grande y dinámica industria de software. Su proporción en el mercado interno de TI se incrementó, superando el hardware, para convertirse (junto con los servicios relacionados) en el segmento más importante después del 2002. Entre 1991 y el 2001, su proporción per cápita se triplicó a 1.5 %. Valorado en US\$ 7,7 mil millones, comparable en tamaño con los mercados de India y China (Junqueira et al., 2005). A pesar de recientes dificultades económicas que ha pasado el país, la industria Brasileña de software ha mantenido tasas de crecimiento por encima del promedio de la industria y el promedio para la industria global de software. Por el lado de las exportaciones estas alcanzaron US\$100 millones en el 2001, solo el 2 % del mercado total, debido a que Brasil se ha dedicado a la industria doméstica (Junqueira et al., 2005).

**Argentina:** A nivel latinoamericano en los últimos años se ha evidenciado el crecimiento de la industria del software en países como Argentina, cuya industria se encuentra en un grado de maduración y desarrollo que alcanza el tercer lugar de Latinoamérica después de Brasil y México (Ministerio de Economía de Argentina, 2004). Argentina ha conquistado además el mercado internacional, actualmente se cuenta con 1.000 empresas que exportan sus productos a 100 países. Las exportaciones corresponden aproximadamente al 30 % de las ventas entre 2006 y 2007 (OPSSI, 2008). Para 2016 se espera un crecimiento de del 90

Por otro lado, existen diferencias entre países en cuanto a sus estrategias de crecimiento de la industria. Las empresas de Brasil y China son bastante diversificadas (Junqueira et al., 2005; Tschang and Xue, 2005) y tratan de maximizar los ingresos provenientes del acceso preferencial por la industria doméstica. Por el contrario, las empresas Indias exportan servicios de Software y las empresas Israelíes se centran en el desarrollo y exportación de productos intensivos de tecnología (Arora et al., 2005). En cuanto a las ventajas comparativas, existen algunas similitudes entre los países de ingreso tardío. Inicialmente, las 3I's contaban con una mano de obra que dominaba un segundo idioma (inglés),

técnicamente calificada, y contaban con una diáspora preponderante en importantes mercados de exportación, además las multinacionales jugaron un papel importante dentro de cada industria (Arora et al., 2001; Torrisi, 1998).

## 2.2. Caracterización de la Industria Colombiana de Software

El sector Colombiano de Software para el año 2005 estaba conformado por 561 empresas, el 97 % de ellas nacionales y el 3 % restante extranjeras (ESI, 2008). En 2008 se registraron 700 empresas de Software, con un nivel de ventas creciente, como se evidencia en la Figura 2.1. Esta figura muestra el comportamiento de las ventas desde 2005 a 2008, que incluye tanto las ventas de las empresas extranjeras como de las nacionales.

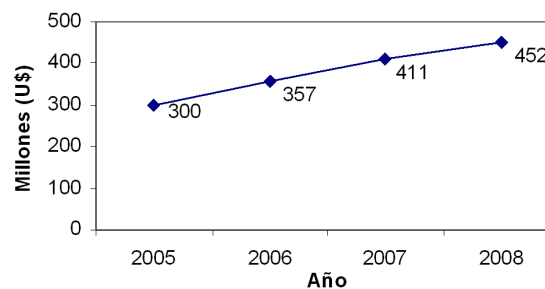


FIGURA 2.1: Ventas de software en Colombia (2005-2008). Fuente: FEDESOFTE (2009)

Algunas de las empresas nacionales ya se encuentran posicionadas en el mercado internacional como prestadoras de servicios y desarrolladoras de software a la medida (FEDESOFTE, 2008). Si bien el porcentaje de empresas extranjeras es pequeño comparado con el porcentaje de empresas nacionales, se ha evidenciado que el 50 % de las exportaciones provienen de las ventas internacionales de las multinacionales (FEDESOFTE, 2009). Para el año 2003 las multinacionales que registraron mayor nivel de ventas fueron Hewlett Packard, IBM, Dell Computer, MPS Mayorista y Unisys de Colombia S.A. (ICEX, 2005). Los principales destinos de estas exportaciones son EE.UU y países latinoamericanos como Venezuela, Ecuador, México, Salvador, Panamá, Chile y Brasil. La Figura 2.2 muestra el comportamiento de las exportaciones para los años comprendidos entre 2005 y 2008.

Las cifras que se muestran están subestimadas ya que solo contienen los datos de exportaciones en material físico, es decir cintas y CD que salen desde aeropuertos, puertos o carreteras. No se tiene en cuenta las exportaciones de Software que se hacen en vías electrónicas y que representan la gran mayoría de ventas del sector (DANE, 2007).

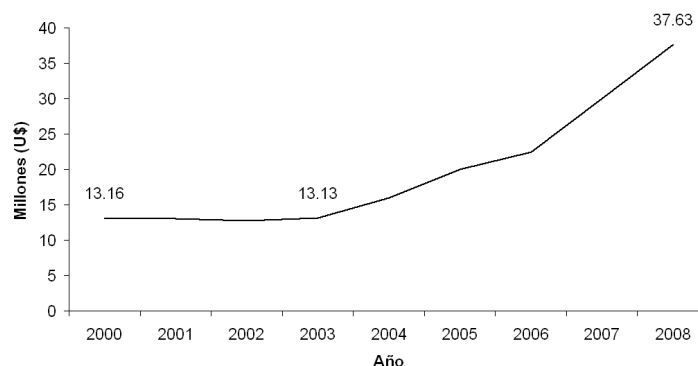


FIGURA 2.2: Exportaciones de las firmas en Colombia (2000-2009). Fuente: DANE (2010)

### 2.2.1. Oferta de Productos de Software

En términos generales de acuerdo al grado de estandarización el Software se clasifica en dos tipos: Software empaquetado y Software a la medida (FEDESOFTE, 2008). En el tema de servicios se identifican consultoría en sistemas, integración de sistemas, desarrollo de software, outsourcing de sistema, servicio de procesamiento, educación y capacitación, mantenimiento y soporte de equipo, mantenimiento y soporte de software, consultoría e integración de redes y administración de redes (ESI, 2008; ICEX, 2005). En la industria colombiana se han identificado según la actividad a la que se dedican 162 empresas de Instalación y Comercialización, 146 empresas de Consultoría de TI, 133 empresas se dedican al desarrollo de software a la medida, 133 empresas a implementación de software y 127 empresas se dedican a prestar servicios de soporte (FEDESOFTE, 2009). En la Figura 2.3 se muestra la información en porcentajes, los cuales no suman un 100 % dado que una misma empresa puede dedicarse a varias actividades, por lo general combinando la prestación de servicios con la venta de software bien sea empaquetado o hecho a la medida (CCB, 2005).

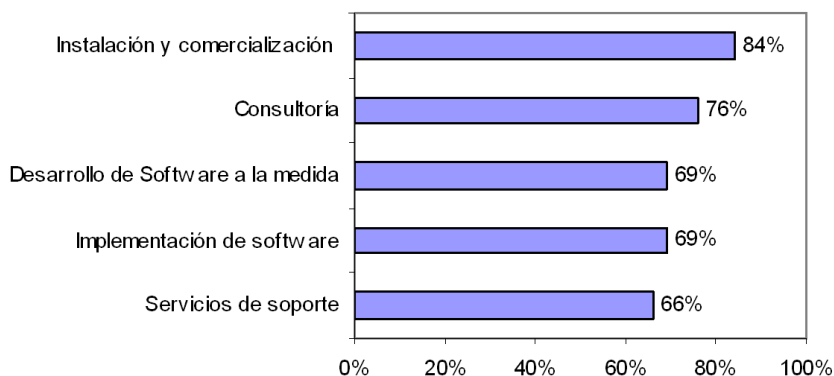


FIGURA 2.3: Actividades de las empresas de software en Colombia. Fuente: ESI (2008)

Del total de empresas el mayor porcentaje se dedica al desarrollo de aplicaciones de tipo financiero (52 %), seguido de aplicaciones para la gestión de facturación (50 %), y aplicaciones ERP y control de inventarios (40,3 %) (ESI, 2008). La Figura 2.4 muestra

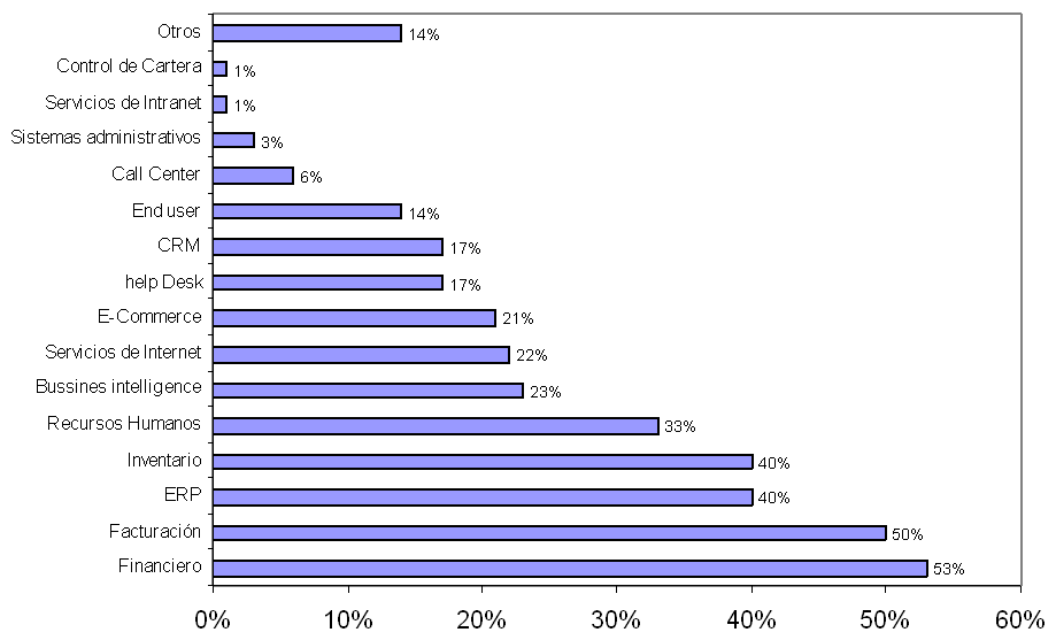


FIGURA 2.4: Tipo de aplicaciones desarrolladas por las empresas de software en Colombia.  
Fuente: Datanalisis (2005)

la clasificación del tipo de aplicaciones desarrolladas por las empresas de software en Colombia, donde se puede observar que el menor porcentaje está asignado al desarrollo de software de cartera y servicios de Intranet. Las principales aplicaciones de software comercial producido por las empresas colombianas son demandas por el sector real y de servicios (PROEXPORT, 2009) que demandan soluciones para automatizar los procesos financieros, de facturación y ERP, la adecuación de éstos a las necesidades locales, y al desarrollo de aplicaciones y portales de Internet (Datanalisis, 2005).

### 2.2.2. Demanda de Productos de Software

El consumo de productos de software se ubica en las principales ciudades del país como Bogotá, Cali, Cartagena, Medellín, Barranquilla y Bucaramanga, puesto que allí se concentra la mayor población de Colombia. Bogotá fue la ciudad que generó más ingresos para el sector con respecto al resto de las ciudades del país (Castellanos et al., 2007). En Bogotá se generaron ventas por 1.558 mil millones de pesos y en el resto de la ciudad por 60 mil millones de pesos (Castellanos et al., 2007).

Para 2001 las exportaciones de software tenían como destino principal a países limítrofes tales como Ecuador 29,01 % y Venezuela 23,68 %, adicionalmente se encuentran los destinos de Estados Unidos 9,06 % Panamá 6,22 %, México 3,42 %, El Salvador 2,15 %, Brasil 1,37 % y Chile 1,01 %. Para 2005 los principales países que contratan empresas colombianas desarrolladoras de software son Ecuador (48 %), Venezuela (28 %), Costa Rica (24 %), EE. UU (16 %), Perú (12 %), Puerto Rico (12 %), Chile y México (8 %) (FEDESOFTE, 2008; ICEX, 2005).

En general, el mercado de software internacional es altamente segmentado, razón por la cual las empresas locales tienden a complementar su oferta de servicios asociados con productos altamente estandarizados, y desarrollos de software a la medida atendiendo diversos sectores y sin que esta actividad contribuya claramente a la especialización productiva (Ríos, 2005). La industria, el comercio, los servicios, el Gobierno y el sector financiero son los que más demandan software y servicios asociados (Mincomercio, 2008a).

En la actualidad se continúan desarrollando los mismos productos y servicios sin existir innovaciones en los procesos. La incursión en nuevos mercados solo es realizada por un reducido grupo de innovadores, los cuales están apoyados por entes internacionales y no nacionales (Castellanos et al., 2007). En Colombia aún no se ha logrado desarrollar una industria de TI y software con una participación importante en las exportaciones (ICEX, 2005). Existe una motivación por parte de las empresas exportadoras a establecer presencia comercial en los países a donde exportan, o a establecer alianzas con empresas mundialmente reconocidas, operando básicamente por medio del pago de franquicias o regalías, considerando además que los principales inconvenientes en el comercio de esta clase de servicios es el de requerimiento de presencia comercial por parte de la empresa exportadora. Los empresarios colombianos consideran que puede haber mercado para los servicios de consultoría en implementación de proyectos, servicios de desarrollo de software vertical para diferentes sectores económicos, servicios y aplicaciones de Internet móvil para operadores celulares y compañías tradicionales (EAFIT, 2003).

### **2.2.3. Capital Humano**

Las firmas de software requieren un capital humano con diversas habilidades. Entre ellas tener una buena formación en aptitudes básicas en matemáticas, economía, administración, contaduría (PROEXPORT, 2008). Igualmente contar con capacidades para la gestión y la investigación, con certificado en el manejo de herramientas, dominar un segundo idioma y tener experiencia en el área de mercadeo y ventas (Burgelman et al., 2008; Capaldo et al., 2003; DNP, 2007; Manu and Sriram, 1996; Sterlacchini, 1999; Torrisi, 1998). Estos son requerimientos generales para proveer productos especializados que demanda el mercado. La experiencia del capital humano de las firmas de software en Colombia se encuentra distribuida así: en Diseño y Desarrollo 89 %, en programación 87 % y en Gerencia de Proyectos 87 % (DNP, 2007).

El nivel de calidad en matemáticas y ciencias de la educación favorece a Argentina y a Colombia, quienes cuentan con la mejor calidad en matemáticas y ciencias de la educación con una calificación de 3,8 sobre 7, superados por Costa Rica con una calificación de 4. Brasil, México y Chile poseen el nivel mas bajo, con calificaciones de 2,9, 3,2 y 3 respectivamente (WEF, 2005).

En promedio, cerca de 13.400 personas se graduaron al año como ingenieros o técnicos

de sistemas entre el año 2001 y el año 2006 en Colombia (PROEXPORT, 2009). En la Figura 2.5 se observa que en el año 2001 el número de graduados de carreras técnicas era mayor que el número de graduados de ingeniería. Desde el año 2002 se ha registrado un mayor número de egresados de ingeniería de sistemas que de áreas técnicas, lo cual podría interpretarse como que a 2006 se cuenta con personal más calificado y con un perfil más amplio y acertado que suple la demanda de la industria. Aunque el número de egresados de ingeniería de sistemas ha superado a los de carreras técnicas, la tendencia no es creciente, dado que se ha observado una disminución del 5 % anual de egresados de ingenierías.

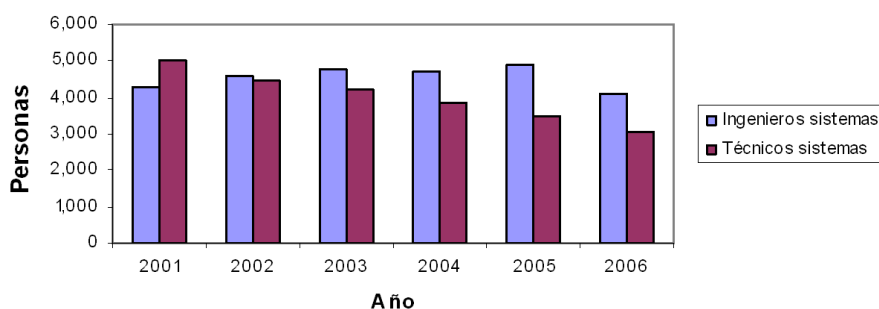


FIGURA 2.5: Ingenieros y tecnólogos en Colombia (2001-2006). Fuente: PROEXPORT (2009)

El país cuenta con 7.395 profesionales en el campo del software y actividades similares, 1.730 tecnólogos, 1.320 posgraduados, 1.248 bachilleres, 1.118 Técnicos en el 2007 (DNP, 2007). Del total del recurso humano, solo 3.261 son bilingües, por lo tanto las empresas de software colombianas requieren desarrollar estrategias de industrialización y habilidades bilingües para competir en los mercados extranjeros (Mckinsey, 2008).

La oferta actual estimada de recurso humano listo para trabajar en la industria no es suficiente para alimentar un camino de alto crecimiento inicial. La oferta actual de graduandos listos para ser contratados, como se indica en la Sección 2.4, se encuentra en 14 % del total. Como se observa en la Figura 2.6, la oferta ha sido suficiente hasta 2009, dado que la industria del software en Colombia se encuentra focalizada en el mercado local. Aún si se mantuviera un crecimiento moderado constante en la industria, la demanda no alcanzaría a ser cubierta por la oferta de recursos humanos según el estado actual de la misma.

Para el año 2008, Colombia registró el índice más alto en América Latina de disponibilidad de mano de obra calificada (The World Competitiveness Yearbook, 2008). Como se observa en la Figura 2.7, Colombia obtiene el tercer puesto en número de universidades registradas en América Latina, por debajo de Brasil y México; pero por encima de Argentina, Perú y Chile. A pesar de esto, no es suficiente y es necesario lograr una sinergia real entre la universidad y la industria que permita la disponibilidad de programas más estructurados, con enfoques más precisos de la investigación y desarrollo, e incorporar casos de negocios locales que permitan que las universidades trabajen sincronizadas con la industria regional

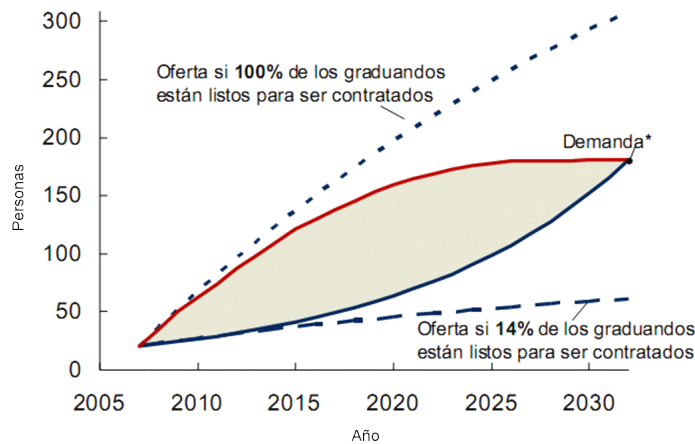


FIGURA 2.6: Demanda y oferta de recursos humanos en Colombia (2005-2030). Fuente: Mincomercio (2008a)

(UAO, 2006).

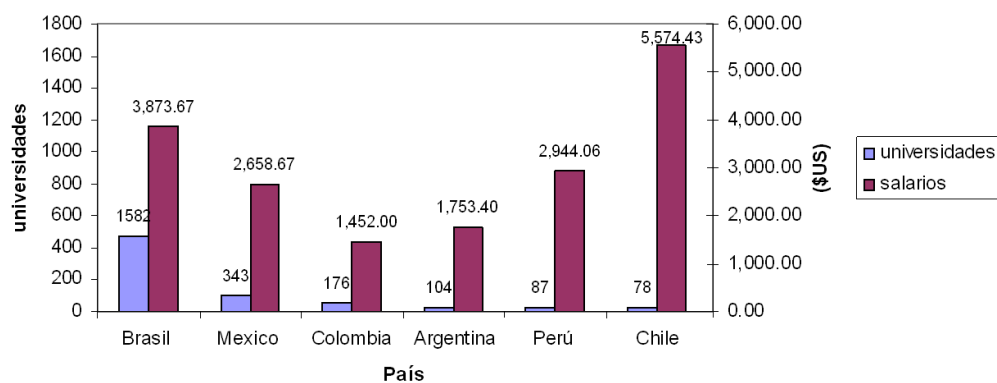


FIGURA 2.7: Número de universidades y salarios por país (2007). Fuente: PROEXPORT (2009)

Colombia tiene el salario mensual más competitivo de América Latina (PROEXPORT, 2009). Teniendo en cuenta para la emisión de este juicio las variables salario y habilidades del recurso humano. La remuneración promedio de un programador en Colombia es de US\$1.450 mensuales, siendo la más baja comparada con la remuneración en otros países latinoamericanos, ya que en Argentina se registra un promedio de US\$1.753 y en Brasil y Chile de US\$3.874 y US\$5.574 mensuales respectivamente. Colombia puede competir y aprovechar dicha ventaja relativa de costos, aunque para ser un competidor global exitoso este elemento no sea suficiente, si puede ayudar acompañada de otros elementos (Mincomercio, 2008a).

De acuerdo con la revisión de la industria de Software en Colombia, se puede decir que Colombia tiene fortalezas que podría aprovechar para mejorar el desempeño de la industria del software y captar una mayor parte del mercado internacional Mincomercio (2008a). Estas ventajas se refieren principalmente a los costos por programador, en compañía de las habilidades que caracterizan al personal y en general a los egresados de

ingeniería de sistemas. Éstos pueden significar un factor relevante dentro de la definición de ventajas comparativas respecto a otros países. De acuerdo con FEDESOFTEC, gracias a la entrada de multinacionales, la demanda de software nacional del segmento alto de empresas se ha fortalecido al hacerse más sofisticada, tener más experiencia en la negociación de sus contratos, y hacerse más exigentes en la calidad.

La diáspora profesional es otra fortaleza a potencializar en Colombia. La diáspora es ventaja directa cuando el personal que sale de las firmas desea comercializar, invertir y subcontratar con los negocios domésticos; además, puede ser una ventaja indirecta cuando los que salen de las firmas al exterior actúan como intermediarios de buena reputación, apoyando la contratación, aprovechando sus relaciones a largo plazo, y cambiando estereotipos negativos nacionales a través de la demostración de sus capacidades (Giarratana et al., 2003). Para Colombia, la existencia de recursos humanos altamente calificados en el exterior puede contribuir a pensar en una estrategia de cambio significativo del perfil productivo de la industria nacional, con un consecuente incremento del contenido de conocimiento en los productos y servicios nacionales. Sin embargo se presenta el problema conocido como *Brain drain* o fuga de cerebros que perjudica al país, ya que la tasa de retorno del personal es menor a la tasa de salida, por lo cual los demás países son los beneficiados con el conocimiento local.

#### 2.2.4. Protección de la Innovación

Otro de los factores que caracterizan la industria a analizar está relacionado con la protección de la innovación de productos de software. La protección de la innovación tiene gran relevancia cuando se trata de mejorar la posición competitiva (Torrise, 1998). La propiedad intelectual a nivel mundial se encuentra respaldada por la *Organización Mundial de la Propiedad Intelectual* (OMPI — Siglas en inglés WIPO), la cual tiene que ver con las creaciones tales como: invenciones, obras literarias y artísticas, símbolos, nombres, imágenes, dibujos y modelos utilizados en el comercio. Además se hace una diferenciación entre propiedad industrial y derechos de autor. Mientras que la primera trata principalmente de la protección de las invenciones, las marcas, los dibujos o modelos industriales, y la represión de la competencia desleal; los derechos de autor recaen sobre obras literarias, artísticas, musicales, emisiones de radiodifusión, programas de ordenador entre otros.

En Colombia, la protección de propiedad intelectual está regida por el artículo 61 de la Constitución Política de Colombia, según el cuál, el Estado protegerá la propiedad intelectual por el tiempo y mediante las formalidades que establezca la ley (Constitución Política de Colombia, 1991). La protección de los derechos de autor está regulada por la Ley 23 de 1982, la Ley 44 de 1993 y la Decisión 351 del Acuerdo de Cartagena y sus decretos reglamentarios, el Decreto Presidencial 460 de 1995 (Registro Nacional de Derecho de Autor), el Decreto 1360 de 1989, mediante el cual se reglamenta la inscripción

del soporte lógico (software) en el Registro Nacional del Derecho de Autor.

En Colombia se ha observado una reducción de la tasa de piratería, la cual se encuentra en un 56 % (BSA, 2009). Durante el último año un total de US\$136 millones se perdieron como consecuencia de esta actividad ilegal, 7 % más que en el año 2008. La piratería de software aún representa un problema serio para el desarrollo de las industrias de tecnologías de la información en América Latina, afectando negativamente las economías locales, en gran medida por la pérdida de empleos, y se reducen las oportunidades de crecimiento para mercados de software que están en desarrollo (BSA, 2009).

### 2.2.5. Políticas

Para incentivar a los empresarios a conquistar el mercado internacional, se han creado varios mecanismos como incentivos a exportar productos de software. El estatuto tributario permite que los servicios intermedios de la producción que se presten a sociedades de comercialización internacional sean exentos del impuesto sobre las ventas, siempre y cuando el bien final sea efectivamente exportado. Para este efecto, la comercializadora internacional debe expedir al proveedor de servicios un certificado, mediante el cual, la comercializadora se obliga a exportar el bien objeto del servicio prestado.

Adicionalmente, los servicios que sean prestados en el país en desarrollo de un contrato escrito, y que se utilicen exclusivamente en el exterior por empresas o personas sin negocios o actividades en Colombia, se encuentran exentos de IVA. Para acceder a este beneficio las empresas deberán estar inscritas en el *Registro Único Tributario* (RUT) al momento de constitución de la compañía y registrar los contratos ante el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.

Con motivo de incentivar la investigación, desarrollo e innovación en productos de software, también se ha creado un mecanismo que consiste en la exención del impuesto sobre la renta en la producción de software, rentas de fuente nacional o extranjera originadas en la producción de software elaborado en Colombia y que cuente con un alto contenido de investigación científica y tecnología (Estatuto tributario, 2009). Considerar además que la renta originada por la producción de software elaborado en Colombia comprende la explotación del mismo a través de actividades como la elaboración, enajenación, comercialización o licenciamiento del software certificado (Estatuto tributario, 2009).

## 2.3. Evolución de la Industria del Software en Colombia

En el caso colombiano, el crecimiento de la economía ha mantenido una senda de estabilidad a lo largo de la última década, sólo interrumpida por la crisis de 1999, año en el cual se registró una caída del 4,3 % en el PIB. A mediados de los años 90 se

llevaron a cabo las mejores iniciativas dirigidas a fomentar el uso de las tecnologías de información. A partir del año 2000 se registran crecimientos moderados de la industria, estos gracias a la mejora en las expectativas empresariales internas y a una política monetaria controlada (ICEX, 2005). En 2004 se observó la creación de un 16 % de nuevas empresas de software y un 18 % de nuevos empleos respecto al año anterior. Entre 2005 y 2007 la industria de software tuvo un crecimiento del 26 % y los empleos aumentaron en un 40 % (FEDESOFTE, 2008; PROEXPORT, 2008). Para los años 2007 y 2008 se tiene un crecimiento del mercado de un 7 %; para el año 2009 se registra una cifra similar. Se espera que esta cifra continúe creciendo entre 7 % y 8 % cada año (SOFTIC, 2009).

En Colombia, los desarrollos de software iniciaron de manera artesanal, para los cuales no se seguía ningún estándar de calidad ni metodologías de desarrollo. Con la llegada de nuevas tecnologías, plataformas de desarrollo y programas de formación superior mejor estructurados, se inició un proceso de mejoramiento de procesos entre los que se incluye el tema de la planeación y seguimiento de los proyectos de software (Arboleda, 2005).

## 2.4. Problemas y Barreras de la Industria

Se han identificado algunos problemas a nivel de firmas y a nivel país que impiden a las firmas fortalecerse y a Colombia ingresar al mercado internacional de software. De forma general, los principales problemas son los siguientes (Castellanos et al., 2007; FEDESOFTE, 2008, 2009; McKinsey, 2008; Mincomercio, 2008a; PROEXPORT, 2008, 2009): desconocimiento del proceso de exportaciones, precios poco competitivos para el mercado internacional, bajos estándares de calidad, inconvenientes con el idioma de los países a exportar y finalmente, poca capacidad para realizar alianzas estratégicas. Estos problemas están normalmente relacionados con las firmas de software. De hecho, se ha identificado un bajo número de empresas de Software reportadas ante el *Software Engineering Institute* (SEI) por solicitar evaluaciones en *Capability Maturity Model Integration* (CMMI). En el año 2002 el número de evaluaciones no ascendía a diez, en comparación con EEUU que reportaba para este año 1.498 evaluaciones, y la India 153 evaluaciones (Cooper and Fisher, 2002; López, 2003). Para el año 2008 Colombia reportaba 18 empresas con evaluaciones CMMI, 6 de ellas en nivel 3, sin embargo, las evaluaciones de la India ascendieron a 323 y el mayor número de ellas en nivel 5 (ESI, 2008), para el año 2010 el número de certificaciones para las firmas colombianas asciende a 40, se observa un aumento considerable, esto gracias a un programa desarrollado por el SENA, Colciencias y Proexport apoyando a cerca de 60 compañías a obtener la certificación (FEDESOFTE, 2010). De estas certificaciones y estándares de calidad depende que los productos desarrollados por las firmas tengan un nivel de calidad con el cual se pueda competir en el mercado externo.

Por otro lado, en la industria se presentan dificultades para encontrar personal especiali-

zado para suplir la demanda de productos que debería ofrecer una firma de Software. A pesar de contar con 16.263 egresados de TI en Colombia en el 2008, solo 6.804 cuentan con la educación formal, sin embargo éstos no son aptos para la industria, y se requiere entrenamiento adicional para poder cumplir los requisitos. Únicamente el 14 % del total de egresados se encuentra listo para ser contratado (FEDESOFTE, 2009; Observatorio laboral, 2008). Además, se requiere un mejor nivel de capacitación, dado que solo el 19 % es bilingüe y no se tiene definido un perfil de arquitectos o gerentes de proyectos, el perfil es básicamente operativo (Ministerio de comercio, industria y turismo, 2006). El problema de personal se agrava considerando que el número de graduados de Ingeniería de sistemas ha caído un 5 % anual. Esta cifra es baja comparada con otros países de ingreso tardío como China, India, Korea y Brasil, los cuales han mostrado incrementos de hasta el 26 % anual de graduados para el caso de China, y del 10 % para el caso de Brasil (Nasscom Report, 2008). Hacia el futuro, dado el continuo crecimiento del sector TI, la oferta estimada de técnicos, tecnólogos y profesionales de sistemas y electrónica no serán suficientes para suplir la demanda después del 2011 (Mincomercio, 2008b).

En Colombia existen dificultades para los empresarios respecto a la política fiscal y tributaria del país, los cuales deben invertir dinero adicional en la retención que se aplica a todos los productos de software construidos tanto al fabricante, como al mayorista y el usuario final. Esto representa un impedimento para los empresarios para llevar a cabo exportaciones del producto de software, ya que disminuye de forma considerable el capital de trabajo de una empresa, lo cual lleva a los empresarios a invertir de forma insuficiente en capacidades de innovación (ICEX, 2005).

Adicional a las deficiencias descritas para la industria de software en Colombia, el país tiene desventajas notables frente a sus competidores, quienes ya se encuentran posicionados en el mercado. Estas desventajas se refieren principalmente a la experiencia que tienen los demás países en los procesos de producción y comercialización de sus productos, el reconocimiento de firmas pioneras y preferencias por parte de los usuarios de elegir productos ya establecidos, además, la estructura de costos de producción de software de las firmas pertenecientes a países pioneros es más flexible. He aquí la importancia de fortalecer las capacidades de innovación dentro de las firmas, de tal forma que sea posible proyectar algunas ventajas comparativas que permitan a Colombia mostrarse como un país que ofrece un producto que pueda competir con los ofrecidos por otros países y que además pueda ser producido a costos menores.

## Capítulo 3

# Estado del Arte y Marco Teórico

### 3.1. Introducción

Este capítulo presenta inicialmente el estado actual de los diferentes elementos teóricos que conforman la industria de software y que ayudan a explicar su dinámica. Los elementos que se presentan son las capacidades de innovación, difusión de innovación y efectos de red, externalidades de red, ingreso tardío al mercado, y finalmente, ventajas comparativas. La presentación busca ir mas allá de los conceptos y se exponen los principios para el modelamiento del comportamiento de la industria de software en Colombia. Posteriormente se presenta una revisión del estado actual de diversas propuestas de modelos que abordan el estudio de las capacidades de innovación desde la perspectiva de dinámica de sistemas, mediante una descripción del modelo propuesto y las desventajas de cada una de estas.

### 3.2. Marco Teórico

En esta sección se exponen varios elementos como las capacidades de innovación y las capacidades que las constituyen, las cuales representan los recursos de las empresas de software. Así mismo se aborda el tema de la difusión de innovación que permite reconocer los canales de transferencia de la innovación logradas por las firmas mediante el fortalecimiento de las capacidades constitutivas de innovación. Mas adelante se introduce el concepto de externalidad de red, el cual tiene sentido cuando se pretende competir exitosamente en la industria, teniendo en cuenta el tiempo de ingreso de las firmas y las interacciones entre clientes y los beneficios que traen dichas interacciones a las firmas. Una vez analizados los elementos de las firmas y la forma de interactuar con otros actores del sistema es necesario introducir los conceptos que afectan a la región en este caso al país, estos conceptos están dados por las ventajas comparativas de una región en la producción de productos de software.

### 3.2.1. Capacidad Tecnológica de Innovación

La *Capacidad Tecnológica de Innovación* (CTI) se define como “la gran variedad de conocimientos y habilidades necesarias que las empresas pueden adquirir, asimilar, utilizar, adaptar, cambiar y crear tecnología” (Ernst et al., 1998). La literatura presenta diferentes propuestas metodológicas para el tema de capacidades de innovación. A continuación se describen de forma breve algunas de ellas.

La capacidad de innovación representa una serie de recursos que las empresas poseen o no poseen, y de la combinación de los mismos depende la eficacia del proceso de innovación y consecuentemente la generación de novedades (Winter, 2003). La empresa se visualiza como poseedora en cualquier momento de ciertas capacidades y reglas de decisión (rutinas). Estas últimas con el tiempo se modifican debido a los esfuerzos deliberados que realizan los actores para resolver los problemas que se presentan, y también como respuesta a los eventos aleatorios a los que se enfrentan. En este sentido, la empresa puede concebirse como un ser vivo en constante evolución, que resulta del aprendizaje colectivo en las rutinas organizativas y en los procesos de búsqueda, selección y retención de fuentes de riqueza empresarial (Winter, 2003). Esto es, los procesos de desarrollo de nuevas rutinas capaces de crear valor en diferentes condiciones competitivas que perduren en el tiempo.

Vence Deza (1995) define las rutinas como reglas y procedimientos de decisión, constituyendo estructuras previsibles y uniformes, que son el producto de procesos de aprendizaje, lo que posibilita la toma de decisiones en las organizaciones donde se implementan. Cuando adquieren las rutinas, la consideración de genes de la empresa determinan lo que la empresa es y lo que puede llegar a ser, teniendo en cuenta las condiciones en las que desarrollan sus actividades. Las rutinas son resultados de la historia pasada, por lo que su reproducción en otros contextos es compleja; de esta forma, se explica su carácter específico y lo idiosincrásico de sus procesos de creación.

El carácter de la rutina dentro de las capacidades dinámicas, implica que las organizaciones desarrollen experiencia gradualmente inmersa en la rutina, para el desarrollo de las capacidades, ya que los costos asociados a esto tienden a decrecer en el tiempo (Zahra et al., 2006). Las capacidades dinámicas pueden, por lo tanto, hacer de las organizaciones más eficientes en su capacidad para generar la rutinización de actividades y que se constituye en uno de los aspectos más importantes para que la organización constituya una ventaja competitiva (Baden-Fuller and Volberda, 2001).

Para la organización innovadora, el desarrollo de ese conjunto de capacidades dinámicas le llevará a adoptar roles y retos necesarios en una estrategia orientada hacia la innovación, que permita la obtención de ventajas competitivas temporales. Esto ocurre en un ambiente que es cambiante y que no permitirá disponer de fórmulas seguras, pero que sí permitirá responder ante las crisis con mayor acierto y flexibilidad. Puede suponerse

entonces que un mejor y acertado desarrollo de las capacidades dinámicas conducirá a un mejor desempeño innovador.

Las capacidades de innovación son fuente de competitividad de las empresas, donde la innovación tiene que ver con la generación y gestión del conocimiento y consecuentemente con el proceso de aprendizaje (Dosi et al., 2001; Leonard-Barton, 1995; Teece and Pisano, 1994). Las capacidades de innovación son construidas a lo largo del tiempo y no son fácilmente observables, por lo que su análisis exige una reconstrucción a través del tiempo.

López y Muin (2007) plantean que la capacidad tecnológica se puede dividir en dos clasificaciones, la explotación de las capacidades tecnológicas inicialmente generadas a partir del logro de la innovación radical que se convierte en el diseño tecnológico dominante a través de un largo período de tiempo y, en segundo lugar, con respecto a la innovación incremental sucesiva, el mejoramiento de determinadas características, hasta ser superada por un cambio hacia un nuevo sistema. Sin embargo, las CTI no sólo dependen de capacidad tecnológica, sino también de la capacidad crítica en el ámbito de la fabricación, comercialización, organización, la planificación de la estrategia, el aprendizaje y la asignación de recursos (Guan et al., 2006). Las CTI han sido definidas a partir de 7 dimensiones; capacidad de I+D, la capacidad de fabricación, capacidad de comercialización, la capacidad de explotar los recursos, capacidad de organización, y capacidad estratégica. En conclusión, las CTI de una empresa se basan en múltiples criterios, que pueden ser cuantitativos y cualitativos.

De acuerdo con el trabajo de Aguirre et al. (2009a), se tiene una propuesta que ofrece un modelo basado en las capacidades de innovación, descritas por Wang et al. (2008) y Rousseva (2008), y que toma como capacidades constitutivas las siguientes: Capacidades de I+D y Aprendizaje Tecnológico (Burgelman et al., 2008; Guan and Ma, 2003; Yam et al., 2004), la Capacidad de Gestión de Recursos (Barton, 1984), la Capacidad de Mercadeo (Achilladelis and Antonakis, 2001; Yam et al., 2004), Capacidades de Fabricación (Guan and Ma, 2003; Yam et al., 2004), y Capacidad de Decisión Estratégica (Lefebvre et al., 1998; Yam et al., 2004).

**La Capacidad de I+D** Ayuda a una empresa a ampliar sus tecnologías existentes y establecer nuevas tecnologías, o mejorar la función de investigación y desarrollo. La capacidad de I+D comprende principalmente el porcentaje de investigadores del total de empleados (Lefebvre et al., 1998), tasa de éxito de productos de I+D (Aguirre et al., 2009b), el número de patentes (Achilladelis and Antonakis, 2001; Damanpour and Wischnevsky, 2006; OECD, 1996), y la intensidad de I+D (Damanpour and Wischnevsky, 2006; Manu and Sriram, 1996; OECD, 1996; Sterlacchini, 1998; Yam et al., 2004); estos criterios se miden cuantitativa y cualitativamente.

**Capacidades de Gestión de Recursos** Comprende las condiciones previas necesarias para garantizar a la firma la adquisición y asignación apropiada de cada recurso fundamental para un correcto funcionamiento y desempeño con un capital óptimo (Burgelman

et al., 2008), la intensidad de aportación de capital (Capaldo et al., 2003; Sterlacchini, 1999), y retorno de la inversión (Manu and Sriram, 1996).

**Capacidades de Mercadeo** Significa en una empresa la capacidad para promover y vender productos sobre la base de entendimiento de la demanda de los clientes, que es principalmente influenciado por la cuota de mercado (Manu and Sriram, 1996), el control de las fuerzas del mercado (Guan and Ma, 2003), la unidad especializada de comercialización (Achilladelis and Antonakis, 2001), y los porcentajes de exportación (OECD, 1996; Sterlacchini, 1999); todos subjetivos a excepción de los porcentajes de exportación.

**Capacidades de Fabricación** Indica la capacidad de una empresa para transformar resultados de I+D en técnicas de producto y mejoras en la calidad del producto. Capacidades de fabricación tales como la fabricación avanzada de tecnología (Guan and Ma, 2003), tasa de éxito de la comercialización (Yam et al., 2004), la producción de calidad a nivel personal (Yam et al., 2004), y ciclo de vida del producto (Guan and Ma, 2003), se evalúan subjetivamente.

**Capacidad de Dirección Estratégica** Denota la capacidad para ejecutar las decisiones para la innovación tecnológica, la mejora de las empresas y la capacidad de innovación tecnológica. Estas habilidades incluyen la intensidad de la colaboración con otras empresas o centros de I+D (Achilladelis and Antonakis, 2001; Lefebvre et al., 1998), capacidad de I+D de conocimientos (Guan and Ma, 2003), la previsión y la evaluación de la innovación tecnológica (Burgelman et al., 2008; Yam et al., 2004), las iniciativas y la innovación empresarial (Guan and Ma, 2003).

### 3.2.2. Difusión de Innovación y Efectos de Red

Una vez entendido el concepto de las capacidades constitutivas de innovación y su influencia en el incremento del nivel de innovación de las firmas se introduce el término *difusión de innovación*, el cual está definido como “el proceso mediante el cual una innovación es transferida a través de ciertos canales a lo largo del tiempo entre miembros de un sistema social” (Rogers, 1983). El proceso de difusión está conformado por cuatro elementos clave: innovación, el sistema social en el cual impacta la innovación, los canales de comunicación del sistema social y el tiempo (Rogers, 1983). La influencia de la comunicación interpersonal, incluyendo observaciones no verbales es considerada un factor determinante de la velocidad y forma de la curva de difusión (Bass, 1969; Mahajan and Muller, 1979; Rogers, 1983).

Los modelos de tipo logístico son probablemente los más empleados para el modelamiento de procesos de difusión (López and Arroyo, 2005). Formulado inicialmente por Verhulst (1838), también conocido como modelo de Pearl, ha sido aplicado con éxito en múltiples investigaciones sobre la difusión, como los de Griliches (1957, 1960), Mansfield (1961),

Tanner (1978), Teece (1980), Randles (1983) y Polo (1987). Su formulación parte de un planteamiento relativamente sencillo: la velocidad de difusión de una tecnología es proporcional al número de adoptadores en el instante considerado y al número de adoptadores potenciales que aun no lo han hecho.

La primeras estructuras de modelos de difusión son presentadas por Mahajan and Peterson (1978) y Mahajan and Muller (1979), e identifican tres segmentos de mercado diferentes: mercado sin explotar, mercado potencial, mercado actual.

Bass (1969) propuso y probó un modelo epidemiológico para la difusión de bienes duraderos y otras innovaciones. En una primera aproximación a la descripción de la demanda, Bass propone un modelo para el cálculo de la demanda discretizando entre innovadores e imitadores. Este modelo representa la demanda en un mercado monopolístico en el cual, se supone que los coeficientes de innovación e imitación son constantes y que toda la demanda pertenece únicamente a los innovadores o a los imitadores, así el mercado potencial es llevado a una demanda acumulada por medio del flujo de demanda que es controlada por los coeficientes de innovación e imitación.

Mas adelante Rogers (1983) expone un modelo de difusión basado en la clásica curva de distribución normal; ésta representa la frecuencia de adopción de los consumidores de un producto a lo largo del tiempo. La cantidad de adoptadores acumulada gráficamente está representada por un comportamiento en S (Sigmoido). Rogers define la clasificación de los usuarios adoptadores en cinco grupos: innovadores, adoptadores tempranos, mayoría de tempranos, mayoría de tardíos, adoptadores tardíos.

Posteriormente, Economides (1996b) propone un modelo que representa la existencia de externalidades de red a través de las expectativas que se cumplen en el equilibrio. Este modelo define una función de externalidades de red que modela la influencia de las expectativas sobre el tamaño de la red de consumidores dispuestos a pagar por un bien proporcionado a través de la red. Adicionalmente, expone el tamaño de equilibrio de la red bajo estructuras alternativas de mercado para bienes duraderos y no duraderos. En presencia de externalidades de red en un modelo estático para costos marginales altos, el tamaño de la red es cero; cuando los costos caen, el tamaño de la red incrementa abruptamente a positiva y con un tamaño significativo (masa crítica) y luego aumenta gradualmente a medida que los costos siguen disminuyendo.

Milling (2002) y Maier (1998) modifican los coeficientes de innovación e imitación que propone Bass, para hacerlos ligeramente dinámicos e introducir el efecto de la competencia. En este sentido, la modificación al modelo de Bass radica en el cálculo de dichos coeficientes permitiendo la introducción de un mercado, al menos de oligopolio. Milling plantea la existencia de un mercado límite, el cual tiene muy poca probabilidad de agotarse. Este mercado límite actúa como un margen de incertidumbre en el modelo cuando el mercado potencial disminuya de manera crítica por la ausencia de productos nuevos. Este mercado esta constituido por los posibles compradores de productos de la

industria. Aunque estos compradores pueden ser muchos, tienen sectores de la población que para efectos prácticos, nunca accederá a ellos, bien sea por falta de poder adquisitivo, incapacidad intelectual para su uso, o simplemente porque no les interesa tenerlos.

Chanda and Bardhan (2008) proponen un modelo para describir el crecimiento de las ventas de productos que pertenecen a múltiples generaciones de innovaciones tecnológicas. Con el fin de entender el comportamiento dinámico de los coeficientes de innovación e imitación a lo largo de generaciones, se explora las relaciones entre coeficientes de generaciones adyacentes.

### 3.2.3. Externalidades de Red

Las firmas además de difundir y sustituir sus productos con el objetivo de mejorar las ventas, se apoyan también en la relación gana- gana que se da entre clientes denominada *externalidad de red indirecta* la cual se da cuando la utilidad de consumo de un producto o servicio en particular incrementa cuando aumenta el número de consumidores que usan productos o servicios compatibles. Las externalidades de red surgen a partir de la compatibilidad entre los productos, la cual ofrece a los consumidores el acceso a las redes de otras empresas y estimula el mercado de productos complementarios (Gandal, 1994). Un punto central dentro de las externalidades de red es que, un incremento de las ventas de servicios de red a través de la expansión de la red externa creada (no mediada por el mercado), significa beneficios para otros compradores (participantes de la red), debido a la creación de nuevos productos que afectan directa y positivamente la función de utilidad de cada participante

Las economías de consumo resultante del ámbito de aplicación se llaman externalidades de red directa. La presencia de externalidades de red y masa crítica<sup>1</sup> tiene repercusiones importantes en el análisis de la conducta, la estructura del mercado y el rendimiento que tienen las firmas (Economides, 1996a). Economides (1996b) plantea un modelo general de las externalidades de red que establece condiciones para la existencia de masa crítica en la competencia perfecta, monopolio, oligopolio, y la maximización del beneficio.

**Mercado de productos complementarios** La existencia de un mercado de complementarios refuerza la fortaleza de la tecnología y contribuye a su expansión. En efecto, el fácil acceso a los productos complementarios, su variedad y su precio son factores que determinan en gran medida la preferencia de un usuario por una determinada tecnología (Gandal, 1994; Keilbach and Posch, 1998; Schilling, 2002). Esto produce un círculo virtuoso en el que a medida que existe una mayor cantidad de productos complementarios, se expande la base de clientes de la tecnología, lo que a su vez genera una mayor cantidad de complementarios.

---

<sup>1</sup>La masa crítica de usuarios puede definirse como el tamaño mínimo de la red para que a los potenciales usuarios les compense incorporarse a la misma (Oren and Smith, 1982; Rohlfs, 1974), es decir, el tamaño mínimo requerido para iniciar la realimentación.

### 3.2.4. Ingreso Tardío

Según el orden de entrada de las firmas en un mercado determinado, se definen tres categorías (Ansoff and Stewart, 1967): Pioneros, Seguidores y entrantes tardíos. El orden de entrada es considerado un factor clave para el éxito o fracaso de las firmas en el mercado (Lieberman and Montgomery, 1998). Diversos estudios se han centrado en analizar cómo y por qué se construyen barreras de entrada de acuerdo con orden de entrada en un mercado. Los resultados implican que los *Pioneros* son favorecidos por ciertas barreras que desfavorecen a los *entrantes tardíos* (Bain, 1956). Según Ries and Trout (1986), el mercado provee oportunidades para las firmas que ingresan más temprano que otras. Los Pioneros tienen la posibilidad de transformar la estructura de costos de los clientes. Esto puede ocurrir principalmente de tres formas: el espacio de percepción de los clientes puede evolucionar de forma tal que favorece la posición inicial de los pioneros (Carpenter and Nakamoto, 1989); en segundo lugar, los clientes pueden desarrollar los costos de cambio a medida que acumulan experiencia con el producto pionero. En tercer lugar, las externalidades de red pueden establecer el producto del pionero como el estándar de la industria. En este último caso, los clientes disfrutan de la reducción de los costos (o beneficios mayores) al hacer uso del producto estandarizado, el cual es compatible con la mayor base de usuarios externos (Lieberman and Montgomery, 1998).

Los Pioneros tienen una fuente de ventaja adicional que radica en *learning by doing* (aprender haciendo). Dado que las firmas entran al mercado en un tiempo previo a las demás firmas, cuentan con más tiempo para experimentar el proceso de actividades de valor agregado para producir y vender el producto; esto aplica de igual forma para el liderazgo tecnológico de una firma ante las demás, ya que refleja que ésta ha tenido más experiencia en investigación y desarrollo y actividades relacionadas. Finalmente cuando el valor agregado del producto es protegido con patentes, las ventajas de haber sido los primeros son mayores (Cho et al., 1998).

La evolución del mercado abre oportunidades a los *Entrantes tardíos*. El mercado no es estático ni predecible, por tal razón cuando una firma pionera no reacciona ni se adapta a las nuevas necesidades de los clientes, puede ser una oportunidad de ingreso para una nueva firma (Richardson, 1998). Cuando una firma ingresa al mercado luego del posicionamiento inicial de otras firmas, ésta evita costos de educación de los consumidores en un producto determinado. Igualmente se reducen los costos de I+D para la difusión de tecnologías, lo cual conlleva a disminuir los costos de imitación (Mansfield, 1981). Otra de las ventajas es que, los entrantes tardíos pueden aprender de los errores cometidos por las firmas pioneras. Por último, otra ventaja de los entrantes tardíos radica en que, éstos pueden visualizar y analizar la respuesta de los consumidores a los movimientos iniciales de los competidores, y además pueden emitir juicios a partir de información más concreta y menos incierta (Cho et al., 1998).

Las firmas entrantes deben formular diversas estrategias para superar las desventajas que podría traer el orden de entrada de las mismas al mercado de software. Las firmas entrantes deben tener presencia en más de una línea de productos o nichos de mercado dentro de un mismo sector que no hayan sido dominados por firmas pioneras (Arora and Gambardella, 2005b). También deben apuntar a la creación de productos con alto desarrollo tecnológico para competir con los pioneros; esta estrategia les permite altos precios en la fase inicial de comercialización (Fudenberg and Tirole, 2000). La inversión en costos hundidos endógenos (Sutton, 1990), particularmente en capacidades, impulsa la diversificación de una empresa en más de una línea de productos o nichos de mercado dentro de un mismo sector. Cuando las externalidades de red aumentan, disminuyen los precios; por lo tanto las externalidades de red pueden servir como una función de “bloqueo” a firmas entrantes de manera similar a la inversión en capacidades (Fudenberg and Tirole, 2000).

### 3.2.5. Ventajas Comparativas

Una vez analizada la firma y las capacidades de innovación y su interacción con otros elementos que conforman el sistema se hace necesario el análisis de la región por medio de las ventajas comparativas. Para esto se presenta un acercamiento a este concepto. Tal como las define la teoría de Ricardo (1821), las *Ventajas Comparativas* son conocidas como “las características de un lugar que lo hacen más atractivo para la realización de una actividad a más bajo costo”. Algunos ejemplos de Ventajas Comparativas en la industria de software son: mano de obra, idioma, e infraestructura. A pesar de tener ventajas comparativas, para un país resulta difícil pronosticar las actividades que harán que el país sea exitoso (Hausmann and Rodrik, 2003). Para descubrir estas actividades se requiere que las firmas entrantes mejoren sus capacidades sobre la marcha, haciendo más difícil que sus imitadores logren alcanzar sus ritmos de producción y eficiencia, a menos que estos tengan algunas capacidades distintivas como tecnología superior o mejores accesos a los consumidores. La ventaja comparativa es una condición necesaria pero no suficiente para explicar el éxito en el crecimiento de la industria de software; además, se necesita impulsar fuentes de capacidades para conformar las empresas exitosas en nuevas industrias.

El fenómeno del surgimiento y crecimiento de las firmas de software pertenecientes a países de ingreso tardío se explica, a nivel de firmas, mediante el concepto de capacidades (Arora and Gambardella, 2005b; Giarratana et al., 2003), fundamentado en la *Visión Basada en Recursos* (VBR), y a nivel de países mediante el concepto de Ventajas Comparativa.

Arora et al. (2005) afirman que la ventaja comparativa y las economías de aglomeración son una condición necesaria pero no suficiente para explicar el éxito en el crecimiento de la industria de software. Una condición adicional a la ventaja comparativa para que un país pueda ser exitoso, es que necesita impulsar el fortalecimiento de capacidades

tecnológicas de innovación para conformar las empresas exitosas en nuevas industrias (Arora et al., 2005). Existen tres ventajas comparativas fundamentales en la industria del software en países de ingreso tardío a saber (Arora and Gambardella, 2005a): el papel de las multinacionales, la diáspora y el capital humano.

**El papel de las Multinacionales.** Las multinacionales influyen en el fortalecimiento de los vínculos entre las industrias nacionales y los mercados de exportación (Arora et al., 2005). La inversión extranjera no sólo es una transferencia de capital, sino que también permite que los países receptores reciban una combinación de organización empresarial y nueva tecnología, lo que puede generar la modernización del sistema productivo y el surgimiento de nuevos sectores (Hymer, 1976). Las multinacionales producen otros efectos indirectos positivos como aprendizaje, transferencia tecnológica, imitación, movilidad de mano de obra y spin offs, eslabonamiento hacia adelante o hacia atrás, y acceso a nuevos mercados (Estrada and Heijs, 2006). Estos efectos son externalidades que facilitan la difusión de innovaciones y generan progreso técnico, capacidades de gestión y organización, mejoras de capital humano, y combinación innovadora de tecnologías ya existentes.

**La Diáspora.** En países como Irlanda, Israel y China, la diáspora ha sido utilizada como una red de valor que al ser articulada y orientada a diversos sectores, permitió su impulso y desarrollo. La diáspora puede ser fuente directa de ventajas cuando sus miembros desean comercializar, invertir y subcontratar con los negocios domésticos. Puede ser una ventaja indirecta cuando sus miembros actúan como intermediarios de buena reputación, apoyando la contratación y aprovechando sus relaciones a largo plazo, a través de la demostración de sus capacidades (Giarratana et al., 2003). De esta manera, la diáspora puede ser considerada como un activo que facilita las relaciones internacionales.

**Capital Humano.** Algunos países cuentan con una elevada dotación de capital humano calificado y a bajo costo. Sin embargo, factores como vínculos débiles con mercados externos y bajo manejo del idioma inglés no permiten que se beneficien del auge de la demanda internacional (Arora and Gambardella, 2005b).

### 3.3. Estado del Arte

A lo largo de los años, diversos autores han abordado el tema de las capacidades de innovación desde diversas perspectivas y con diferentes técnicas. A continuación se hace una revisión del estado del arte en el tema de dinámica de sistemas y como ésta ha sido utilizada para el estudio de diferentes fenómenos que están directamente relacionados con las capacidades de innovación a nivel de firmas.

En primer lugar se tiene el estudio de Bayer and Gann (2006) en el cual se propone un modelo conceptual expuesto mediante relaciones causales, en el cual se aborda

el tema de las capacidades de innovación desde la visión basada en recursos para firmas basada en proyectos. En este modelo intervienen recursos tangibles (financieros, humanos y proyectos) e intangibles (prestigio y conocimiento) y capacidades funcionales y organizacionales. Bayer plantea que la adquisición y ejecución de proyectos es una condición a corto plazo para la supervivencia de una firma; sin embargo; la innovación y el desarrollo de nuevas capacidades son precondiciones para la exploración de nuevos mercados y adaptación de las firmas a ambientes cambiantes. El modelo propuesto muestra el fenómeno de crecimiento de las capacidades mediante el *learning by doing* (Groak, 1989) y la obsolescencia o disminución de las capacidades por medio de la pérdida de habilidades (Winter, 2003).

*Desventaja:* Se observa que el modelo propuesto, es un modelo conceptual basado en relaciones causales, lo cual permite identificar los efectos positivos o negativos de la variación de los elementos que conforman el modelo, sin embargo, no es posible observar la tendencia del comportamiento de las variables en el tiempo.

En segundo lugar se tiene la propuesta Tarek and Wahba (2005) que consiste en la construcción de un modelo para simular el efecto de variables clave de la industria del software, relacionadas con la estructura de los ingresos por exportaciones en el país de Egipto (personal, tecnología, finanzas, investigación y desarrollo, calidad). Así mismo se plantea políticas de mejoramiento con el fin de incrementar los ingresos por exportación. El modelo permite evaluar el comportamiento en un periodo de diez años. Esta propuesta se encuentra basada en un modelo general de exportaciones (Heeks and Nicholson, 2006).

*Desventaja:* En esta propuesta se observa que además de un diagrama causal hace uso de un diagrama de forrester mediante el cual se estudia el comportamiento de las variables que intervienen en el modelo de exportaciones en un periodo dado de tiempo. El artículo muestra varios test de validación de comportamiento y estructura, sin embargo, se encuentra que no se integra al modelo las dinámicas endógenas inmersas en el comportamiento de las firmas. El análisis que se realiza se enfoca en el comportamiento de las dinámicas exógenas del país de Egipto para este caso.

Como tercera propuesta se tiene Grobler (2010) en la cual se estudia la dinámica de los procesos de acumulación de capacidades estratégicas de fabricación (el costo, la calidad, entrega del producto y flexibilidad). El estudio propone un modelo representado mediante flujos y niveles, en el cual las capacidades están representadas mediante niveles incrementados por la gestión realizada sobre los recursos de la firma (Ferdows and De Meyer, 1990) y disminuido por el desgaste de los recursos o descuido (Grobler, 2010)

*Desventaja:* Este estudio muestra un diagrama de flujos y niveles, además de los resultados arrojados por la simulación y diferentes escenarios a partir de la parametrización de variables clave dentro del modelo. Sin embargo, se observa que solo contempla una de las capacidades de innovación que es la capacidad de fabricación, no se tiene en cuenta en esta propuesta la interacción e influencia de la capacidad de fabricación sobre las

capacidades de innovación y por consiguiente en el producto que elabora la firma.

En cuarto lugar se tiene Kunc (2007), en este estudio se propone un modelo de dinámica de sistemas (flujos y niveles) mediante el cual se modelan las interacciones de las pequeñas y medianas empresas (Pymes) con los Clúster de empresas, con el fin de mostrar las ventajas que trae a las Pymes tener contactos estratégicos con otros grupos de empresas. De igual forma se muestra la importancia que tiene la habilidad de las firmas para reconocer el valor de la información nueva y externa, asimilarla y aplicarla en los diferentes procesos de la misma (Cohen Wesley, 1999). Esta habilidad es definida como *capacidad de aprender o absorber*. Esta capacidad conlleva a las firmas a obtener de forma mas rápida niveles mas altos de capacidades de innovación lo cual supone una ventaja frente a las demás firmas.

*Desventaja:* Esta propuesta expone un modelo mediante un diagrama de forrester, igualmente muestra resultados obtenidos y políticas de mejoramiento. Se encuentra que no muestra las interacciones de las variables que conforman la firma, el modelo pone a la firma como un todo y no se analiza el comportamiento de la misma. De igual forma el modelo está orientado a la industria chilena de vinos por lo cual no es muy aplicable en la industria del software.

## Capítulo 4

# Modelamiento Caso Colombiano

### 4.1. Introducción

A lo largo de los años el tema de las capacidades de innovación y ventajas comparativas ha sido abordado desde distintas perspectivas (Dosi et al., 2001; Leonard-Barton, 1995; Rouseva, 2008; Teece and Pisano, 1994; Wang et al., 2008). Sin embargo, los estudios han estado centrados en casos particulares y como objeto de estudio han tomado diferentes industrias, como la de manufactura, construcción, vinera y farmacéutica. Con el tiempo fueron incursionando los acercamientos metodológicos relacionados con dinámica de sistemas (Bayer and Gann, 2006; Groak, 1989; Heeks and Nicholson, 2006; Tarek and Wahba, 2005; Winter, 2003), lo cual ha representado un aporte importante dado que ésta ha permitido modelar problemas más complejos, identificar variables relevantes dentro del sistema y sus interrelaciones, y finalmente, ha sido posible estudiar las variables que conforman el sistema en periodos considerables de tiempo.

### 4.2. Justificación del uso de la metodología

En el trabajo que se propone se hace uso de dinámica de sistemas como metodología, dado que para el sistema en estudio (Industria del Software) se identifican varios elementos (véase Capítulo 2) que lo hacen un sistema complejo, conformado por distintas variables como las ventas, las capacidades de innovación, las ventajas comparativas, los usuarios adoptadores, entre otros. Estas variables cambian a lo largo del tiempo sin presentar un comportamiento lineal y relaciones causa efecto entre las mismas. Así mismo resultaría inviable y bastante costoso la experimentación directa sobre el sistema.

De igual forma, dado que la inversión en capacidades de innovación es un factor decisivo para las firmas, se pretende plantear escenarios que permitan abstraer situaciones desde la realidad con el fin de proveer una herramienta para analizar prospectivamente los efectos

de variables relevantes en el modelo. Estas variables son las capacidades de innovación y su efecto en las ventas y beneficios de las firmas y las ventajas comparativas y su efecto en las ventas internacionales. Finalmente, determinar si es beneficioso para las firmas invertir o no en las capacidades teniendo en cuenta diferentes factores y condiciones iniciales que solo pueden ser combinados por medio de las simulaciones; ya que en la realidad sería necesario esperar varios años para lograr ver los efectos de unas variables sobre otras.

Por otro lado se requiere que el modelo sea fácil de entender por los usuarios del mismo. Para el caso actual los usuarios serán estudiantes, empresarios, economistas, gestores de la innovación. Dada la heterogeneidad del grupo al que está orientado el modelo es necesario tener un modelo con un lenguaje común entre los diferentes usuarios. Así mismo dada la complejidad y dinamismo del sistema en cuestión es necesario obtener un modelo escalable y fácilmente mantenible en el tiempo, con el fin de modificar e incluir los nuevos aspectos o componentes de la industria del software.

De acuerdo con el objetivo de este trabajo se lleva a cabo la explicación del modelo haciendo uso de dinámica de sistemas y enmarcando el trabajo dentro de una metodología que comprende las siguientes etapas:

*Conceptualización:* Etapa que comprende la descripción verbal del sistema y del problema a abordar (modos de referencia y horizonte de tiempo) y diagrama causal.

*Representación o formulación:* Esta etapa consiste en la construcción del diagrama de flujos y niveles de Forrester y la formulación de las ecuaciones que comprenden el modelo.

*Análisis y Evaluación:* En esta etapa se lleva a cabo la comparación del modelo propuesto con el modo de referencia expuesto en la etapa de conceptualización y se llevan a cabo diferentes test de validación estructural y comportamental.

## **4.3. Metodología de Trabajo**

### **4.3.1. Etapa de Conceptualización**

En esta etapa se define el problema de forma clara, breve y precisa. Para llevar a cabo la definición del problema es necesario en primera instancia caracterizar el problema (véase Capítulo 2), identificar el alcance del mismo, y por último definir el propósito del modelo.

El tema de estudio se basa específicamente en el análisis del comportamiento del crecimiento y surgimiento de las firmas de Software de Colombia. Además, se estudia el efecto de la inversión en capacidades de innovación a nivel nacional (competencia entre firmas de software nacionales) y el fortalecimiento de ventajas comparativas y su efecto en las ventas internacionales. La problemática de la industria del software en Colombia se

resume básicamente en: Precios poco competitivos para el mercado internacional, bajos estándares de calidad, inconveniente con el idioma de los países a exportar, poco personal especializado, poca experiencia en mercados internacionales. Todos estos factores apuntan a un bajo nivel de capacidades de innovación que terminan en un bajo nivel de ventajas comparativas, lo cual significa firmas menos competitivas y por ende la industria del software del país se ve afectado por estas falencias. Para mayor detalle véase Capítulo 2, Sección 2.2 y 2.4.

En cuanto al propósito del modelo se han definido tres de acuerdo a lo que se pretende obtener como resultados del trabajo de investigación. En primer lugar se tiene el propósito de verificar que las condiciones del modelo general de surgimiento y crecimiento de la industria del software se cumplen para el caso específico de Colombia. Esta verificación se realiza mediante la comparación de los resultados de las simulaciones con la tendencia de comportamiento que se tiene actualmente (Modo de referencia). En segunda instancia se tiene el propósito de mostrar el impacto que tiene la inversión en capacidades de innovación sobre el nivel de ventas y beneficios de las firmas para Colombia. Por último, el propósito de mostrar los efectos que tiene el fortalecimiento de las ventajas comparativas en las ventas internacionales.

El modelo propuesto está basado en el modelo general de dinámica de sistemas que se encuentra descrito en Pérez et al. (2009). Este modelo permite analizar la competencia entre dos firmas de software, una de ellas *firma pionera*, y una *firma entrante tardía*. Ambas firmas compiten en un mercado con dinámicas de difusión y sustitución de líneas de productos de Software. Este modelo está basado en el modelo de difusión de innovación de Bass (Bass, 1969), y además, incluye externalidades de red e inversión en capacidades de I+D. Las simulaciones muestran que, dado el caso que la firma de ingreso tardío tenga estrategias sólidas para construir sus capacidades de innovación, entonces sus costos de producción pueden decrecer, el número de versiones de productos competitivos pueden aumentar, y las externalidades de red de sus productos pueden fortalecer su posición en el mercado; consistente con los resultados de Shy (1995). De igual forma se toman elementos relacionados con el crecimiento de las capacidades de innovación según lo descrito en Groak (1989), Ferdows and De Meyer (1990) y el decrecimiento de las capacidades de acuerdo con los modelos propuestos en Winter (2003), Grobler (2010).

Para el modelo que se propone se toman dos firmas colombianas, una de ellas que se encuentra posicionada en el mercado nacional con ventas de productos de software semiestandarizados, y ha logrado ingresar al mercado internacional y otra firma que está intentando ingresar al mercado de software con un producto similar al que vende la firma pionera. El modelo aquí presentado verifica que las condiciones de Pérez et al. (2009) se cumplen para el caso colombiano. A partir de ahí, se busca mostrar la importancia y el impacto de aumentar la inversión en capacidades de I+D. Además, incluir la inversión en otras capacidades constitutivas de innovación como las descritas en Capítulo 3, y las condiciones bajo las cuales las firmas pueden invertir estratégicamente para poder

obtener mayores beneficios. De forma similar, justificar cómo el fortalecimiento de las ventajas comparativas de las firmas locales puede permitir un mejor desempeño de la industria de Software Colombiana a nivel internacional.

A continuación se presenta en la Figura 4.1 el diagrama causal para el crecimiento y surgimiento de las firmas de software en países de ingreso tardío. En este diagrama se identifican varios ciclos de realimentación.

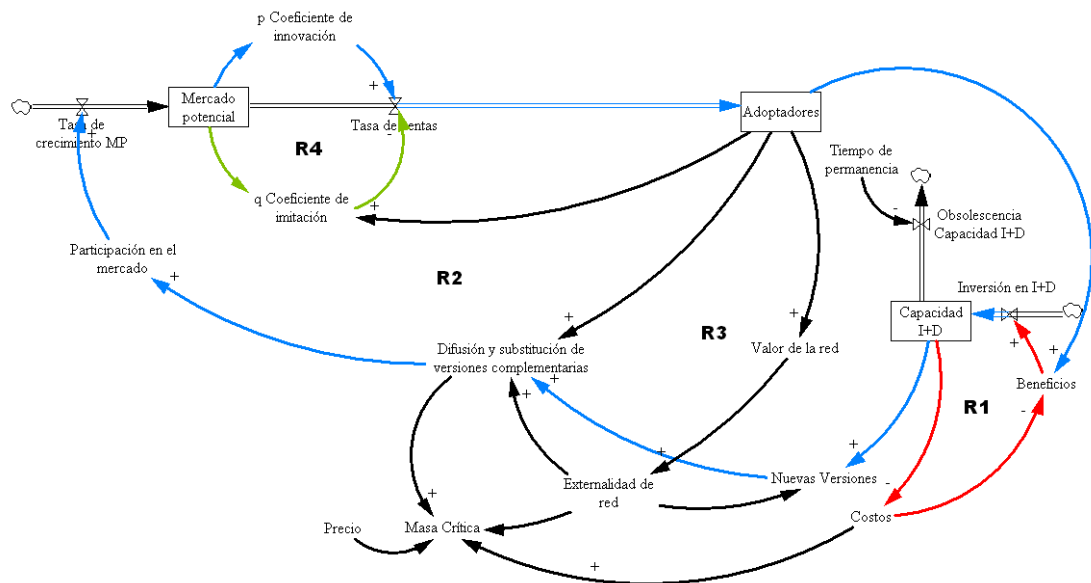


FIGURA 4.1: Hipótesis dinámica del modelo general de surgimiento y crecimiento de las firmas de software. Fuente: Pérez et al. (2009)

**R1:** Ciclo denominado reducción de costos hundidos. El cual se refiere a las disminuciones de costos en las versiones posteriores de producto, una vez se ha incurrido en ellos en la primera versión, esto se logra a partir de una mayor inversión en I+D, lo cual lleva a incrementar los beneficios de la firma.

**R2:** Este ciclo corresponde al incremento de adoptadores por innovación en los productos. Este ciclo indica que a una tasa de ventas mayor, se obtiene una mayor cantidad de adoptadores, por consiguiente las firmas obtienen más beneficios, por lo tanto, una mayor posibilidad de inversión en I+D, lo cual se ve reflejado en un mayor nivel de capacidad de I+D y finalmente más oportunidades de sacar a producción nuevas versiones de producto. Con una mayor cantidad de productos innovadores en el mercado se da una mayor participación en el mismo. Este ciclo se encuentra definido por la diversificación de producto. Un incremento de la diversificación incrementa el mercado potencial ya que abre nuevas oportunidades en el mercado.

**R3:** El tercer ciclo corresponde a la relación entre Valor de la red- Externalidad de la red- Difusión y sustitución de versiones complementarias- Participación en el mercado- Mercado potencial- Tasa de ventas. Este ciclo se encuentra definido por el valor de la red. Un mayor número de adoptadores incrementa el valor de la red de usuarios y por

consiguiente se incrementan las externalidades de red, la cual se da cuando existe compatibilidad entre los productos. Esto estimula positivamente la participación de la firma en el mercado, y por ende se presenta un incremento en el mercado potencial, influyendo en el crecimiento de las ventas y posteriormente en el aumento de los adoptadores de los productos, lo cual se refleja finalmente en un incremento de los beneficios de la firma.

R4: El primero de ellos hace referencia a la disminución de adoptadores por imitación en las versiones de productos. Una mayor imitación en los productos que se sacan a la venta reduce las tasa de ventas, y por lo tanto se presenta una reducción en los nuevos adoptadores, al presentarse una disminución de los adoptadores, se presentan menos posibilidades de inversión en capacidad de I+D, lo cual se convierte en menos nuevas versiones de productos, presentándose una reducción de la participación en el mercado de la firma. Al presentarse disminución en el coeficiente de innovación, se da una menor diversificación de productos lo cual conlleva a una reducción de los adoptadores.

Adicionalmente, es importante observar que las capacidades de I+D no tienen un crecimiento infinito, dado que las capacidades se desgastan o se hacen obsoletas por causa de la salida del personal o por desgaste físico del mismo (Grobler, 2010; Winter, 2003).

La industria del software en Colombia tiene una propensión a la producción de aplicaciones financieras y ERP a la medida con ajustes a los requerimientos locales (Datanalysis, 2005). Esto es considerado en el modelo en la función de costos que se encuentra adecuada al tipo del producto semicustomizado (Pérez et al., 2009).

A continuación se presentan los diagramas causales que explican los elementos fundamentales del modelo propuesto. Se observa en los diagramas el modelamiento de las capacidades constitutivas de innovación y ventajas comparativas. Se muestra igualmente como cada una de las capacidades constitutivas de innovación intervienen en la firma y su influencia en la captación de mercado. Así mismo, se muestra que la inversión en capacidades de innovación depende del nivel de ventas alcanzado por periodo.

### **Capacidades de Innovación**

El modelamiento de las capacidades constitutivas de innovación parte de la definición dada por Wang et al. (2008) y Rouseva (2008). Principalmente las Capacidades de I+D y Aprendizaje Tecnológico (Burgelman et al., 2008; Guan and Ma, 2003; Yam et al., 2004), la Capacidad de Gestión de Recursos (Barton, 1984), la Capacidad de Mercadeo (Achilladelis and Antonakis, 2001; Yam et al., 2004), Capacidades de Fabricación (Guan and Ma, 2003; Yam et al., 2004), y Capacidad de Decisión Estratégica (Lefebvre et al., 1998; Yam et al., 2004).

En la Figura 4.2 se muestra un diagrama causal general en el cual es posible observar las interacciones entre las variables ventas, inversión en capacidades y capacidades

constitutivas de innovación. Así mismo, el efecto positivo de la inversión en capacidades de innovación sobre la producción de nuevos productos, lo cual conlleva a un ciclo de refuerzo que finalmente se ve reflejado en mayores beneficios. La inversión en capacidades depende tanto de los beneficios que obtiene la firma, como del tamaño y del porcentaje de inversión de la firma.

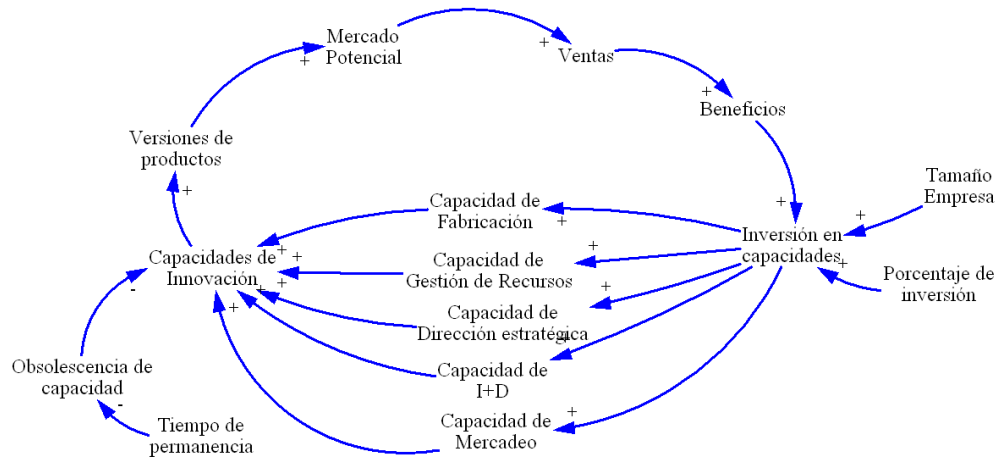


FIGURA 4.2: Diagrama causal - Capacidades constitutivas de innovación.

Las empresas invierten en I+D básicamente por dos razones, la primera de ellas para disminuir los costos hundidos, y la segunda, para diversificar los productos que ofrecen y de esta forma innovar en el mercado (Shy, 1995).

La capacidad de I+D se ve afectada por varios criterios de innovación, algunos de ellos son inversión en I+D, personal con estudios de posgrado, número de patentes, inversión en capacitación en nuevas tecnologías, dominio de una segunda lengua, entre otros. A partir de estos, se modelan parámetros dentro del modelo que alimentan y afectan positivamente la capacidad constitutiva de I+D (modelada como un nivel) y aprendizaje tecnológico (Burgelman et al., 2008; Guan and Ma, 2003; Yam et al., 2004). Estos parámetros se observan en la Figura 4.3.

Se puede observar en la Figura 4.3 un ciclo de refuerzo el cual está descrito por un incremento de la capacidad de I+D la cual aumenta el nivel de capacidades de innovación de la firma, y a su vez, disminuye los costos hundidos. Esto se ve reflejado en una disminución de los costos totales de producción, y de esta forma se incrementan los beneficios por ventas del producto. Adicionalmente, se observan dos ciclos de refuerzo relacionados con la difusión y sustitución de versiones.

De igual forma se ven estimuladas positivamente las nuevas versiones y de esta forma se incrementa la difusión y sustitución de versiones complementarias. Esto permite a las empresas obtener una mayor porción de mercado y aumentar la tasa de crecimiento de mercado potencial. Aquí pueden darse dos casos, el primero corresponde a que el coeficiente de innovación sea mayor que el coeficiente de imitación, y el segundo, que el coeficiente de innovación sea menor que el coeficiente de imitación. Para el primer caso la



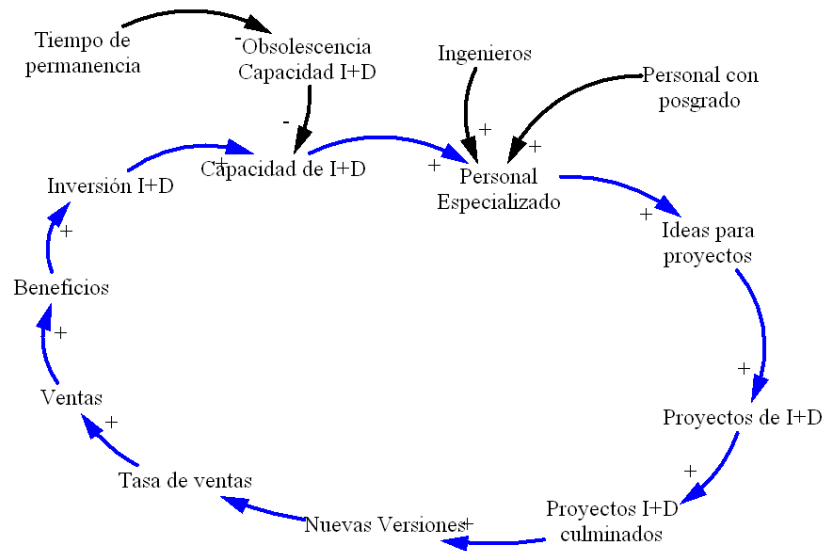


FIGURA 4.4: Diagrama causal - Capacidad de I+D - Dinámica personal.

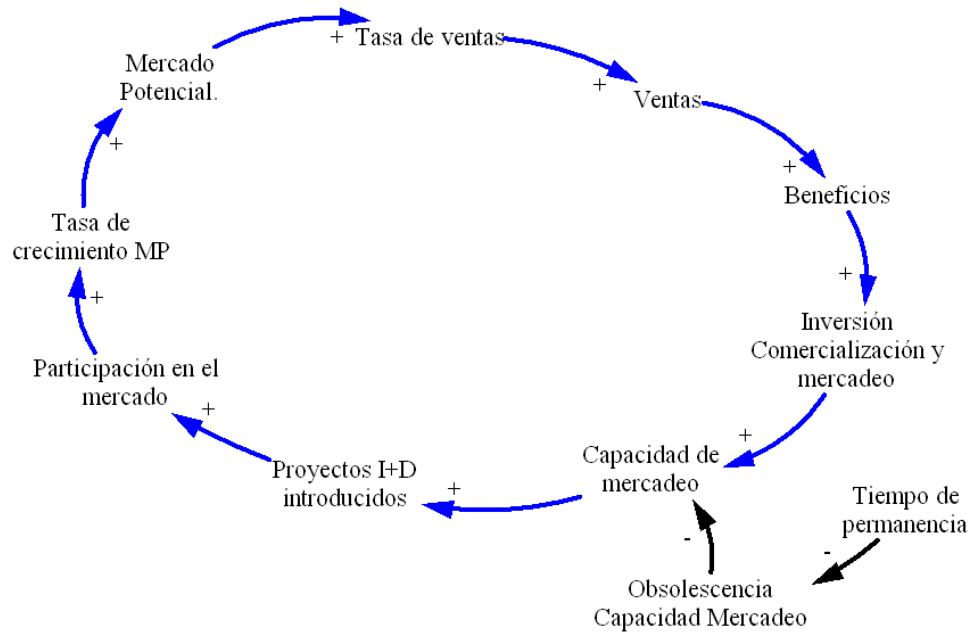


FIGURA 4.5: Diagrama causal - Capacidad de mercadeo.

La capacidad de fabricación se encuentra definida por cantidad de certificaciones y reconocimientos, grado de importancia de la certificación, porcentaje de personal profesional y personal técnico capacitado (Guan and Ma, 2003; Yam et al., 2004). De acuerdo con la Figura 4.6, cuando las firmas cuentan con personal capacitado en el área de desarrollo, no solo se ven los beneficios en el tiempo de terminación de los proyectos, sino que además, lo más relevante es la calidad de los productos que se desarrollan, con estándares altos y siguiendo metodologías de desarrollo y pruebas que generarán valor agregado al producto próximo en salir a producción. De igual forma, los productos se hacen más acordes a las necesidades de clientes internacionales, los cuales requieren mayor calidad y manejo de estándares internacionales.

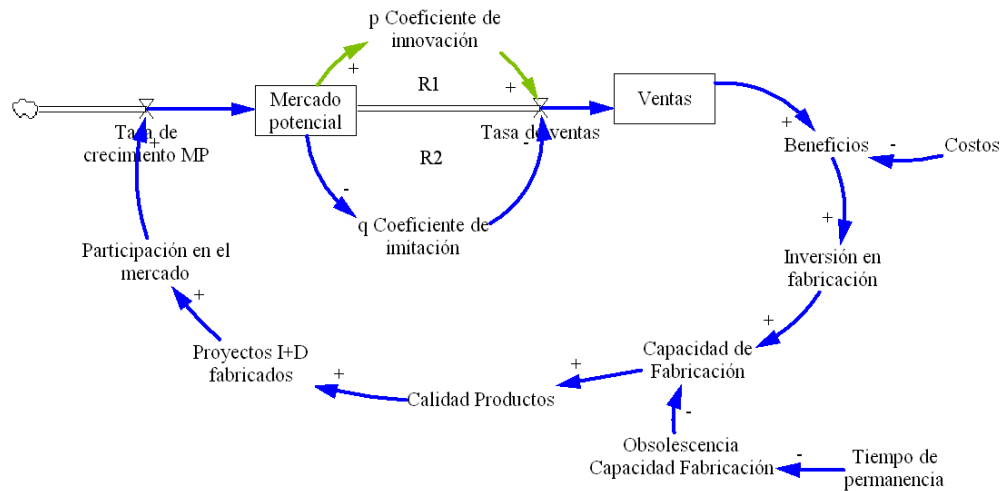


FIGURA 4.6: Diagrama causal - Capacidad de fabricación.

### Ventajas Comparativas

Las ventajas comparativas son contempladas dentro del modelo desde la perspectiva de Arora and Gambardella (2005b). Estos autores, como se indicó en el Capítulo 3, analizan tres ventajas comparativas presentes en países de ingreso tardío. Estas ventajas hacen referencia a multinacionales, diáspora y capital humano. Adicionalmente, se incluye la ventaja comparativa relacionada con costos operacionales por programador identificada para la industria de Software Colombiana (FEDESOFTE, 2009; Mincomercio, 2008b; PROEXPORT, 2009).

En la Figura 4.7 se puede observar el diagrama causal elaborado para describir los efectos que tienen las ventajas comparativas sobre las demás variables. Las ventajas comparativas tienen un efecto positivo sobre el mercado, hacen que el mercado local sea más atractivo para clientes del exterior. A partir de ello, se incrementan las ventas internacionales y a su vez se incrementan los beneficios de la firma. A mayores beneficios percibidos por la empresa, se aumenta la inversión en capacidades de fabricación. Con incrementos graduales en el nivel de capacidades de fabricación, se incrementa el nivel de capacidades del personal. De esta forma, se generan las emigraciones al exterior (Diáspora) del personal más capacitado y es acá donde se lleva a cabo la retroalimentación del ciclo, puesto que, a mayor cantidad de personal capacitado en el exterior, mayores conexiones con el mercado internacional y mayores oportunidades para las firmas locales de llevar sus productos al exterior.

Por otro lado se tienen el capital humano, los costos operacionales y las multinacionales. La primera de estas se refiere tanto a cantidad de recursos humanos como a grado de especialización de los mismos. Los costos operacionales están relacionados con los costos por empleado, y las multinacionales hacen referencia al número de empresas extranjeras que invierten en el país, las cuales también representan ventajas comparativas. El capital

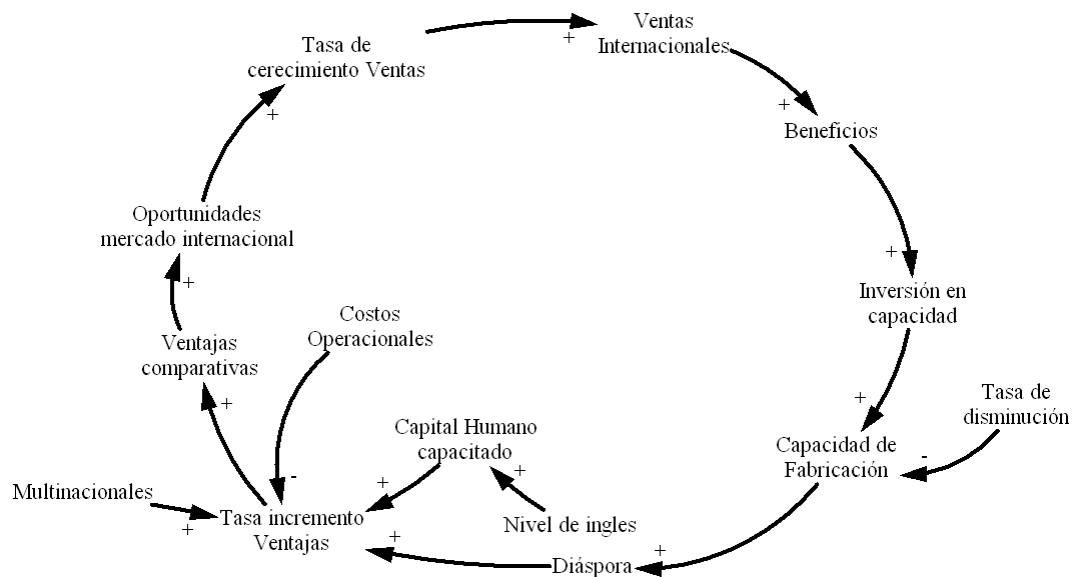


FIGURA 4.7: Diagrama causal - Ventajas comparativas.

humano tiene un efecto directo sobre la ventaja comparativa, sin embargo, a medida que incrementan los costos operacionales, el nivel de ventajas comparativas disminuye. Esto último se da por que a mayores costos se tiene un precio mayor del producto, lo cual no sería atractivo para los clientes del exterior.

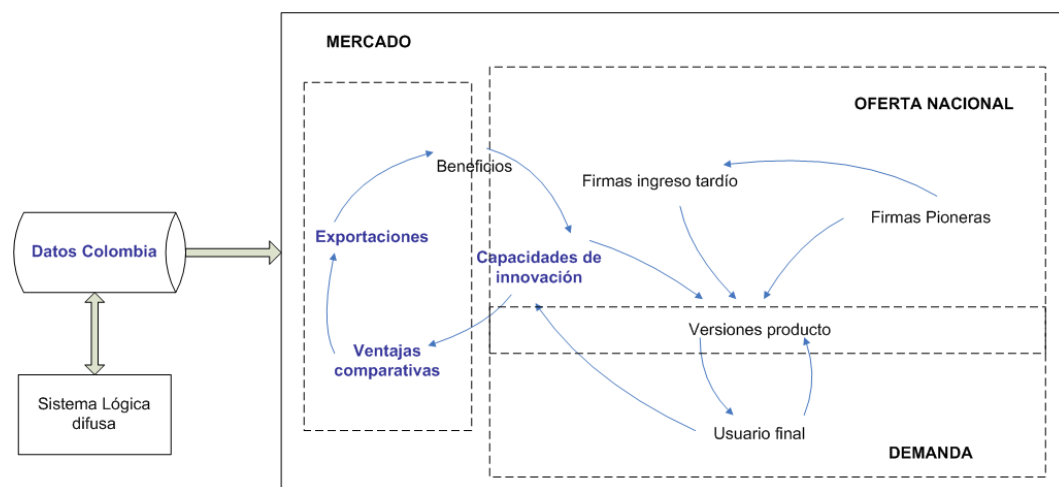


FIGURA 4.8: Diagrama general interacciones del modelo propuesto.

En la Figura 4.8 se puede observar la integración del modelo de lógica de difusa de Aguirre et al. (2009b), el modelo general para la industria del software propuesto por Pérez (2011) y finalmente el modelo que se expone en este trabajo. De forma general se observa que se tienen datos de la industria de software en Colombia que sirven como entradas para el modelo de lógica difusa, el cual permite calcular de acuerdo a ciertos criterios de ponderación los niveles iniciales de las capacidades constitutivas de innovación. Estos coeficientes y otros datos iniciales son ingresados al modelo general ya adaptado al caso colombiano. La adaptación se centra en el modelo de capacidades de innovación, donde

se incluyen las capacidades constitutivas de innovación, el modelamiento de las ventajas comparativas y su influencia en las exportaciones de la firma. Adicionalmente en la Figura 4.8 se explican las relaciones existentes entre las variables que conforman la *oferta* y la *demanda* de acuerdo a como está concebido el modelo para la industria del software. En primera instancia se observa la influencia que ejercen las *firmas pioneras* sobre las *firmas de ingreso tardío*. Además se encuentra que las firmas (pioneras o de ingreso tardío) interactúan con los *usuarios* por medio de las *Versiones de producto* (Las firmas producen y los usuarios adoptan nuevas versiones), estas versiones son influenciadas directamente por las *capacidades de innovación*, luego, se encuentra la relación entre las *capacidades de innovación* con las *ventajas comparativas*; éstas últimas estimulan el crecimiento de las *exportaciones*, las cuales se relacionan con los *beneficios* de las firmas, los cuales se ven reflejados finalmente en mayor posibilidad de inversión en *capacidades de innovación*.

### 4.3.2. Etapa de Representación o Formulación

A continuación se presenta la descripción de cómo fueron modelados los efectos de las capacidades constitutivas de innovación en la industria de software de Colombia por medio del diagrama de Flujos y Niveles.







Cada una de las capacidades constitutivas de innovación fue definida como un nivel, tal como se muestra en la Tabla 4.1. El valor inicial se calcula a partir del modelo de lógica difusa que propone Aguirre et al. (2009a). Este valor inicial está dado por el valor de diferentes criterios que definen cada una de las capacidades constitutivas de innovación para el caso colombiano (Criterios cualitativos y cuantitativos, véase Apéndice A).

A su vez estos niveles son alimentados por flujos de inversión de acuerdo a la capacidad, los cuales se muestran en la Tabla 4.2. Estos flujos dependen directamente de un porcentaje de inversión calculado a partir del nivel de ventas. Adicionalmente, se tiene modelado como un flujo la inversión en capacidades de innovación; esta se encuentra definida por una suma ponderada que depende del tamaño de la firma. Para más información de la definición de variables véase Apéndice B.

De acuerdo con el modelo propuesto por Aguirre et al. (2009a), las capacidades constitutivas de innovación tienen un grado de relevancia en la definición del nivel de capacidades de innovación de una firma dada, el cual depende del tamaño de la misma. El tamaño de una firma puede estar determinado por el número de empleados o el nivel de ventas. En el modelo que se propone se toma como referencia el tamaño de las empresas dado por el número de empleados tal como se muestra en la Tabla 4.3.

En la Tabla 4.4 se puede observar dos variables auxiliares clave, la primera de ellas es la variable *Beneficios de la firma*, la cual permite calcular los beneficios obtenidos a partir de las ventas de las firmas y los gastos de la misma. En segunda instancia se tiene la

TABLA 4.1: Niveles Diagrama Forrester - Capacidades de Innovación.

Elemento Diagrama Forrester	Descripción
<p style="text-align: center;"><b>Finanzas</b></p> 	Nivel de capacidad de recursos financieros.
<p style="text-align: center;"><b>ID</b></p> 	Nivel de capacidad de I+D y aprendizaje.
<p style="text-align: center;"><b>Estrategia</b></p> 	Nivel de capacidad de dirección estratégica.
<p style="text-align: center;"><b>Fabricacion</b></p> 	Nivel de capacidad de fabricación.
<p style="text-align: center;"><b>Mercadeo</b></p> 	Nivel de capacidad de mercadeo.
<p style="text-align: center;"><b>PCD SALES</b></p> 	Nivel de ventas por versión de producto.

variable *Indice de innovación* el cual es calculado a partir del nivel de capacidades de innovación que tiene la firma. De esta variable depende tanto los nuevos adoptadores como los beneficios que obtenga la firma.

Para el grado de relevancia se utilizaron los pesos sugeridos por Aguirre et al. (2009a). los cuales se muestran en la Tabla 4.5. Estos pesos fueron definidos a partir de criterios de expertos investigadores, fundamentos teóricos y el aporte de diversos empresarios de la industria de software de Antioquia.

En la Tabla 4.6 se pueden observar los parámetros utilizados en el modelamiento de la inversión en capacidades de innovación. Estos porcentajes de inversión por capacidad están definidos de acuerdo con estudios realizados por las organizaciones Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, FEDESOFIT y a las entrevistas realizadas en el marco del proyecto con COLCIENCIAS<sup>1</sup>. Adicionalmente, se tiene el parámetro correspondiente a *Tamaño de la firma*, el cual sirve para calcular la inversión total en capacidades de Innovación.

En la Figura 4.9 se puede observar el diagrama de Forrester para el submodelo de capacidades de innovación. En esta figura se puede observar las interacciones entre las

<sup>1</sup>Entrevistas realizadas a empresarios del clúster de Software de Antioquia (INTERSOFTWARE). En el marco del proyecto “Metodología para la medición y evaluación de capacidades de innovación en empresas de software y tecnologías relacionadas y su aplicación experimental en Antioquia”.

TABLA 4.2: Flujos de Diagrama Forrester - Capacidades de Innovación.

Elemento Diagrama Forrester	Descripción
	Flujo de inversión en capacidades de innovación.
	Flujo de inversión en capacidad de recursos financieros.
	Flujo de inversión en capacidad de mercadeo.
	Flujo de inversión en capacidad de fabricación.
	Flujo de inversión en capacidad de dirección estratégica.
	Flujo de inversión en capacidad de I+D y aprendizaje.
	Flujo de salida de capacidades de innovación.
	Flujo de obsolescencia de la capacidad de recursos financieros.
	Flujo de obsolescencia de la capacidad de mercadeo.
	Flujo de obsolescencia de la capacidad de fabricación.
	Flujo de obsolescencia de la capacidad de dirección estratégica.
	Flujo de obsolescencia de la capacidad de I+D y aprendizaje.

TABLA 4.3: Tamaño de las firmas. Fuente: Ley 590 de 2000 modificada mediante la Ley 905 de 2004.

Categoría	Número de trabajadores
Microempresa	1-10
Pequeña Empresa	11-50
Mediana Empresa	51-200
Empresa Grande	> 200

TABLA 4.4: Variables auxiliares de Diagrama Forrester - Capacidades de Innovación.















Elemento Diagrama Forrester	Descripción
 PIPDC	Variable auxiliar beneficios de la firma.
 IITC	Variable auxiliar índice de innovación.
 Tpermcap	Variable auxiliar tiempo de permanencia de las capacidades de innovación.
 Tpermestr	Variable auxiliar tiempo de permanencia de la capacidad de estrategia.
 TpermFab	Variable auxiliar tiempo de permanencia de la capacidad de fabricación.
 TpermFinan	Variable auxiliar tiempo de permanencia de la capacidad de Finanzas.
 TpermID	Variable auxiliar tiempo de permanencia de la capacidad de I+D.
 TpermMerc	Variable auxiliar tiempo de permanencia de la capacidad de Mercadeo.

TABLA 4.5: Pesos de capacidades por tamaño de empresa.

Tamaño Empresa	I+D	Estrategia	Mercadeo	Fabricación	Finanzas
Micro	0.8	1	0.8	0.9	0.8
Pequeñas	0.8	1	0.9	0.9	0.8
Medianas	0.9	1	0.9	1	0.8
Grandes	1	1	0.9	1	1

TABLA 4.6: Parámetros Diagrama Forrester - Capacidades de Innovación.

Elemento Diagrama Forrester	Descripción
 PIFinanzas	Porcentaje de inversión en capacidad de recursos financieros.
 PImercadeo	Porcentaje de inversión en capacidad de mercadeo.
 PIFabricacion	Porcentaje de inversión en capacidad de fabricación.
 PIEstrategia	Porcentaje de inversión en capacidad de dirección estratégica.
 PIID	Porcentaje de inversión en capacidad de I+D y aprendizaje.
 Tamaño Empresa	Tamaño de la empresa. Número de empleados

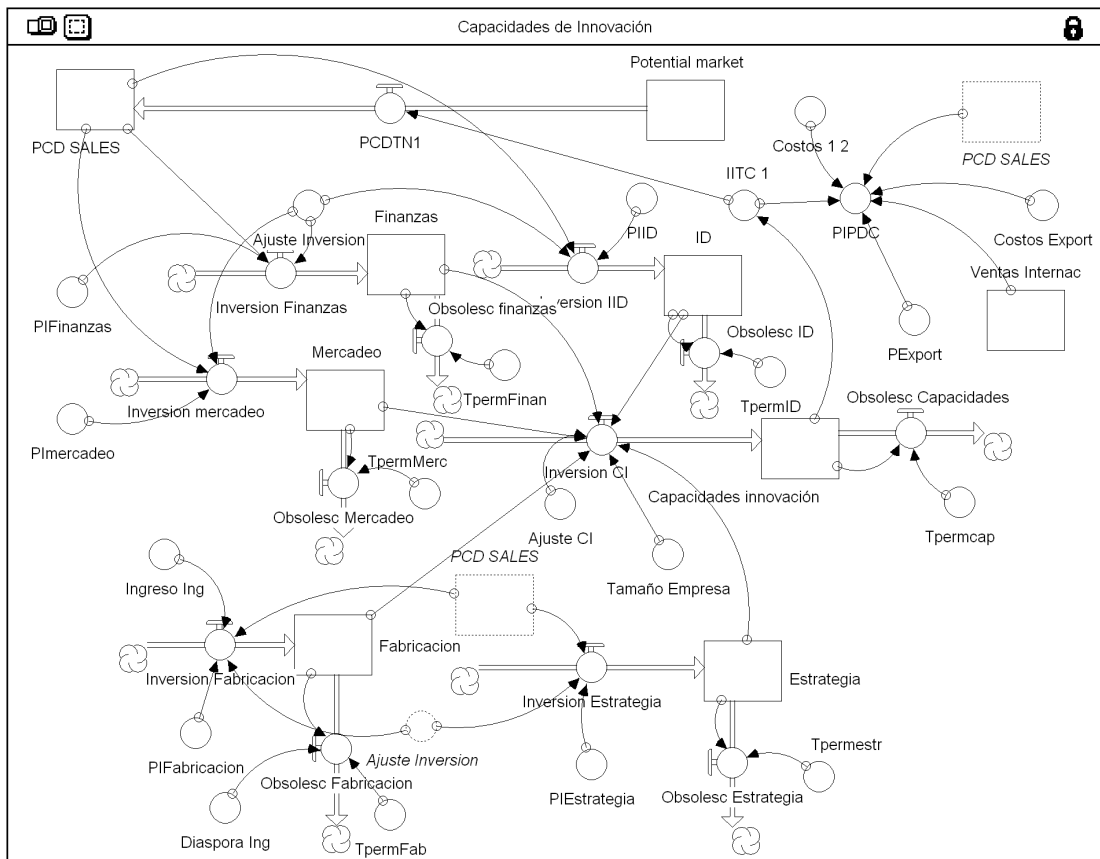





FIGURA 4.9: Diagrama de Forrester - Modelo de Capacidades de Innovación.

diferentes variables anteriormente descritas para este modelo. Se puede observar como cada capacidad constitutiva tiene un flujo de entrada alimentado por la inversión que realiza la firma sobre dicha capacidad y un flujo de salida denominado obsolescencia de la capacidad, el cual depende de la tasa de permanencia de cada capacidad, a su vez definida por el desgaste físico del personal o de la salida del mismo de la firma. Esta tasa se encuentra estrechamente relacionada con la tasa de rotación del personal. Para Colombia se ha encontrado que las firmas mas grandes son mas estables y la tasa de rotación es menor que para las Pymes, en las que se tienen tasa de rotación mayores.

A continuación se presentan los elementos que conforman el modelo de flujos y niveles para el tema de ventajas comparativas en el sector de software en Colombia. Inicialmente en la Tabla 4.7 se pueden observar los niveles definidos para este modelamiento. En primer lugar esta el nivel de ventajas comparativas, el cual se incrementa mediante el flujo de los diferentes elementos que la definen: capital humano, costos por empleado, número de multinacionales y diáspora (observados en la Tabla 4.8). Este nivel de ventajas afecta directamente la tasa de crecimiento de las ventas internacionales, la cual aumenta los beneficios de la firma.

TABLA 4.7: Niveles Diagrama Forrester - Ventajas Comparativas.

Elemento Diagrama Forrester	Descripción
Ventajas comparativas 	Nivel de ventajas Comparativas
Ventas Internac 	Nivel de Ventas Internacionales
Ingenieros 1 	Nivel de ingenieros.

El nivel de ingenieros se ve influenciado por el flujo de entrada del personal que se observa en la Tabla 4.8, éste a su vez está definido como la suma de los flujos de egresados de la universidad, personal de los centros de innovación y los empleados que regresan del exterior. El nivel de ingenieros se disminuye a una tasa que obedece al flujo de ingenieros que salen del país (diáspora).

Cada uno de los elementos que conforma el flujo de crecimiento de las ventajas comparativas tiene un peso definido como parámetro en el modelo, tal como se muestra en la Tabla 4.9. Cuando se calcula el nivel de ventajas es posible determinar un incremento en el nivel de ventas a partir de la variación positiva de las ventajas comparativas. Así mismo, los cambios en el nivel de ventas internacionales influyen proporcionalmente en los beneficios de la firma (variable mostrada en la Tabla 4.9).

Se definen además variables auxiliares que sirven para calcular el valor de los flujos, las

TABLA 4.8: Flujos Diagrama Forrester - Ventajas Comparativas.

Elemento Diagrama Forrester	Descripción
<p>Ventajas comparativas Tasa crec VC</p>	Flujo de entrada Ventajas comparativas.
<p>Ventajas comparativas Tasa de dec</p>	Flujo de decrecimiento de las ventajas comparativas.
<p>Ingenieros 1 Diaspora Ing1</p>	Flujo de salida de ingenieros
<p>Ingenieros 1 Tasa entrada personal</p>	Flujo de entrada de personal
<p>Ventas Internac Tasa Crec ventas internac</p>	Flujo de crecimiento de las Ventas internacionales

cuales se observan en Tabla 4.9,

TABLA 4.9: Variables Auxiliares Diagrama Forrester - Ventajas Comparativas.






Elemento Diagrama Forrester	Descripción
<p>MNC's</p>	Variable auxiliar número de multinacionales
<p>Costos 1 1</p>	Variable auxiliar costos de la firma
<p>PI PDC</p>	Variable auxiliar Beneficios de la firma
<p>Costos Export</p>	Variable auxiliar Costos por Exportación

Como se observa en la Tabla 4.10, se definieron cinco parámetros para el modelamiento correspondiente a ventajas comparativas, entre ellos se encuentra el número de multinacionales en el país, el precio de exportación por cada una de las versiones de producto, tasa de crecimiento de los adoptadores, capital humano, y por último, la tasa de retorno del personal que conforma la industria de software al país.

En la Figura 4.10 se puede observar el diagrama de Forrester para el submodelo de Ventajas comparativas. En éste se pueden observar las interacciones entre las diferentes variables anteriormente descritas.

A continuación se describen algunos de los fenómenos que describen a la industria del

TABLA 4.10: Parámetros Diagrama Forrester - Ventajas Comparativas.

Elemento Diagrama Forrester	Descripción
 Factor MNC	Parámetro peso ingreso multi-nacionales
 PExport	Parámetro precio de exportación
 Tcrecadoptadores	Parámetro Tasa de crecimiento de adoptadores
 Caphumano capacitado	Parámetro Capital humano
 Retorno Ing	Parámetro retorno del personal al país.

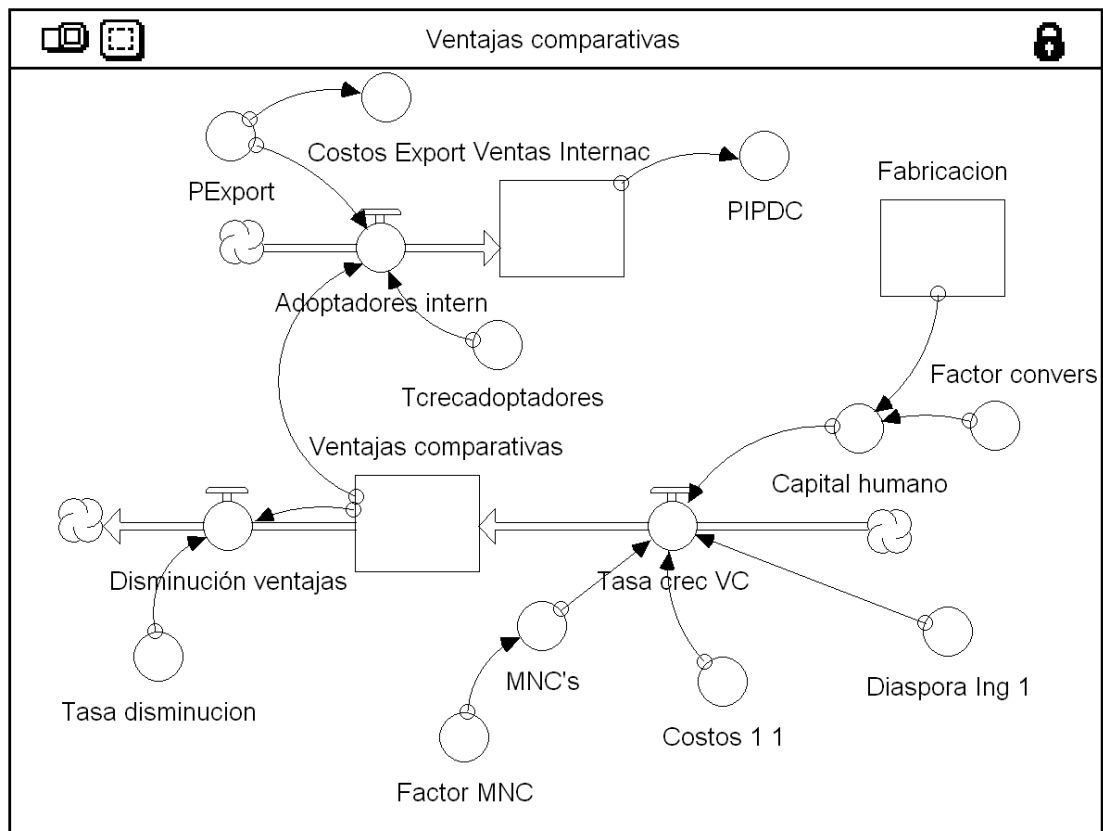


FIGURA 4.10: Diagrama de Forrester - Modelo ventajas comparativas.

software y que se encuentran modelados en el trabajo de Pérez (2011), y con los cuales se realizó la conexión de los submodelos correspondientes a capacidades constitutivas de innovación y ventajas comparativas descritas anteriormente.

## Difusión y sustitución de productos<sup>2</sup>

El modelamiento de la difusión, sustitución de productos y externalidades de red se ha ajustado en el transcurso del año 2009 de acuerdo con el comportamiento observado en la industria de software colombiana y nuevas tendencias observadas en la literatura. A continuación se describe como fue modelado este comportamiento.

La estrategia de sustitución de versiones de productos ajustada a los requerimientos y a los precios que los diferentes grupos de usuarios estén dispuestos a pagar, permite que una empresa dada *A* descubra las necesidades y preferencias de los clientes para productos complementarios adicionales. A medida que más productos complementarios estén disponibles, aumentará aún más la utilidad de los clientes de una empresa y la creación de externalidades indirectas de red (Gandal, 1994). Junto con las consideraciones sobre compatibilidad, los beneficios de las externalidades directas e indirectas de red aumentarán el costo del cambio de red (switching cost) y de bloqueo a la base instalada de clientes de la empresa *A* (lock in). Será cada vez más difícil para una empresa *B* recuperar los usuarios y capturar la participación del mercado de la empresa *A* (Katz and Shapiro, 1994). Por otra parte, los usuarios que inicialmente aprobaron los productos de la empresa *B*, es probable que con el tiempo se cambien a la red de la empresa *A*, ya que toma mayor valor y ofrece mayores beneficios.

El valor de la red, las externalidades de red y la ventaja de la curva de aprendizaje, ayudarán a la empresa *A* para defender su participación en el mercado (Schilling, 1998). Con el tiempo, la empresa *B* puede incluso llegar a quedar por fuera de competencia (Schilling, 2002).

## Modelo de Competencia<sup>3</sup>

Para beneficiarse más de las externalidades directas e indirectas de la red, una empresa debe coordinar la complementariedad entre la relacionalidad de la plataforma, y la estrategia de relacionalidad del producto-mercado al implementarlas en combinación. Milgrom and Roberts (1995) afirmaron que en un sistema de complementos, “el cambio de sólo algunos de los elementos del sistema en un momento óptimo para sus valores, no puede acercarse al logro de todos los beneficios que están disponibles a través de un movimiento plenamente coordinado, e incluso puede tener consecuencias negativas”. Afirmaron además que, “un movimiento ascendente o descendente de todo un sistema de variables complementarias, una vez comenzado, tiende a seguir. Esto se aplica igualmente a la aparición y crecimiento y a la disminución y el colapso de los sistemas de complementos” (Milgrom and Roberts, 1995).

---

<sup>2</sup>Trabajo elaborado por Pérez (2011) en el marco de su tesis doctoral, tomado como referencia para la elaboración del modelo.

<sup>3</sup>Trabajo elaborado por Pérez (2011) en el marco de su tesis doctoral, tomado como referencia para la elaboración del modelo.

En la literatura de dinámica de sistemas, Sterman (2000) también postula que en un sistema caracterizado por elementos mutuamente dependientes, la optimización de algunos elementos pero no los de interconexión, podría producir un desempeño no muy óptimo. En la industria del software, la aplicación de una de las estrategias de relacionalidad sin la otra puede dar lugar a una disminución en el crecimiento en las ventas y en la cuota de mercado debido a la dinámica competitiva en la presencia de las externalidades de red. En las industrias caracterizadas por las externalidades de red hay dependencias dramáticas de métodos, por las cuales diferencias aparentemente pequeñas en la programación y la secuencia de las inversiones en las estrategias complementarias pueden tener profundos efectos en la capacidad de una empresa para captar y proteger la cuota de mercado (Schilling, 2002).

Si las preferencias de los clientes por las plataformas de sistema operativo fuesen homogéneas, las externalidades de red podrían inclinar el mercado a favor de una plataforma, dejar por fuera a los rivales, y conducir a un resultado exitoso (Sheremata, 2004). Sin embargo, la heterogeneidad en las preferencias de los clientes permite la diferenciación, los límites en la inclinación del mercado, y da lugar a la coexistencia de múltiples plataformas de sistema operativo (Katz and Shapiro, 1994; Sheremata, 2004). Por ejemplo, los clientes que ejecutan aplicaciones de ingeniería intensivas computacionalmente tales como CAD/CAM, prefieren el sistema operativo Unix debido a sus ventajas en el multiprocesador de computación y el uso eficiente de los recursos de hardware subyacentes (Tanenbaum, 2003).

Los clientes que producen entretenimiento (e.g., películas) y publicidad prefieren aplicaciones que se ejecuten en sistema operativo Macintosh debido a su capacidad superior en gráficos. Los clientes que persiguen una filosofía de “fuente abierta” prefieren el sistema operativo Linux.

En el caso de dos empresas competidoras; una empresa *A* inicia simultáneamente la aplicación de la estrategia de relacionalidad de la plataforma y la estrategia de la relacionalidad del producto-mercado, mientras que la empresa *B* inicia mediante la aplicación solamente de la estrategia de relacionalidad de la plataforma. Ya que las estrategias complementarias se refuerzan mutuamente y aumentan los beneficios marginales mutuos (Milgrom and Roberts, 1990), la empresa *A* puede obtener un mayor rendimiento que la empresa *B*. Inicialmente, la relacionalidad de la plataforma permitirá a las dos empresas desarrollar múltiples aplicaciones a costos comparables, todo lo demás siendo igual.

Sin embargo, dado que la empresa *B* también aplica la relacionalidad producto-mercado, es más probable que haga ventas cruzadas de sus aplicaciones a la misma base de clientes y aumente sus ventas. La reducción de los costos de producción y el aumento de las ventas permitirá a la empresa *A* realizar más inversiones en la relacionalidad de su plataforma y en la estrategia de relacionalidad del producto-mercado. Como Milgrom and Roberts (1995) comentan: “Las inversiones en distintos momentos se

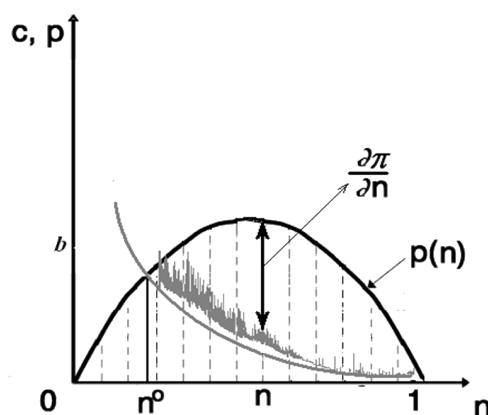


FIGURA 4.11: Estrategias de costos y precios seleccionadas.

complementan mutuamente, de modo que inversiones altas más temprano aceleran el ritmo de las inversiones posteriores”. Puesto que la empresa *B* no invirtió inicialmente en la relacionalidad del producto-mercado, tendrá menos oportunidades de venta cruzada de sus múltiples ofertas de aplicación a la misma base de clientes. También incurrirá en gastos mayores en comercialización y publicidad, ya que su objetivo eran mercados de productos no relacionados (Capron and Hulland, 1999). De este modo, la empresa *B* probablemente no generara suficientes ventas para recuperar los costos en desarrollo y en la oferta de múltiples aplicaciones.

Más importante aún, la ventaja inicial de la empresa *A* puede crear dependencias de métodos y hacer cada vez más difícil que la empresa *B* capture la cuota de mercado.

#### Modelamiento de Costos y Precios<sup>4</sup>

Para el desarrollo de productos estandarizados y personalizados por tipo de cliente, los costos unitarios o marginales de un producto de software disminuyen en función de la red de usuarios. El costo de la personalización del estándar varía aleatoriamente.

En la Figura 4.11 se observa como el beneficio marginal aumenta de cero cuando el tamaño de red es igual a la masa crítica, luego sigue aumentando hasta un máximo, y finalmente decrece hasta cero cuando se alcanza la totalidad de la red. Dado que el beneficio marginal es la derivada de la curva de beneficios en función del tamaño de red, al construir la curva de beneficios a partir del beneficio marginal se obtendría que para valores cercanos pero superiores a la masa crítica, la curva de beneficios tiene una pendiente cero, se hace cada vez mas creciente a mayor tamaño de red y luego decrece su pendiente hasta cero nuevamente.

La Figura 4.11 muestra esta tendencia, la cual tiene las características de una curva

<sup>4</sup>Trabajo elaborado por Pérez (2011) en el marco de su tesis doctoral, tomado como referencia para la elaboración del modelo.

logística, ello indica que las curvas de precios escogidas representan bien la estructura de precios y costos para un mercado basado en la difusión de software con externalidades de red.

Adicionalmente, como los costos tienen una función aleatoria que representa los costos hundidos de la personalización de los productos, la curva logística construida a partir de la estrategia de costos y precios, se ajusta a un mercado de productos estandarizados y personalizados por tipos de clientes o sectores de servicio.

### 4.3.3. Etapa de Análisis y Evaluación

En esta sección se lleva a cabo un análisis de los comportamientos que muestra el modelo ante los diferentes valores que tomen sus variables. Estos comportamientos deben exhibir una tendencia de acuerdo con la realidad del problema modelado. Además, deben responder a los objetivos propios del modelo.

Para realizar una validación formal de los modelos se debe revisar tanto la estructura como el comportamiento del modelo. La etapa de validación consiste en valorar las diferencias existentes entre el modelo construido y el problema real que se pretende simular.

En la validación que se lleva a cabo para el modelo propuesto, se contemplan en la validación de estructura: el test de consistencia dimensional y la opinión de expertos sobre los resultados arrojados por el modelo construido, y en la validación de comportamiento se contempla: el test de condiciones extremas.

### Horizonte de Tiempo

Como el modelo pretende explicar el comportamiento del ingreso de las firmas de software, es necesario definir un horizonte de tiempo, es decir, un período en el cual se pueda explicar el comportamiento. El horizonte de tiempo permitirá al modelo recopilar las características propias del fenómeno, y de esta forma, será posible comprender la dinámica inmersa en el fenómeno.

El horizonte de tiempo fue definido de acuerdo al tiempo de entrada de las versiones de los productos, el cual a su vez, depende del tiempo de desarrollo y de obsolescencia de los productos de software. El tiempo de utilidad de los productos de software sin cambios de versión varía entre 24 y 36 meses (FEDESOFTE, 2008). Así mismo, el tiempo de desarrollo de un producto de Software es de 12 a 18 meses (FEDESOFTE, 2008). Por último se definieron tasas de rotación de personal que conforma las firmas de 36 meses para las firmas grandes y 24 meses para las Pymes. De igual forma desde el mes 66 ( $t = 66$ ) se comienza a observar estabilidad en la tendencia de las variables ventas, beneficios y capacidades que son objeto de estudio en este proyecto.

De acuerdo con estos tiempos se definió un horizonte de tiempo de 72 meses en el cual es posible observar los cambios y el comportamiento de las diferentes variables que conforman el modelo.

### Consistencia Dimensional

En este aparte se lleva a cabo el análisis de las dimensiones de las variables que hacen parte de los submodelos correspondientes a capacidades de innovación y ventajas comparativas. Se puede observar a continuación para las variables más relevantes de cada uno de los submodelos el nombre de la variable, la definición de la variable, valor inicial (sí aplica), unidad de medida, y por último, descripción de la unidad de medida. Véase el Apéndice B (Consistencia dimensional) para mayor información acerca de la validación de la consistencia dimensional de las demás variables involucradas en el modelo.

En primera instancia se tiene la variable Capacidad de Innovación modelada como un nivel. Para esta variable se creó una dimensión con el fin de dar mas claridad y representividad a la variable. Esta se presenta a continuación:

**Variable:** Capacidades\_innovación

**Definición:**  $Capacidades\_innovación(t - dt) + (Inversion\_CI - Tasa\_de\_disminucion) * dt$

**Valor Inicial:** 0

**Unidades:** UBC

**Descripción Unidad:** Unidad Básica de Capacidad

La segunda variable a presentar corresponde a Inversión en Capacidad de Innovación. Esta unidad incluye la dimensión de la tasa de inversión por la unidad de la variable capacidad. Su definición y unidad de medida se presentan a continuación:

**Variable:** Inversion\_CI

**Definición:**  $IF(Tamaño\_Empresa < 11)$   
 $THEN((ID*0.8 + Estrategia + Mercadeo*0.8 + Fabricacion*0.9 +$   
 $Finanzas*0.8)/4.3) * Ajuste CI$   
 $ELSE IF(Tamaño\_Empresa > 10 and Tamaño\_Empresa < 51)$   
 $THEN((ID*0.8 + Estrategia + Mercadeo*0.9 + Fabricacion*0.9 +$   
 $Finanzas * 0.8)/4.4) * Ajuste CI$   
 $ELSE IF(Tamaño\_Empresa > 50 and Tamaño\_Empresa < 201)$   
 $THEN((ID * 0.9 + Estrategia + Mercadeo* 0.9 + Fabricacion +$

$$\text{Finanzas} * 0.8) / 4.6) * \text{Ajuste CI}$$

$$\text{ELSE} ((\text{ID} + \text{Estrategia} + \text{Mercadeo} * 0.9 + \text{Fabricacion} +$$

$$\text{Finanzas}) / 4.9) * \text{Ajuste CI}$$

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** USD/Mes\*UBC

**Descripción Unidad:** Dólar por mes por cada UBC

Para el modelo de ventajas comparativas se tienen dos variables relevantes, para las cuales es importante revisar la consistencia dimensional. En primer lugar se encuentra la variable ventajas comparativas, que al igual que para las capacidades de innovación, se definió una unidad de medida la cual da mayor claridad al modelo.

**Variable:** Ventajas\_comparativas

**Definición:**  $\text{Ventajas\_comparativas}(t - dt) +$   
 $(\text{Tasa\_crec\_VC} - \text{Disminución ventajas}) * dt$

**Valor Inicial:** 0

**Unidades:** UBV

**Descripción Unidad:** Unidad Básica de Ventaja

Por otro lado se tiene la variable tasa de crecimiento de las ventajas comparativas. Ya que es una tasa, incluye en el numerador la dimensión de la ventaja comparativa, y en el denominador se tiene la unidad de tiempo (para este caso Mes).

**Variable:** Tasa\_crec\_VC

**Definición:**  $\text{VCCaphumano\_capacitado\_2} * 0.001 + \text{MNC's\_2} * 0.002 +$   
 $\text{Relevancia\_Diaspora\_2} * 0.0005 - \text{Costos\_2\_1} * 0.3$

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** UBV/Mes

**Descripción Unidad:** Unidad Básica de Ventaja por Mes

## Opinión de Expertos

Con el fin de realizar una validación estructural y evitar sesgos de confirmación, se recurrió a la validación mediante la opinión de expertos, de tal forma que fuera posible concebir un modelo que contemplara diversas perspectivas. A lo largo del proceso de construcción del modelo se contempló la perspectiva de varias personas con conocimiento del tema, las cuales se encuentran vinculadas al proyecto “Metodología para la Medición y Evaluación de Capacidades de Innovación en Empresas de Software y Tecnologías Relacionadas y su Aplicación Experimental en Antioquia”. Entre ellas se encuentran:

- Un (1) profesor con estudios de doctorado con conocimientos en el área de innovación tecnológica y capacidades de innovación, con experiencia de 13 años en temas de investigación y desarrollo.
- Un (1) profesor con estudios de postdoctorado con conocimientos en el área de dinámica de sistemas y experiencia en este tema desde hace 12 años.
- Un (1) estudiante de Maestría en Administración con conocimientos en capacidades de innovación.
- Un (1) estudiante de Maestría en Economía con conocimientos en la economía colombiana y efectos de las variables capacidades de innovación y ventajas comparativas en la misma economía.
- Un (1) estudiante de Doctorado en Sistemas con conocimiento en el comportamiento de la industria de software en países de ingreso tardío.
- El director del cluster de empresas de Software de Antioquia (INTERSOFTWARE).

Durante los dos últimos dos años se han llevado a cabo sesiones con una frecuencia de una vez por semana con estas personas. En las sesiones se presentaron los avances de la investigación, inicialmente se expuso el tema de la problemática, luego se dio a conocer el estado del arte, posteriormente se identificaron y mostraron las variables que se consideraban más influyentes dentro de la problemática, y finalmente se expusieron los diagramas causales. En cada sesión se recibió retroalimentación por parte de los asistentes, lo cual permitió construir un trabajo que contemplara diferentes puntos de vista. Adicionalmente, se tuvo en cuenta las experiencias del director del clúster de Software y sus aportes acerca de las tendencias en ventas de productos de Software por parte de las firmas vinculadas a Intersoftware. Los diagramas causales fueron discutidos uno a uno, con el fin de tener abstracciones simples pero entendibles por el equipo y lo suficientemente robustas.

### Modo de referencia

Para la industria de software en Colombia se tiene una limitación en la obtención de datos históricos, de igual forma se tiene inconvenientes con el estándar con el cual se presentan los datos en los diferentes estudios de la industria. Sin embargo para el intervalo comprendido entre los años 2002 y 2008 se observa un comportamiento no lineal y tendencia creciente, tal como lo muestra la Figura 2.1 de la Sección 2.2

A continuación en la Figura 4.12 se presenta la extrapolación de los datos presentados en la Figura 2.1 con una línea de tendencia dada por la función logarítmica.

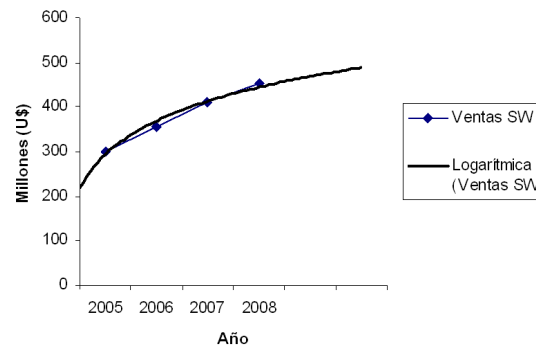


FIGURA 4.12: Tendencia logarítmica de las Ventas de software en Colombia (2005-2008).

De acuerdo a este resultado se espera que el comportamiento de la función de las ventas según las simulaciones arrojadas en el modelo propuesto sea creciente. En la siguiente sección será posible observar que las ventas se comportan según el modo de referencia recreado y esperado.

### Test de Condiciones Extremas

A continuación se muestran los resultados obtenidos tras realizar simulaciones del modelo, cambiando los valores de algunos de los parámetros por valores extremos.

- **Caso 1:** Como primera condición extrema a analizar se tiene la definición del valor de entrada de los parámetros inversión en capacidades de innovación:

PIID (Porcentaje de Inversión en I+D) = 0,

PIFinanzas (Porcentaje de Inversión en Finanzas) = 0,

PIMercadeo (Porcentaje de Inversión en Mercadeo) = 0,

PIFabricacion (Porcentaje de Inversión en Fabricación) = 0,

PIEstrategia (Porcentaje de Inversión en Estrategia) = 0

Se observa en la Figura 4.13(a) que bajo esta condición extrema, inicialmente se da un crecimiento muy tenue del nivel de capacidades hasta el periodo 7. A partir del periodo 8, se puede apreciar que el nivel de capacidades comienza a disminuir de forma acelerada.

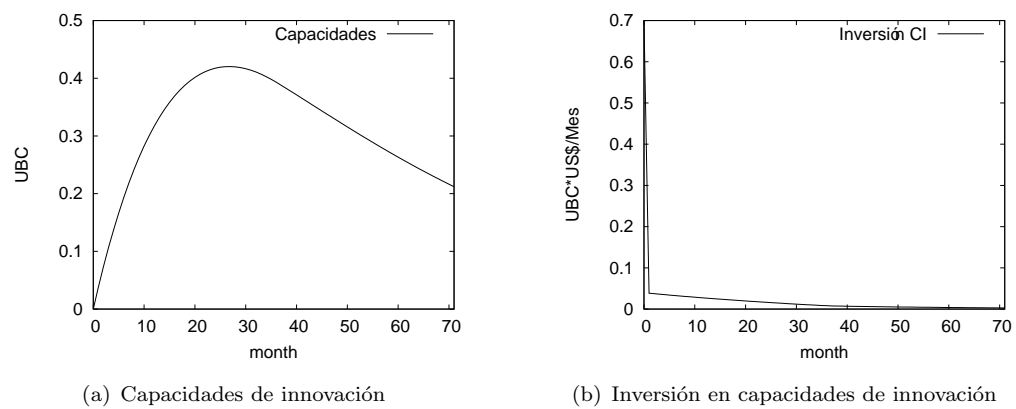


FIGURA 4.13: Resultados - Test de condiciones extremas.

Este comportamiento se da ya que para el primer periodo, la firma cuenta con un nivel de capacidades constitutivas iniciales acumuladas, el decrecimiento se debe a que las capacidades son dinámicas y si no hay estimulación de éstas mediante inversión en los diferentes factores que definen a las capacidades constitutivas, el nivel de capacidades va cayendo con el transcurso del tiempo. Como se aprecia en la Figura 4.13(b) la inversión en capacidades de innovación decrece aceleradamente.

## Capítulo 5

# Simulaciones y Análisis de Resultados

Con el fin de mostrar el comportamiento de las firmas de software en Colombia se analizarán varios escenarios relacionados con las variables: precios, tiempos de entrada de las firmas, inversión en capacidades de innovación, y ventajas comparativas. Finalmente se concluirá a partir de los resultados de cada escenario comparando las diferentes variables.

### 5.1. Simulaciones

#### 5.1.1. Escenario Base

En primera instancia se procede a reproducir un escenario con condiciones estándares que se manejan actualmente en Colombia, y que se denomina Escenario Base. Este escenario consiste en la representación de dos firmas, una *pionera* y otra *entrante*, las cuales ofrecen el mismo tipo de producto, manejando tres diferentes versiones de éste, cada versión entra al mercado en tiempos distintos. La firma pionera tiene posesión del 90 % del mercado potencial y la firma entrante del 10 % restante para cada una de las versiones de producto. Los porcentajes de inversión en capacidades de innovación se muestran a continuación en la Tabla 5.1.

TABLA 5.1: Porcentajes de inversión por capacidad constitutiva para el Escenario Base.

Porcentajes inversión	Entrante	Pionera
I+D	9 %	20 %
Dirección Estratégica	12 %	12 %
Mercadeo	8 %	24 %
Fabricación	20 %	22 %
Gestión Rec. Financieros	12 %	15 %

La primera versión de producto pertenece a la firma pionera, seguida de la versión de la firma entrante. A continuación en la Tabla 5.2 se muestran los tiempos de entrada por versión por cada una de las firmas.

TABLA 5.2: Tiempos de entrada versiones - Firmas Pionera y Entrante.

Versión Producto	Firma	Tiempo entrada (Mes)
1	Pionera	0
2	Pionera	8
3	Pionera	20
1	Entrante	4
2	Entrante	12
3	Entrante	24

En la Tabla 5.3 se presentan los valores iniciales de las capacidades constitutivas, los cuales son resultado de la simulación realizada por medio del modelo de lógica difusa expuesto en Aguirre et al. (2009a). Éstos se calculan de acuerdo a los datos obtenidos para las firmas en cuestión (véase Apéndice A).

TABLA 5.3: Valores Niveles iniciales capacidades - Firmas Pionera y Entrante.

Capacidad Constitutiva	Firma Pionera	Firma Entrante
Finanzas	0.38	0.3
Mercadeo	0.36	0.31
Fabricación	0.7	0.5
Estrategia	0.22	0.22
ID	0.28	0.2

Para este caso se puede observar que el nivel de ventas de la firma pionera supera el nivel de ventas de la firma entrante. Este resultado puede analizarse desde el punto de vista de las capacidades de innovación; como se puede observar en la Figura 5.1(b), existe un nivel de capacidades de innovación mayor en la firma pionera comparada con el nivel para la firma entrante, lo cual estimula la tasa de ventas como se observa en Figura 5.1(a).

Igualmente, un incremento en las capacidades de innovación aumenta los beneficios que finalmente recibe la firma, dada una reducción en los costos. Esto puede observarse en la Figura 5.1(c), donde se aprecia que los beneficios de la firma entrante son menores que los de la firma pionera.

Para la variable capacidades de innovación se observa que comienza a disminuir a partir del mes 40, esto debido al desgaste en el tiempo de las capacidades.

### 5.1.2. Escenario 1

En este escenario se varía positivamente la inversión en las diferentes capacidades constitutivas de innovación para la firma entrante. Estos porcentajes de inversión en

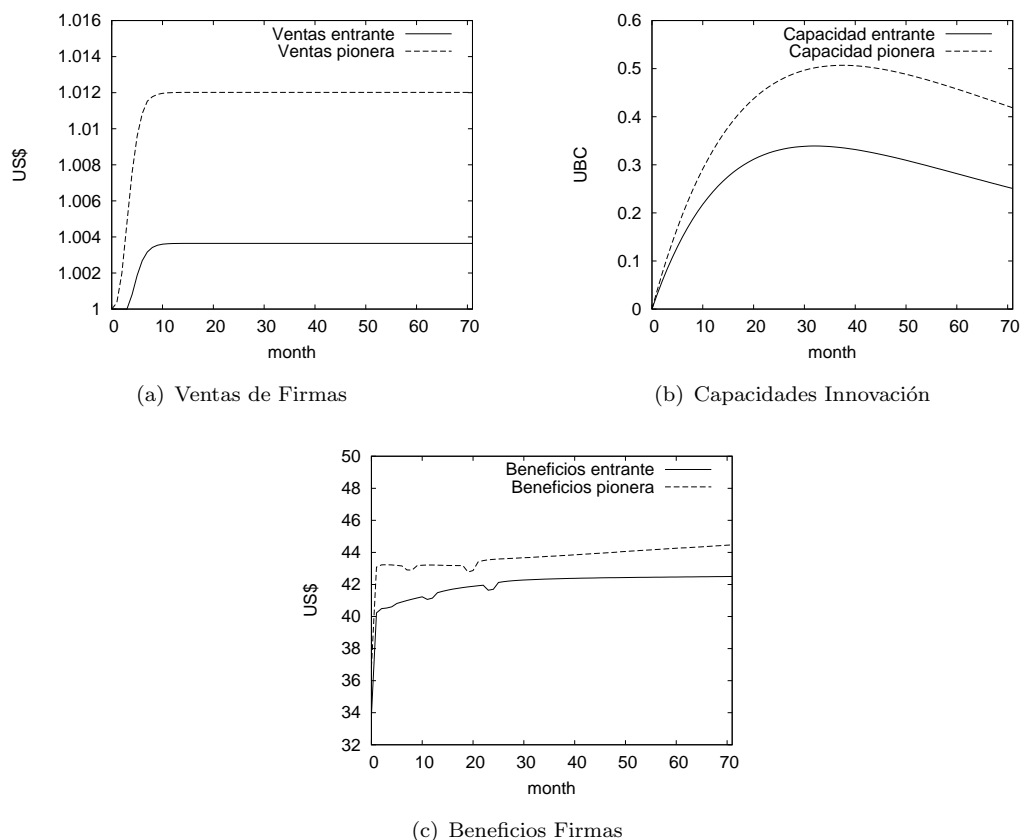


FIGURA 5.1: Resultados simulación Escenario Base.

TABLA 5.4: Porcentajes de Inversión para la firma Entrante.

Porcentajes inversión	Firma Entrante
I+D	15 %
Dirección Estratégica	18 %
Mercadeo	14 %
Fabricación	26 %
Gestión Rec. Financieros	18 %

capacidades de innovación se muestran en la Tabla 5.4.

Se observa en la Figura 5.2(a) y 5.2(c) que un incremento de la inversión en capacidades constitutivas de innovación de la firma entrante, sin que esta supere la inversión de la firma pionera, influye tanto en la tasa de ventas como en los beneficios de la firma. Sin embargo, no se puede dejar de lado que este incremento en la inversión de capacidades de innovación tiene un efecto que beneficia también a la firma pionera, por un efecto denominado *spillover* expuesto por Shy (1995). Así mismo se puede apreciar que las ventas y los beneficios son sensibles a cambios pequeños en la inversión en capacidades de innovación.

La firma pionera ingresa al mercado su primera versión de producto, y la firma entrante

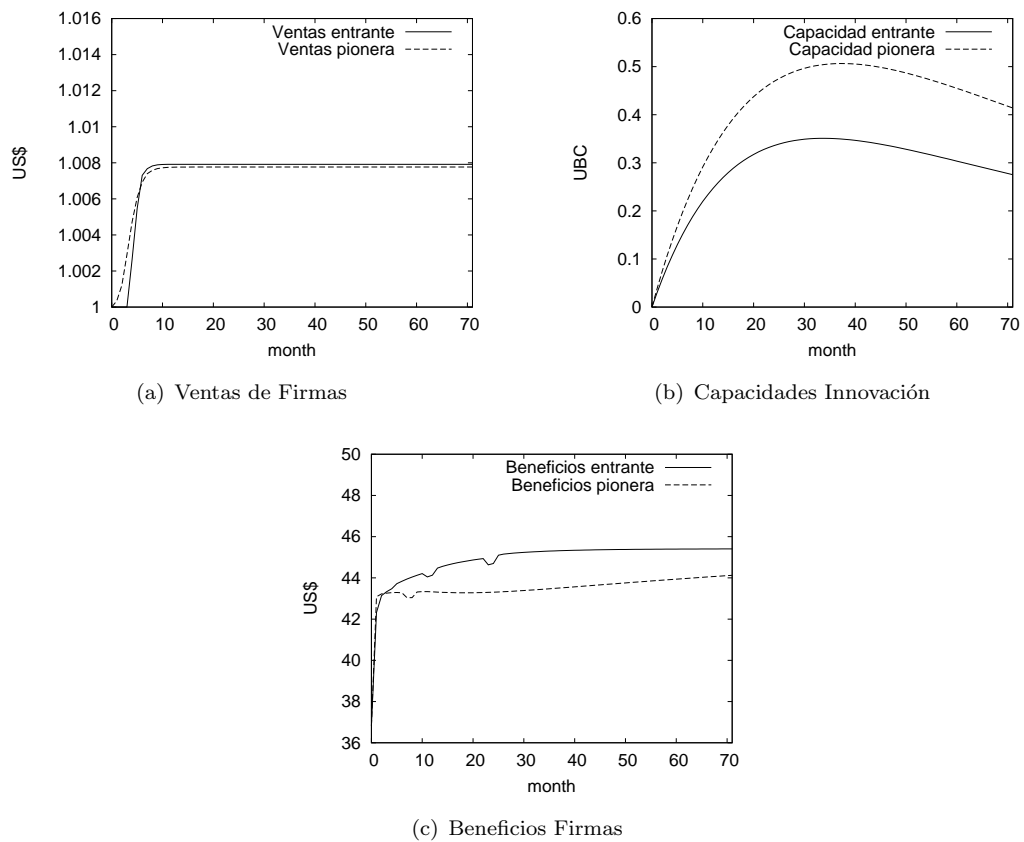


FIGURA 5.2: Resultados simulación Escenario 1.

responde con una nueva versión de producto que obedece a un producto mas innovador, dada la estimulación en las capacidades de innovación por una mayor inversión en ellas. Se observa que aproximadamente a partir de  $t = 4$  (ingreso de la versión 1 de producto de firma entrante) se supera los niveles de beneficios que muestra la firma pionera. El efecto spillover mencionado anteriormente se puede observar en tiempos posteriores cuando la diferencia entre el beneficio de la firma pionera y entrante comienza a reducirse.

### 5.1.3. Escenario 2

Este escenario corresponde a la variación de los tiempos de entrada de las versiones de producto de la firma entrante. Estos tiempos de entrada se muestran en la Tabla 5.5. En este caso se tienen tiempos de entrada de la firma entrante menores a los del escenario base.

Aunque un mayor tiempo de entrada es una aparente desventaja para las firmas entrantes, en este caso se puede apreciar que un tiempo de entrada menor no representa un incremento considerable en la tasa de ventas de la firma entrante. Se puede observar en la Figura 5.3(a) que las ventas no son muy sensibles al tiempo de entrada de las versiones de la firma, ni tampoco los beneficios como se aprecia en la Figura 5.3(c). Sin embargo,

TABLA 5.5: Tiempos de entrada de las versiones de producto - Escenario 2.

Versión Producto	Firma	Tiempo entrada (Mes)
1	Pionera	0
2	Pionera	8
3	Pionera	20
1	Entrante	2
2	Entrante	10
3	Entrante	22

las ventas de la firma pionera si se ven afectadas por estos tiempos de entrada, ya que los adoptadores potenciales prefieren esperar la venta de una próxima versión. Para este caso el nivel de capacidades no tiene una variación considerable respecto al nivel registrado en el escenario base como se ve en la Figura 5.3(b). Se observa además una disminución a partir del mes 40, tal como lo muestra el escenario base.

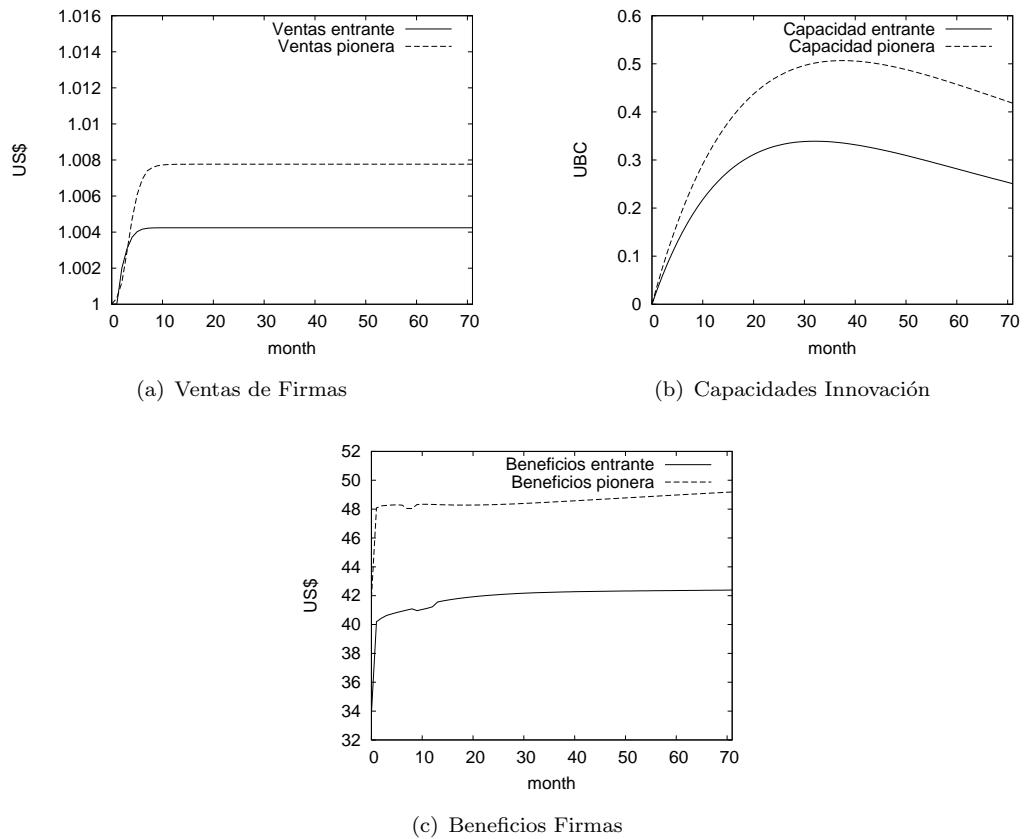


FIGURA 5.3: Resultados simulación Escenario 2.

### 5.1.4. Escenario 3

Este escenario corresponde a un cambio de 10% a 60% en la porción del mercado potencial correspondiente a la firma entrante para la versión del producto 1. Las demás

variables se mantienen como en el escenario base.

En este escenario se puede observar un retardo en la curva de ventas (véase Figura 5.4(a)). Esto se debe al tiempo de entrada de la versión para la firma entrante. Igualmente se puede apreciar el éxito de la firma entrante a partir de  $t = 11$  aproximadamente (Tiempo en el que ya se ha establecido la versión 2 de producto de la firma pionera y está a punto de ingresar la versión 2 de la firma entrante), donde las ventas de la firma entrante comienzan a superar las ventas de la firma pionera. Este comportamiento se da para la venta de las versiones de producto en un mercado en el cual la presencia de la firma pionera no es mayor a la de la entrante. Tal como se aprecia en la Figura 5.4(b) se presenta una variación positiva en el nivel de capacidades dado el incremento de las ventas, y se presenta una disminución a partir del mes 40 de la capacidad de innovación de ambas firmas.

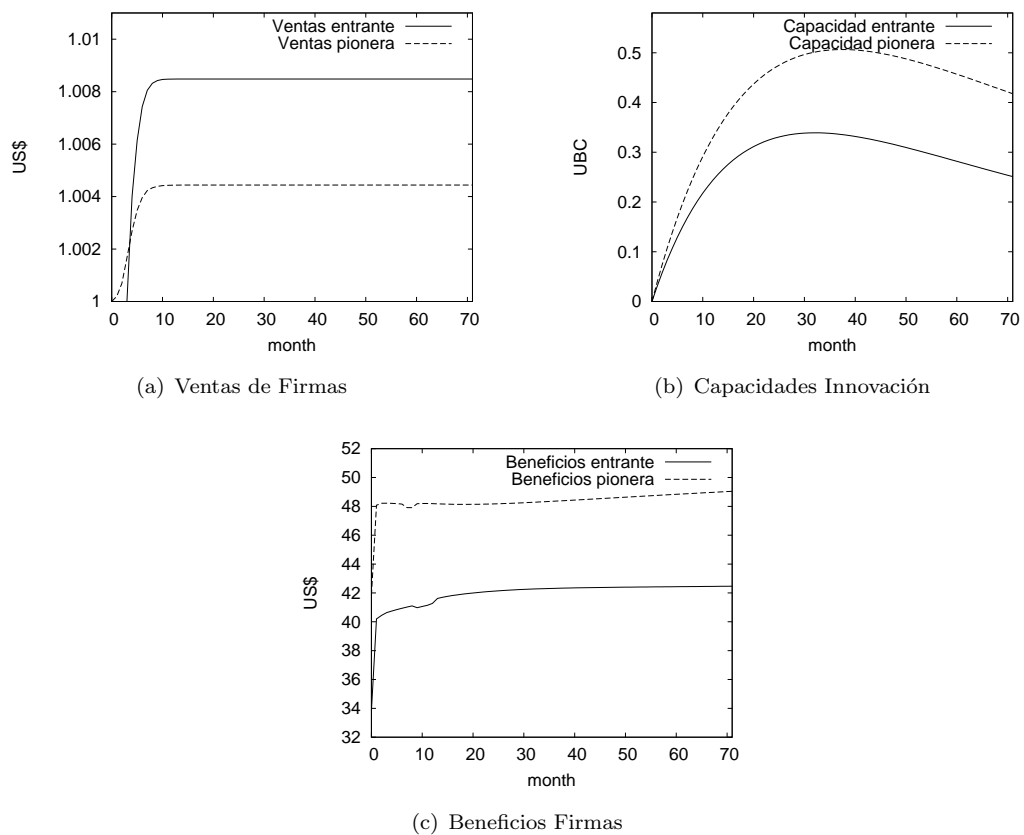


FIGURA 5.4: Resultados simulación Escenario 3.

### 5.1.5. Escenario 4

En este escenario se disminuye el precio del producto de la firma Entrante de US\$15 a US\$10 y se conservan los valores de las demás variables definidos en el escenario base.

En este caso, se observa en la Figura 5.5(a) un incremento en las ventas de la firma

Entrante, el cual se debe a que los usuarios se ven motivados a comprar cuando el precio del producto disminuye. Así mismo, la porción del mercado aumenta, pero los beneficios, como se aprecia en la Figura 5.5(c), disminuyen para la firma entrante. Aunque las ventas aumentan, no lo hacen lo suficiente para cubrir los costos vendiendo el producto a un precio de US\$10. Se observa en la Figura 5.5(b), al igual que en el escenario base, una disminución de la capacidad a partir del mes 40.

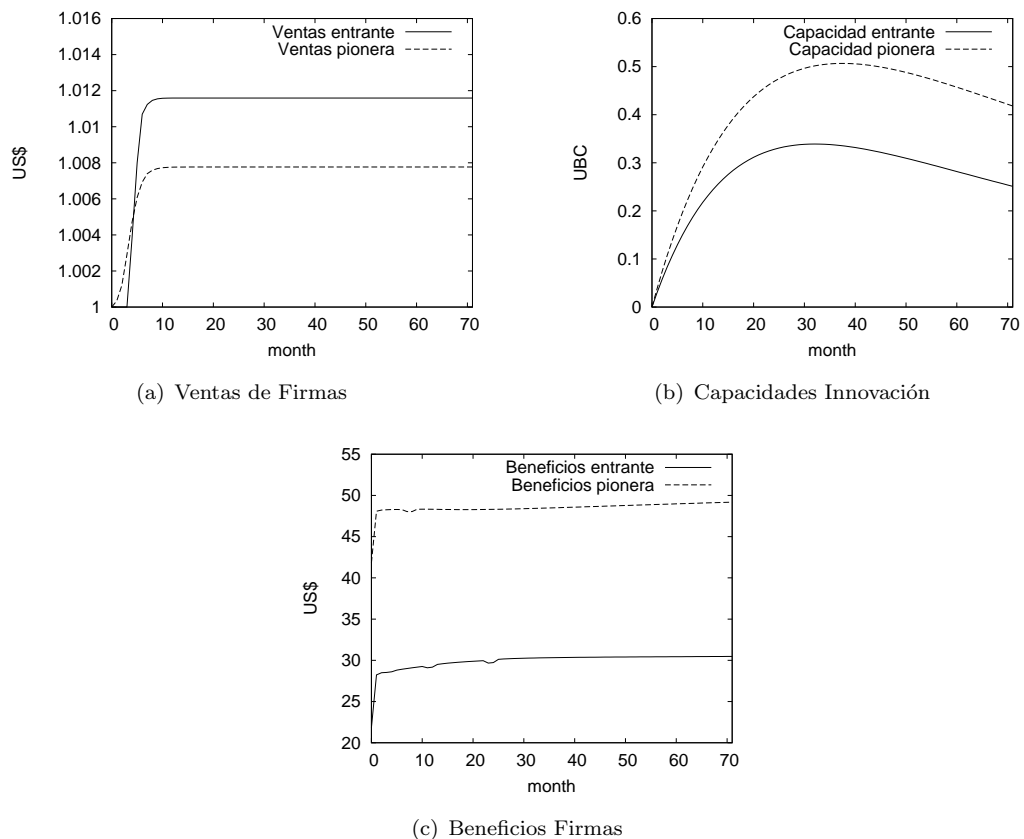


FIGURA 5.5: Resultados simulación Escenario 4.

### 5.1.6. Escenario 5

En este escenario se da una variación incremental del precio de las diferentes versiones de producto de la firma entrante de US\$15 a US\$20.

Como se puede ver en la Figura 5.6(c), los beneficios de la firma entrante se incrementan notablemente, dado el incremento del precio, esto afecta directamente el nivel de las ventas, tal como se observa en la Figura 5.6(a). Este resultado se debe a que la base instalada disminuye porque existe en el mercado una firma ya posicionada que ofrece una versión del mismo producto a un menor precio.

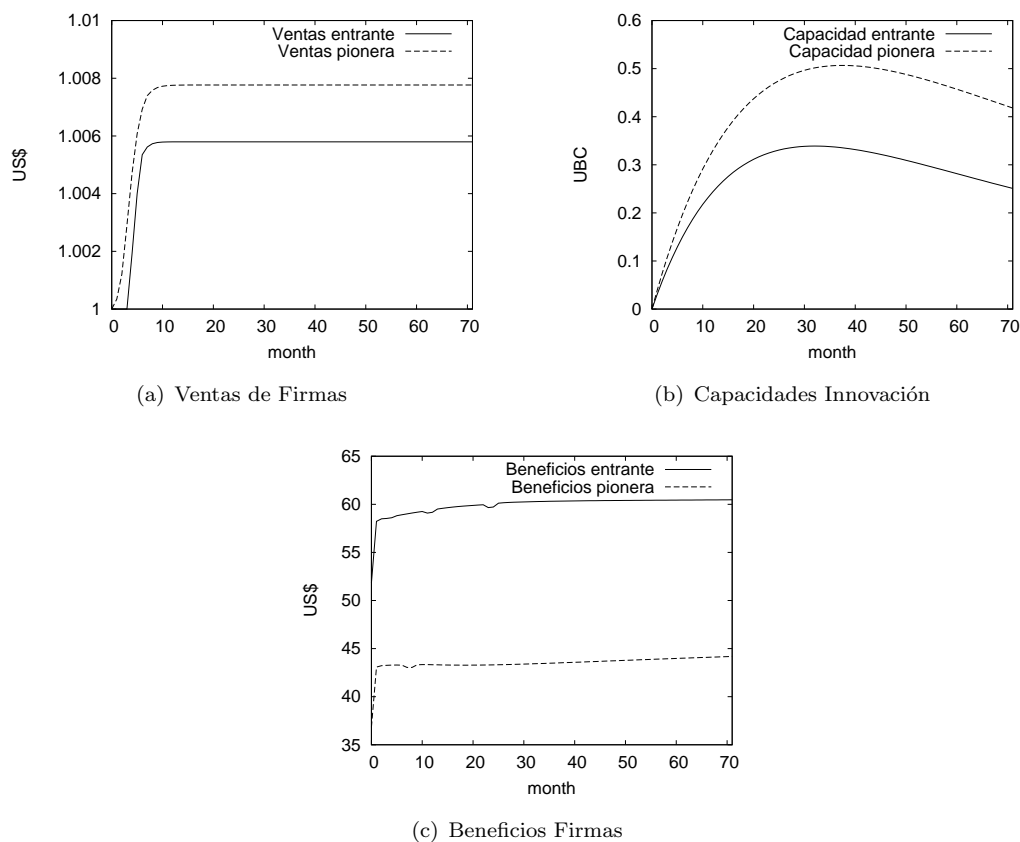


FIGURA 5.6: Resultados simulación Escenario 5.

### 5.1.7. Escenario 6

En este escenario se da un valor de 0 (cero) a los factores de relevancia del capital humano, diáspora y multinacionales para la firma pionera. De esta forma sus ventajas comparativas no varían a lo largo de la simulación (se mantienen en cero), y las ventas internacionales se mantienen constantes en un valor de 0,1.

Para este caso se puede observar que, dado que las capacidades de innovación no son suficientes para competir exitosamente cuando el mercado local se encuentra saturado, es necesario diversificar los productos para exportar, y de esta forma ingresar al mercado internacional. Como se observa en la Figura 5.7(c), se incrementan los beneficios de la firma entrante por ingresos por ventas locales influenciadas por las capacidades de innovación (véase Figura 5.7(b)), como por ventas internacionales afectadas positivamente por las ventajas comparativas, en comparación con la firma pionera, la cual solo tiene ingresos por ventas domésticas. Para la firma pionera también se observa en la Figura 5.7(c) que los beneficios se reducen dado que no está recibiendo ingresos por ventas internacionales.

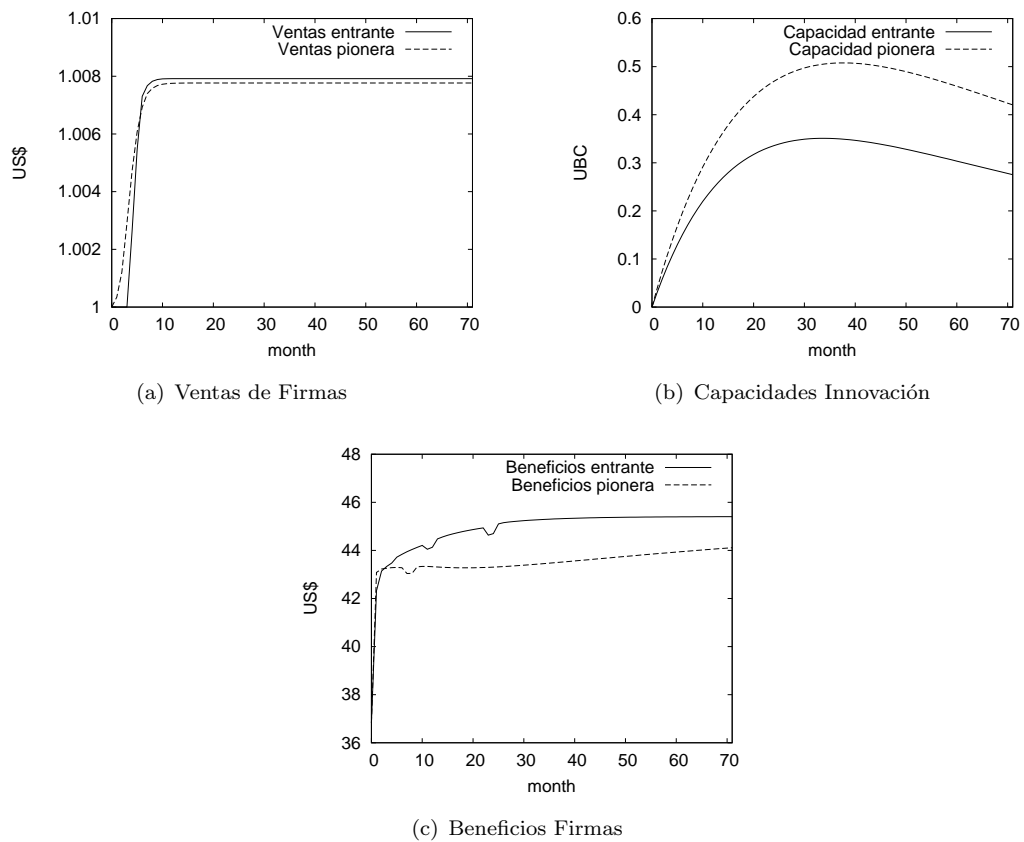


FIGURA 5.7: Resultados simulación Escenario 6.

### 5.1.8. Escenario 7

Para este escenario se tiene una disminución de los costos de personal para la firma pionera, siendo estos menores a los de la firma entrante.

Se puede observar en este escenario que los costos son altamente influyentes en los cambios de las ventajas comparativas. Se observa una relación inversa entre ellas, dado que a menores costos, mayor nivel de ventajas comparativas (véase Figura 5.8(a)). Esto influye en el nivel de ventas internacionales, como se aprecia en la Figura 5.8(b), las cuales se ven afectadas positivamente.

### 5.1.9. Escenario 8

En este escenario se define una tasa de retorno al país igual a 3%, menor a la tasa de salida que es igual a 5% para la firma pionera, teniendo en cuenta la inversión en capacidades de innovación definidas en el escenario base, al igual que las demás variables.

Se puede observar en este escenario que la diáspora, aunque representa beneficios para las firmas porque estimula el nivel de ventas internacionales, tiene un efecto colateral en la capacidad de fabricación cuando la tasa de retorno del personal es menor que

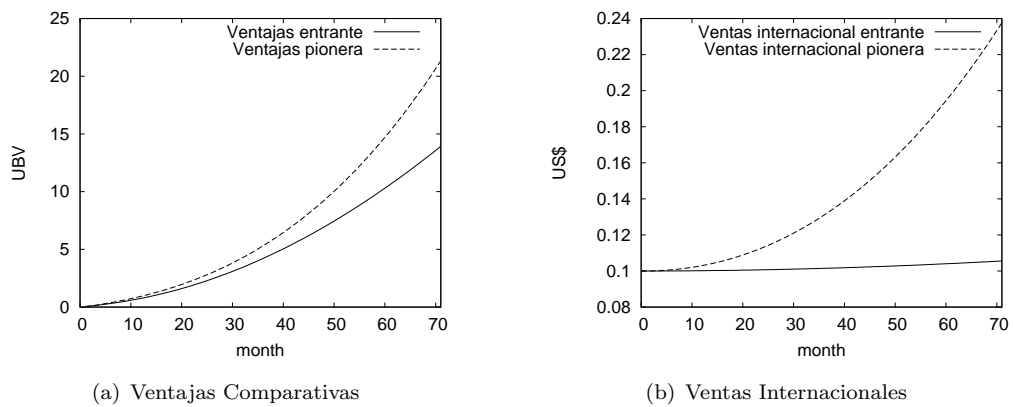


FIGURA 5.8: Resultados simulación Escenario 7.

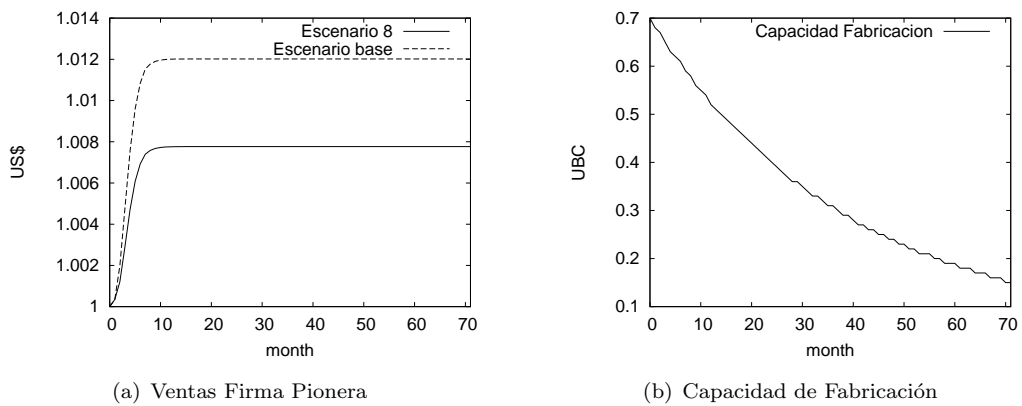


FIGURA 5.9: Resultados simulación Escenario 8.

la tasa de salida del país. A su vez, este efecto colateral afecta el nivel de capacidad de fabricación, como lo muestra la Figura 5.9(b). También se puede observar que a medida que disminuye la capacidad de fabricación, se refleja una disminución del nivel de capacidades de innovación, y de esta forma, se ve afectado el nivel de ventas nacionales de la firma pionera como se aprecia en la Figura 5.9(a). En esta figura se puede observar que el nivel de ventas del escenario 8 disminuye respecto al del escenario base.

## 5.2. Discusión de Resultados

En el escenario base se observa que las capacidades, beneficios y ventas de la firma pionera superan los niveles de la firma entrante, en primer lugar porque la porción de mercado que tiene la firma pionera es mayor que la porción de la firma entrante. En segunda instancia porque los porcentajes de inversión en capacidades de la firma entrante son menores que los de la pionera, y finalmente, porque el tiempo de entrada de la firma entrante es menor que el de la firma pionera.

Si se comparan los escenarios 1 y 2 se observa que la ventaja de tiempo de ingreso

que tienen las firmas pioneras sobre las entrantes es relativa. Se puede apreciar en la Figura 5.10 que las ventas se encuentran mas influenciadas por cambios en la inversión en capacidades de innovación que por los tiempos de entrada de los productos de las firmas entrantes. Lo mismo sucede con los beneficios de la firma, éstos son más sensibles a la inversión en capacidades de innovación.

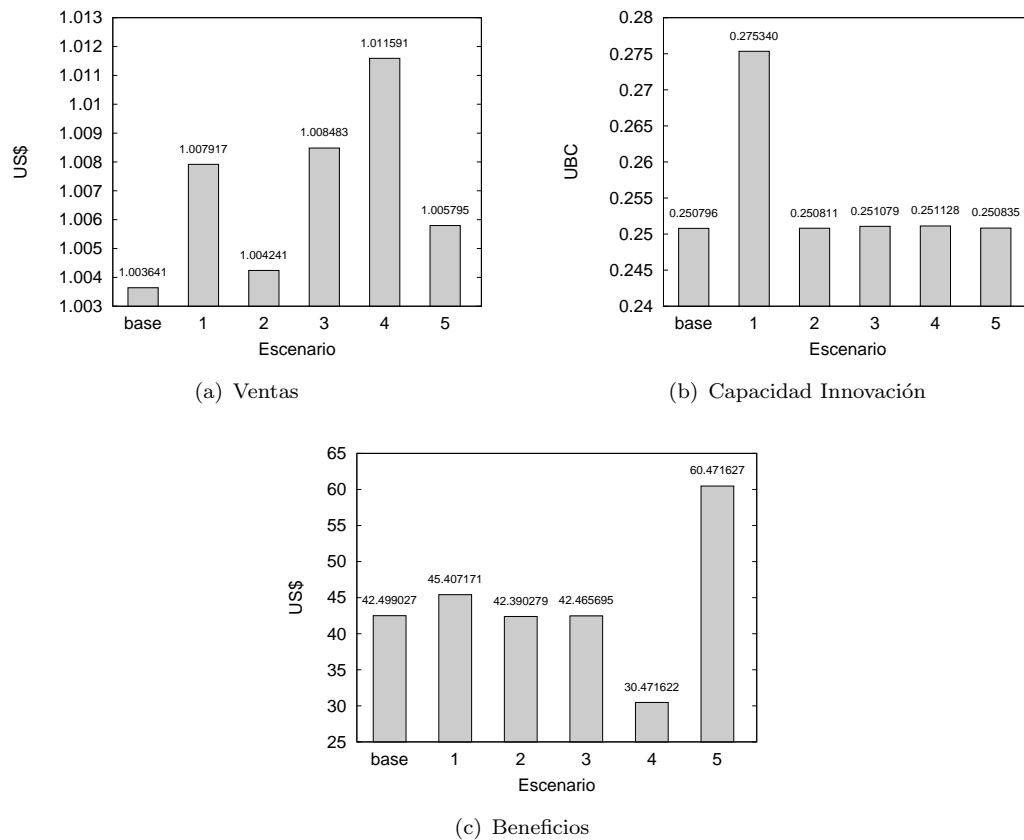


FIGURA 5.10: Comparación de variables entre escenarios para la firma entrante.

En el escenario 2 se observa que las ventas de la firma pionera se ven negativamente influenciadas, dado que algunos adoptadores del producto vendido por la firma pionera pasan a adoptar la versión ofrecida por la firma entrante, y otros pasan a ser adoptadores potenciales al esperar la próxima versión de producto vendida por la firma pionera o la firma entrante. Se puede observar que son mas los adoptadores que prefieren esperar una nueva versión que aquellos que optan por la versión ofrecida por la firma entrante.

Por otro lado, el escenario 3 muestra el éxito de una firma de ingreso tardío cuando logra encontrar un nicho de mercado que aún no ha sido explotado por una firma pionera (véase Figura 5.10(a)). Igualmente, permite observar como las firmas de ingreso tardío logran competir no solo exitosamente, sino superar a la firma pionera mediante su incursión en el mercado nacional y el mercado internacional, complementando la estrategia de inversión en capacidades de innovación junto con la introducción de ventajas comparativas y el fortalecimiento de las mismas.

El escenario 4 muestra un incremento en el nivel de ventas, como se observa en la Figura 5.10(a), pero una disminución bastante notable en la variable de beneficios, como se puede ver en la Figura 5.10(c). A partir de esto, se puede concluir que una estrategia de precios un poco menos agresiva podría ser una buena alternativa, combinada a su vez con lo sugerido por el escenario 1, que indica un incremento del porcentaje de inversión en capacidades de innovación como se muestra en la Figura 5.10(b). Las firmas pueden disminuir los precios cuando el grado de innovación de la versión no es alto, en este caso las firmas recurren a la imitación de productos ya establecidos, para lo cual los costos de producción no son altos. Una estrategia de disminución de precios logra incrementar la base instalada de usuarios, puesto que los usuarios adoptadores se motivan a comprar los productos con menor precio, sin embargo, si los precios son demasiado bajos no se generarán suficientes beneficios para que la firma pueda subsistir.

Adicionalmente, las firmas de software pueden recurrir a incrementar los precios de los productos siempre y cuando se haya invertido en capacidades de innovación y por consiguiente, la firma desarrolle un producto innovador que aumente la base instalada de usuarios, incrementándose el nivel de ventas. De igual forma, se pueden obtener beneficios ya que por la inversión en capacidades se observa una menor cantidad de costos hundidos.

Respecto al escenario 5, se puede observar que las ventas del producto de la firma entrante incrementa respecto a las ventas en el escenario base dado que se incrementa el nivel de innovación en la versión de producto ofrecido. En este caso los adoptadores están dispuestos a pagar un mayor precio por un producto más innovador que le represente ventajas ante otros usuarios.

Se observa en el escenario base y escenarios 1–5 que las capacidades de innovación no crecen indefinidamente, y se llega a un tiempo límite a partir del cual las capacidades comienzan a disminuir. Esto se explica mediante la obsolescencia de las capacidades dada por la rotación del personal capacitado o por el desgaste físico del mismo. De igual forma, la naturaleza cambiante de la industria del software requiere que las capacidades de las firmas permitan adaptarse a las nuevas condiciones de la industria, razón por la cual es necesario crear mecanismos, además de inversión en capacidades, que permitan mantener un equilibrio en el nivel de las mismas. Algunos mecanismos pueden ser la disminución de horas adicionales de los empleados (carga laboral) y la motivación personal y profesional al interior de las firmas.

Luego de analizar estos escenarios, se puede concluir que de los cinco primeros escenarios, el más conveniente para la firma entrante, si se desea ingresar al mercado local, es el escenario 1, ya que se mantiene un equilibrio entre nivel de ventas y beneficios obtenidos por la firma entrante. Se llega a esta conclusión comparando los resultados obtenidos por escenario para las variables correspondientes a ventas de la firma entrante para la versión de producto 1 (véase Figura 5.10(a)), y los beneficios obtenidos (Figura 5.10(c)). Es importante tener en cuenta que para el escenario 1 se tiene el mayor nivel de capacidad.

Finalmente, el escenario 8 muestra una particularidad del caso colombiano: La tasa de retorno del personal que sale del país es menor que la tasa de salida. Debido a esto, se genera un efecto colateral que disminuye la capacidad de fabricación de las firmas. La capacidad de fabricación afecta a las ventas nacionales, por consiguiente los beneficios de la firma disminuyen. Es por esta razón que las firmas deben mantener un equilibrio en la ventaja comparativa correspondiente a la diáspora, manteniendo continuo control sobre los empleados que salen del país y aquéllos que regresan, y de esta forma evitar fortalecer a la competencia.

## Capítulo 6

# Conclusiones y Trabajos Futuros

### 6.1. Conclusiones

A partir de la investigación realizada fue posible identificar las debilidades y fortalezas que presenta actualmente la industria del software en Colombia. Esta identificación se hizo mediante la comparación con otros países con economías emergentes tales como las 3I's (India, Irlanda, Israel), China, y en Latinoamérica con países como Brasil, Argentina, México y Chile. Se observó que Colombia posee desventajas frente a competidores pioneros, principalmente debido a las barreras creadas de acuerdo con el orden de entrada a un mercado. Estas desventajas están relacionadas con la estructura de costos, la experiencia de los competidores pioneros en las ventas de sus productos y el tiempo que tienen para incrementar las externalidades de red. No obstante, fue posible observar que las firmas de ingreso tardío pueden formular varias estrategias para ingresar al mercado exitosamente. Estas estrategias están orientadas en primera instancia a tener presencia en más de una línea de productos o nichos de mercado dentro de un mismo sector. Igualmente, teniendo en cuenta que este sector no haya sido dominado por firmas pioneras, las firmas entrantes pueden apuntar a la creación de productos con alto desarrollo tecnológico mediante la inversión en capacidades de innovación que les permitan competir exitosamente con las firmas pioneras.

La problemática de la industria del software en Colombia se resume básicamente en: Precios poco competitivos para el mercado internacional, bajos estándares de Calidad, inconveniente con el idioma de los países a exportar, poco personal especializado, poca experiencia en mercados internacionales. Todos estos factores apuntan a un bajo nivel de capacidades de innovación que terminan en un bajo nivel de ventajas comparativas, lo cual significa firmas menos competitivas y por ende la industria del software del país se ve afectado por estas falencias.

Durante la revisión de la industria del software en Colombia se identificaron claras ventajas de Colombia frente a otros países, en las que debe enfocarse para surgir, crecer y competir

exitosamente en el mercado, estas ventajas son: los bajos costos por programador, lo cual contribuye a tener el salario más competitivo de América Latina. Adicionalmente el alto nivel de los empleados en habilidades básicas (matemáticas, economía, administración, contaduría) comparado con el nivel de los empleados de las firmas de otros países latinoamericanos. Estas ventajas se traducen en personal con excelentes capacidades y menores costos para las firmas, por lo tanto se hace más atractivo el producto de software elaborado por firmas Colombianas.

El estudio de las capacidades de innovación, ventajas comparativas y su relevancia en la industria del software ha sido abordado desde diferentes perspectivas, tales como modelos econométricos y modelos basados en lógica difusa, entre otros. En este trabajo se presenta una propuesta alternativa la cual plantea un modelo de dinámica de sistemas que permite comprender la complejidad inmersa en las relaciones entre las diferentes variables que constituyen la industria del software y los efectos que tienen las capacidades de innovación y las ventajas comparativas sobre las variables más relevantes dentro de la industria. Estas variables incluyen las ventas, los beneficios de la firma y la base instalada de usuarios; aspectos normalmente no considerados por otras metodologías.

El modelo desarrollado fue utilizado para la simulación de diferentes escenarios de capacidades de innovación, tiempo de entrada, precios y ventajas comparativas. El análisis de las simulaciones muestra como las ventas nacionales se ven influenciadas por cambios en la inversión en capacidades de innovación, o en su defecto, por la estimulación de las ventajas comparativas. Un incremento en las capacidades de innovación de las firmas entrantes que superan en un 3% a la inversión realizada por la firma pionera puede representar incrementos en las ventas nacionales de esta firma, principalmente debido a la diversificación de los productos ofrecidos bajo condiciones de precio del producto igual o inferior al de la firma pionera. Las ventas internacionales son sensibles a cambios en el nivel de ventajas comparativas; la ventaja comparativa más relevante son los costos operacionales, ya que los clientes prefieren comprar sus productos a aquellas firmas donde el producto sea elaborado a menores costos. Estas ventas incluyen no solo ventas del producto, sino además actividades que clientes extranjeros decidan realizar en el país dado los bajos costos. Las simulaciones muestran también que el tiempo de entrada de las versiones no tiene mayores efectos de disminución en los beneficios y las ventas de la firma entrante, siempre y cuando las firmas entrantes tengan estrategias de innovación en el producto bien definidas. También fue posible observar que la ventaja comparativa relacionada con la diáspora tiene efectos colaterales negativos en la capacidad de fabricación de la firma para el escenario base en Colombia, dado que la tasa de retorno del personal es menor a la tasa de salida del mismo.

La validación del modelo fue realizada con los diferentes expertos en el tema de la industria de software como profesores, estudiantes de Ingeniería de Sistemas, maestría en Ingeniería de Sistemas, doctorado en Sistemas y miembros del clúster de Intersoftware. Esta interacción permitió una abstracción apropiada de la situación real de la industria y

reproducir el comportamiento del crecimiento y surgimiento de las firmas de Colombia. El modelo permite abstraer la problemática que desde un principio se tenía como objetivo abordar.

A partir de la simulación de los escenarios de ventajas comparativas, fue posible concluir que para que se lleve a cabo con éxito el ingreso de una firma entrante, no es suficiente con la inversión en capacidades de innovación y estrategias de precios. Es necesario identificar nuevos nichos de mercado y explorar el mercado internacional. Esto se logra mediante el fortalecimiento de las ventajas comparativas, las cuales están conformadas por la diáspora, el capital humano capacitado, los costos unitarios por empleado, y finalmente, a la presencia de las multinacionales. Si no se cuenta con un nivel adecuado tanto de capacidades como ventajas comparativas, la firma no podrá superar a las firmas pioneras. Es necesario el ingreso a ambos mercados buscando la diversificación de productos, y de esta forma se evita el fracaso al tratar de ingresar a mercados ya saturados.

A partir de los resultados para el escenario base y escenarios del 1 al 5 se concluye que las capacidades de innovación comienzan a disminuir a partir del mes 40 por la tasa de obsolescencia que tiene cada capacidad constitutiva. Además de la inversión en capacidades de innovación existen otros mecanismos que permiten controlar el desgaste de las capacidades, como lo es incentivar al personal con el fin de evitar perder capital humano importante para la firma. El desgaste físico del personal puede ser evitado si se disminuye el trabajo adicional, dado que este factor disminuye con el tiempo la productividad de los empleados.

De acuerdo con la revisión del caso colombiano, se observó que aunque las multinacionales representan una fuente de conocimiento y aprendizaje tecnológico, estas obligan a las empresas locales a fortalecerse en diversos aspectos. Actualmente las mayores multinacionales con sedes en Colombia han protegido sus conocimientos y habilidades, dificultando los procesos de aprendizaje tecnológico, imitación, transferencia tecnológica y modernización del sector en general. Por lo cual las multinacionales en Colombia, a diferencia de otros países con economías emergentes, no representan una fuente de incremento de ventajas comparativas.

## 6.2. Trabajos Futuros

El modelamiento actual de las ventajas comparativas incluye parámetros para la definición de la relevancia de cada uno de los elementos que conforma a las ventajas. Como trabajo futuro se plantea el desarrollo de funciones más elaboradas que definan esta relevancia para cada uno de los elementos que conforman a las ventajas comparativas: diáspora, capital humano, costos operacionales y número de multinacionales. De esta forma sería posible observar y concluir acerca de la dinámica inmersa en dichos pesos o relevancias.

Otro trabajo futuro que contribuiría al anterior trabajo propuesto sería la recolección de datos de la industria del software y la conformación de un archivo histórico de datos sólido. Para esto se propone el uso del aplicativo Web que se está desarrollando actualmente en el proyecto “Metodología para la medición y evaluación de capacidades de innovación en empresas de software y tecnologías relacionadas y su aplicación experimental en Antioquia”. Adicionalmente, con esta aplicación puede ser posible mantener una realimentación constante que permita una calibración y actualización constante del modelo. De igual forma será posible realizar el mantenimiento del modelo de acuerdo a los cambios de tendencia y en las variables con el paso de los años.

Finalmente, se propone una interfaz gráfica que permita realizar simulaciones y desplegar a los empresarios los resultados mediante gráficos prospectivos, que permitan observar cómo su nivel de ventajas comparativas y capacidades de innovación afecta su posición frente a los demás competidores. Estos resultados serán de utilidad al empresario para tomar decisiones en cuanto a la inversión a realizar en las diferentes capacidades constitutivas de innovación, al igual que servirá de apoyo para la planeación de estrategias de precios, de acuerdo con las tendencias que se observen de las variables de capacidades, ventajas, beneficios y ventas.

# Bibliografía

- Achilladelis, B. and Antonakis, N. (2001). The dynamics of technological innovation: the case of the pharmaceutical industry. *Research Policy*, 30(4):535–588.
- Aguirre, J., Robledo, J., and Pérez, A. (2009a). Metodología para medir y evaluar las capacidades tecnológicas de innovación en fábricas de software a partir de lógica difusa. In *XIII Seminario Latino-iberoamericana de Gestión Tecnológica (ALTEC 2009)*, Colombia.
- Aguirre, J., Robledo, J., and Pérez, A. (2009b). Metodología para medir y evaluar las capacidades tecnológicas de innovación en fábricas de software, utilizando lógica difusa. In *4º Congreso Internacional de Sistemas de Innovación para la Competitividad 2009: Hacia la Inteligencia Competitiva (SINNCO'09)*, Mexico.
- Ansoff, H. I. and Stewart, J. (1967). Strategies for a technology-based business. *Harvard Business Review*, 45(6):71–83.
- Arboleda, H. F. (2005). Modelos de ciclo de vida de desarrollo de software en el contexto de la industria colombiana de software. *Revista ACIS*, 93.
- Arora, A. and Gambardella, A. (2005a). Bridging the gap: Conclusions. In Arora, A. and Gambardella, A., editors, *From Underdogs to Tigers: The Rise and Growth of the Software Industry in Brazil, China, India, Ireland, and Israel*, pages 275–302. Oxford University Press, New York.
- Arora, A. and Gambardella, A. (2005b). *From Underdogs to Tigers: The Rise and Growth of the Software Industry in Brazil, China, India, Ireland, and Israel*. Oxford University Press, New York.
- Arora, A., Gambardella, A., and Klepper, S. (2005). Organizational capabilities and the rise of the software industry in the emerging economies: Lessons from the history of some us industries. In Arora, A. and Gambardella, A., editors, *From Underdogs to Tigers: The Rise and Growth of the Software Industry in Brazil, China, India, Ireland, and Israel*, pages 171–206. Oxford University Press, New York.
- Arora, A., Gambardella, A., and Torrisi, S. (2001). Human capital, international linkages and growth : the software industry in india and ireland. In *Reunión de la American Economic Association*, Nueva Orleans.

- Athreye, S. (2005). The indian software industry and its evolving service capability. *Industrial and Corporate Change*, 14(3):393–418.
- Baden-Fuller, C. and Volberda, H. W. (2001). Dormant capabilities, complex organisations and renewal. In Sanchez, R., editor, *Knowledge Management and Organizational Competence*, pages 114–136. Oxford University Press.
- Bain, J. S. (1956). *Barriers to new competition : their character and consequences in manufacturing industries*. Harvard University Press, Cambridge, Mass.
- Bass, F. M. (1969). A new product growth for model consumer durables. *Management Science*, 15(5):215–227.
- Bass, F. M. (2004). A new product growth for model consumer durables. *Management Science*, 50(12 Supplement):1825–1832.
- Bayer, S. and Gann, D. (2006). Innovation and the dynamics of capability accumulation in project-based organisations. In *The 24th International Conference of the System Dynamics Society*, Nijmegen, The Netherlands.
- Breznitz, D. (2005). Collaborative public space in a national innovation system: a case study of the Israeli military’s impact on the software industry. *Industry and innovation*, 12(1):31–64.
- BSA (2006). Third annual BSA and IDC global software: Piracy study. Technical report, Business Software Alliance, IDC.
- Burgelman, R. A., Christensen, C. M., and Wheelwright, S. C. (2008). *Strategic Management of Technology and Innovation*. McGraw-Hill/Irwin.
- Capaldo, G., Iandoli, L., Raffa, M., and Zollo, G. (2003). The evaluation of innovation capabilities in small software firms: A methodological approach. *Small Business Economics*, 21(4):343–354.
- Capron, L. and Hullan, J. (1999). Redeployment of brands, sales forces, and general marketing management expertise following horizontal acquisitions: A resource-based view. *The Journal of Marketing*, 63(2):41–54.
- Carpenter, G. S. and Nakamoto, K. (1989). Consumer preference formation and pioneering advantage. *Journal of Marketing Research*, 26(3):285–298.
- Castellanos, F., Mayerly, A., and S., L. (2007). Estudio de previsión tecnológica industrial para la industria del software y servicios asociados. Technical report, Universidad Nacional de Colombia.
- CCB (2005). Balance tecnológico, cadena productiva, desarrollo de software en bogotá y cundinamarca. Technical report, Cámara de Comercio de Bogotá.

- Chanda, U. and Bardhan, A. (2008). Modelling innovation and imitation sales of products with multiple technological generations. *Journal of High Technology Management Research*, 18(2):173–190.
- Cho, D.-S., Kim, D.-J., and Rhee, D. K. (1998). Latecomer strategies: Evidence from the semiconductor industry in japan and korea. *Organization Science*, 9(4):489–505.
- Cohen Wesley, L. D. (1999). Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1):128–152.
- Cooper, J. and Fisher, M. (2002). Software Acquisition Capability Maturity Model (SA-CMM), Version 1.03. Technical report, CMU/SEI-2002-TR-010.
- Damanpour, F. and Wischnevsky, D. J. (2006). Research on innovation in organizations: Distinguishing innovation-generating from innovation-adopting organizations. *Journal of Engineering and Technology Management*, 23(4):269–291.
- DANE (2007). Encuesta anual de servicios informática y actividades conexas y agencias de publicidad 2006. *Boletín de Prensa, DANE: Colombia*, pages 1–35.
- DANE (2010). Proyecto eiu. Technical report, Departamento Nacional de Estadística: Colombia.
- Datanalisis (2005). Estudio de la industria del software en colombia. Technical report, Microsoft: Ecuador.
- DNP (2007). Agenda interna para la productividad y la competitividad. documento sectorial software. Technical report, Departamento Nacional de Planeación.
- Dosi, G., Nelson, R. R., and Winter, S. (2001). *The Nature and Dynamics of Organizational Capabilities*. Oxford University Press.
- EAFIT (2003). Servicios de tecnología de la información. Technical report, M.d.C.E.A.-M.d.C.I.y.
- Economides, N. (1996a). The economics of networks. *International Journal of Industrial Organization*, 14(6):673–699.
- Economides, N. (1996b). Network externalities, complementarities, and invitations to enter. *European Journal of Political Economy*, 12(2):211–233.
- Ernst, D., Ganiatsos, T., and Mytelka, L., editors (1998). *Technological capabilities and export success in Asia*. Routledge, London ; New York.
- ESI (2008). Industria de software en colombia. Technical report, European Software Institute- Tecnalía.

- Estrada, S. and Heijs, J. (2006). Technological Behaviour and Export Probability in Developing Countries: The Case of Mexico. *Science Technology and Society*, 11(2):271–317.
- FEDESOFTE (2008). Descripción del sector del software. Technical report, Federación Colombiana de la Industria de Software.
- FEDESOFTE (2009). Sector de ti en colombia. Technical report, Federación Colombiana de la Industria de Software.
- FEDESOFTE (2010). Sector de ti en colombia. Technical report, Federación Colombiana de la Industria de Software.
- Ferdows, K. and De Meyer, A. (1990). Lasting Improvements in Manufacturing Performance: In Search of a New Theory. *Journal of Operations Management*, 9(2):168—184.
- Fudenberg, D. and Tirole, J. (2000). Pricing a network good to deter entry. *The Journal of Industrial Economics*, 48(4):373–390.
- Gandal, N. (1994). Hedonic price indexes for spreadsheets and an empirical test for network externalities. *The RAND Journal of Economics*, 25(1):160–170.
- Giarratana, M., Pagano, A., and Torrisi, S. (2003). Links between multinational firms and domestic firms: a comparison of the software industry in india, ireland and israel. LEM Papers Series 2003/22, Laboratory of Economics and Management (LEM), Sant’Anna School of Advanced Studies, Pisa, Italy.
- Giarratana, M., Pagano, A., and Torrisi, S. (2005). The role of the multinational companies. In Arora, A. and Gambardella, A., editors, *From Underdogs to Tigers: The Rise and Growth of the Software Industry in Brazil, China, India, Ireland, and Israel*, pages 207–235. Oxford University Press, New York.
- Griliches, Z. (1957). Hybrid corn: An exploration in the economics of technological change. *Econometrica*, 25(4):501–522.
- Griliches, Z. (1960). Hybrid Corn and the Economics of Innovation. *Science*, 132(3422):275–280.
- Groak, S., F. K. F. (1989). The practitioner-research in the building industry. *Building Research and Practice*, 17:52—59.
- Grobler, A. (2010). An exploratory system dynamics model of strategic capabilities in manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 21(6):651–669.
- Guan, J. C. and Ma, N. (2003). Innovative capability and export performance of Chinese firms. *Technovation*, 23(9):737–747.

- Guan, J. C., Yam, R. C., Mok, C. K., and Ma, N. (2006). A study of the relationship between competitiveness and technological innovation capability based on dea models. *European Journal of Operational Research*, 170(3):971–986.
- Hausmann, R. and Rodrik, D. (2003). Economic development as self-discovery. *Journal of Development Economics*, 72(2):603–633.
- Heeks, R. and Nicholson, B. (2006). Software Export Success Factors and Strategies in Developing and Transitional Economies. *University of Manchester, Institute for Development Policy and Management*, 11(2):271–317.
- Hymer, S. (1976). *The international operations of national firms : a study of direct foreign investment*. MIT Press, Cambridge, Mass.
- ICEX (2005). El sector del software en colombia. Notas sectoriales, Oficina económica y comercial de la Embajada Española en Bogotá.
- Junqueira, A., Stefanuto, G., and Veloso, F. (2005). The brasilian software industry. In Arora, A. and Gambardella, A., editors, *From Underdogs to Tigers: The Rise and Growth of the Software Industry in Brazil, China, India, Ireland, and Israel*, pages 99–130. Oxford University Press, New York.
- Katz, M. L. and Shapiro, C. (1994). Systems competition and network effects. *Journal of Economic Perspectives*, 8(2):93–115.
- Keilbach, M. C. and Posch, M. (1998). Network externalities and the dynamics of markets. Working Papers ir98089, International Institute for Applied Systems Analysis.
- Kunc, M. (2007). To cluster or not to cluster: A simulation study of managerial practices for innovating in smes. In *25th International System Dynamics Conference*, Boston, USA.
- Lefebvre, E., Lefebvre, L., and Bourgault, M. (1998). R&D-related capabilities as determinants of export performance. *Small Business Economics*, 10(4):365–377.
- Leonard-Barton, D. (1995). *Wellsprings of Knowledge: Building and Sustaining the Sources of Innovation*. Harvard Business School Press, Boston, MA, USA.
- Lieberman, M. B. and Montgomery, D. B. (1998). First-mover (dis) advantages: Retrospective and link with the resource-based view. *Strategic Management Journal*, 19(12):1111–1125.
- López, A. (2003). Estudios de competitividad sistémica. componente b: la sociedad de la información, servicios informáticos, servicios de alto valor agregado y software. Resumen Ejecutivo 1.EG.33.4, Ministerio de Economía de la Nación.
- López, J. I. and Arroyo, J. L. (2005). Modelos matemáticos de difusión tecnológica. In *IX Congreso de Ingeniería de Organización*.

- Mahajan, V. and Muller, E. (1979). Innovation diffusion and new product growth models in marketing. *The Journal of Marketing*, 43(4):55–68.
- Mahajan, V. and Peterson, R. A. (1978). Innovation Diffusion in a Dynamic Potential Adopter Population. *Management Science*, 24(15):1589–1597.
- Maier, F. H. (1998). New product diffusion models in innovation management—a system dynamics perspective. *System Dynamics Review*, 14(4):285–308.
- Mansfield, E. (1961). Technical change and the rate of imitation. *Econometrica*, 29(4):741–766.
- Mansfield, E. (1981). Composition of R&D expenditures: Relationship to size of firm, concentration, and innovative output. *The Review of Economics and Statistics*, 64(4):610–615.
- Manu, F. A. and Sriram, V. (1996). Innovation, marketing strategy, environment, and performance. *Journal of Business Research*, 35(1):79–91.
- Mckinsey (2008). Enterprise software customer survey 2008. Technical report, Mckinsey & Company.
- Meade, N. and Islam, T. (1998). Technological forecasting—model selection, model stability, and combining models. *Management Science*, 44(8):1115–1130.
- Milgrom, P. and Roberts, J. (1990). The economics of modern manufacturing: Technology, strategy, and organization. *American Economic Review*, 80(3):511–528.
- Milgrom, P. and Roberts, J. (1995). Complementarities and fit strategy, structure, and organizational change in manufacturing. *Journal of Accounting and Economics*, 19(2-3):179–208.
- Milling, P. (2002). Understanding and managing innovation processes. *System Dynamics Review*, 18(1):73–86.
- Mincomercio (2008a). Desarrollando el sector de TI como uno de clase mundial. Technical report, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Colombia.
- Mincomercio (2008b). Proyecto para desarrollar sectores emergentes de clase mundial. Technical report, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Colombia.
- Nasscom Report (2008). Nasscom software product study: Outlook for indian software product businesses. Report, NASSCOM.
- Observatorio laboral (2008). Porcentaje de graduados 2001-2008 que se encuentran vinculados al sector formal de la economía. Technical report, Observatorio laboral para la Educación. Colombia.

- OECD (1996). Financial market trends 1992-1996. Technical report, OECD Publications and Information Centre.
- OPSSI (2008). Situación y perspectivas de la industria del software y servicios informáticos de la república de argentina. Technical report, Observatorio Permanente de la Industria de Software y Servicios Informáticos.
- Oren, S. S. and Smith, S. A. (1982). Nonlinear pricing and network externalities in telecommunications. In *6th International Conference on Computer Communication*, London, U.K.
- Pérez, A., Robledo, J., Giarratana, M., and Zollo, G. (2009). Late entrant success in the software industry. In *4th European Conference on Management of technology (EuroMOT 2009)*, Glasgow.
- Polo, Y. (1987). Determinantes empresariales de la adopción de innovaciones: terminales de teleproceso en el sector bancario español. *Investigaciones Económicas*, 11(2):243–260.
- Pérez, A. (2011). *Modelación de la industria del software de países de ingreso tardío mediante técnicas de modelamiento de sistemas complejos adaptativos y simulación con dinámica de sistemas. En proceso.* PhD thesis, Universidad Nacional De Colombia - Sede Medellín.
- PROEXPORT (2008). Industria de tecnologías de información. Technical report, Proexport Colombia.
- PROEXPORT (2009). Invierta en colombia trabajo, compromiso e ingenio. sector software. Technical report, Proexport Colombia.
- Randles, F. (1983). On the diffusion of computer terminals in an established engineering environment. *Management Science*, 29(4):465–476.
- Ricardo, D. (1821). *The principles of political economy and taxation*. John Murray.
- Richardson, T. S. (1998). Chain graphs and symmetric associations. In Jordan, M. I., editor, *Learning in graphical models*, pages 231–260. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Ries, A. and Trout, J. (1986). *Marketing Warfare*. McGraw-Hill.
- Ríos, J. L. (2005). Sector informático - contexto. Technical report, UNAL.
- Rogers, E. M. (1983). *Diffusion of Innovations*. The Free Press, New York.
- Rohlf, J. (1974). A theory of interdependent demand for a communications service. *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 5(1):16–37.

- Rousseva, R. (2007). Approach for analysing capabilities in latecomer software companies. UNU-MERIT Working Paper Series 035, United Nations University, Maastricht Economic and social Research and training centre on Innovation and Technology.
- Rousseva, R. (2008). Identifying technological capabilities with different degrees of coherence: The challenge to achieve high technological sophistication in latecomer software companies (based on the Bulgarian case). *Technological Forecasting & Social Change*, 75(7):1007–1031.
- Sands, A. (2005). Organizational capabilities and the rise of the software industry in the emerging economies: Lessons from the history of some us industries. In Arora, A. and Gambardella, A., editors, *From Underdogs to Tigers: The Rise and Growth of the Software Industry in Brazil, China, India, Ireland, and Israel*, pages 41–71. Oxford University Press, New York.
- Schilling, M. A. (1998). Technological lockout: An integrative model of the economic and strategic factors driving technology success and failure. *The Academy of Management Review*, 23(2):267–284.
- Schilling, M. A. (2002). Technology success and failure in winner-take-all markets: The impact of learning orientation, timing, and network externalities. *The Academy of Management Journal*, 45(2):387–398.
- Sheremata, W. A. (2004). Competing through innovation in network markets: Strategies for challengers. *Academy of Management Review*, 29(3):359–377.
- Shy, O. (1995). *Industrial Organization, Theory and Applications*. MIT Press.
- Sterlacchini, A. (1998). Inputs and outputs of innovative activities in italian manufacturing. *Economics of Innovation and New Technology*, 7(4):323–344.
- Sterlacchini, A. (1999). Do innovative activities matter to small firms in non-R&D-intensive industries? an application to export performance. *Research Policy*, 28(8):819–832.
- Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. McGraw-Hill/Irwin.
- Sutton, R. S. (1990). Reinforcement learning architectures for animats. In Meyer, J. A. and Wilson, S. W., editors, *Proceedings of the first international conference on simulation of adaptive behavior on From animals to animats*, pages 288–296, Cambridge, MA, USA. MIT Press.
- Tanenbaum, A. (2003). *Redes de computadoras*. Pearson educación, México.
- Tanner, J. (1978). Long-term forecasting of vehicle ownership and road traffic. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 141(1):14–63.

- Tarek, A. A. and Wahba, K. (2005). Assessment of egyptian software export capabilities using a system dynamics approach. In *The 23rd International Conference of the System Dynamics Society*, Boston.
- Teece, D. J. (1980). The Diffusion of an Administrative Innovation. *Management Science*, 26(5):464–470.
- Teece, D. J. and Pisano, G. (1994). The dynamic capabilities of firms: An introduction. *Industrial and corporate change*, 3(3):537–556.
- Torrise, S. (1998). *Industrial organisation and innovation : an international study of the software industry*. Edward Elgar Pub., Cheltenham; Northampton, MA.
- Tschang, T. and Xue, L. (2005). The chinese software industry. In Arora, A. and Gambardella, A., editors, *From Underdogs to Tigers: The Rise and Growth of the Software Industry in Brazil, China, India, Ireland, and Israel*, pages 131–170. Oxford University Press, New York.
- UAO (2006). Importancia estratégica del sector de electrónica, telecomunicaciones e informática (eti) en el desarrollo económico y social del país. Technical report, Universidad Autónoma De Occidente y Oficina de planeación.
- Vence Deza, X. (1995). *Economía de la innovación y del cambio tecnológico*. Siglo XXI de España Editores, Madrid.
- Verhulst, P. F. (1838). Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. correspondance mathematique et physique publiee par a. *Quetelet*, 10:113–121.
- Wang, C.-h., Lu, I.-y., and Chen, C.-b. (2008). Evaluating firm technological innovation capability under uncertainty. *Technovation*, 28(6):349–363.
- WEF (2005). The global competitiveness report. Technical report, World Economic Forum.
- Winter, S. G. (2003). Understanding dynamic capabilities. *Strategic Management Journal*, 24(10):991–995.
- Yam, R. C. M., Guan, J. C., Pun, K. F., and Tang, E. P. Y. (2004). An audit of technological innovation capabilities in Chinese firms: some empirical findings in Beijing, China. *Research Policy*, 33(8):1123–1140.
- Zahra, S. A., Sapienza, H. J., and Davidsson, P. (2006). Entrepreneurship and dynamic capabilities: A review, model and research agenda. *Journal of Management Studies*, 43(4):917–955.

## Apéndice A

# Criterios de Ponderación

Objetivo	Caracterización de CIT (basado en Wang et al, 2008)	Ponderación	Factor	Ponderación	Variable	Ponderación
<b>Medir y Evaluar la Capacidad tecnológica de Innovación en Fabricas de Software</b>	<b>Capacidad de I+D y aprendizaje tecnológico</b>	80	Intensidad de I+D	60	Personal con PhD y Maestría (% del total)	20
			Procesos de I+D	70	Inversión en I+D (\$/ventas)	80
					Métodos y herramientas de I+D	70
					Nivel de conocimiento de Métodos de Investigación	100
					Intensidad de colaboración con otras instituciones de I+D	70
			Productos de I+D y Aprendizaje Tecnológico	60	Intensidad de colaboración entre distintas dependencias de la organización	100
					Proyectos de I+D que se han convertido en innovaciones (% respecto al total)	100
					Patentes	10
					Registros	40
			Aprendizaje de nuevas tecnologías	100	% de Utilización de la tecnología adquirida	100
					Inversión en capacitación en nuevas tecnologías	100
					Dominio del inglés (% personal que domina el idioma)	90
	Aprendizaje por compra de infraestructura tecnológica	80				
	<b>Capacidad de dirección estratégica de la innovación</b>	100	Estrategia de innovación (Pensamiento)	100	Aprendizaje y desaprendizaje por transferencia de Tecnología	100
					Presencia de la innovación en la estrategia (implícita o explícita, fuerte o débil)	60
			Análisis prospectivo y estratégico de la tecnología (Técnicas)	90	Nivel de exigencia de los objetivos estratégicos de innovación (incrementales o radicales, nacionales o internacionales)	90
					Aplicación de técnicas de análisis prospectivo de la tecnología	100
					Vigilancia tecnológica	70
			Cultura y valores de la dirección (Estilo)	100	Evaluación y selección de tecnologías y proyectos estratégicos	70
					Nivel de aceptación del riesgo y tolerancia al fracaso	100
					Clima Laboral	50
					Esquemas de incentivo y reconocimiento a la innovación	60
	<b>Capacidad de mercadeo</b>	80	Posicionamiento en el mercado	60	Participación en el mercado nacional	70
			Mercadeo de nuevos productos y Versiones	80	Exportaciones (% del total producido)	50
					Relacionamiento con clientes para el desarrollo de productos	100
					Participación del personal de mercadeo en las decisiones y procesos de innovación	100
					Porcentaje de Crecimiento en productos líderes	90
			Estrategia de mercadeo	100	Rapidez para satisfacer las necesidades del mercado con nuevos productos	50
					Conocimiento de las tendencias y necesidades del mercado	75
			Recursos de mercadeo y ventas	80	Benchmarking con los productos de la competencia	70
	Participación de nuevos productos en las ventas (% de ventas de nuevos productos introducidos en los últimos tres años)	90				
	Presupuesto de comercialización (% de ventas)	90				
Personal de mercadeo y comercialización (% del total)	50					
<b>Capacidad de fabricación</b>	90	Metodologías y Tecnologías avanzadas de Fabricación	100	Nivel de actualización de la tecnología	80	
				Infraestructura Física	70	
				Nivel de Productividad	90	
				Protección de información	95	
		Certificaciones	70	Certificaciones y reconocimientos	90	
				Grado de Importancia de la Certificación	60	
Talento humano	80	Personal profesional y personal técnico certificado (% del total)	80			
		Participación del personal de fabricación en las decisiones y procesos de innovación	85			
<b>Capacidad de gestión de recursos financieros</b>	80	Acceso a recursos financieros	80	Acceso a crédito bancario	70	
				Acceso a recursos de capital	70	
				Participación del capital extranjero en el capital social	70	
				Acceso a financiación de fomento gubernamental	90	
		Nivel de crecimiento	100	Crecimiento de ventas	100	
				Crecimiento de utilidades	60	
Personal	70	Brecha entre el personal requerido y contratado	70			
		Nivel de rotación de empleados	80			

TABLA A.1: Criterios de ponderación para microempresas.

Objetivo	Caracterización de CIT (basado en Wang et al, 2008)	Ponderación	Factor	Ponderación	Variable	Ponderación
<b>Medir y Evaluar la Capacidad tecnológica de Innovación en Fabricas de Software</b>	<b>Capacidad de I+D y aprendizaje tecnológico</b>	80	Intensidad de I+D	60	Personal con PhD y Maestria (% del total)	35
					Inversión en I+D (\$/ventas)	90
			Procesos de I+D	70	Métodos y herramientas de I+D	70
					Nivel de conocimiento de Métodos de Investigación	100
					Intensidad de colaboración con otras instituciones de I+D	75
					Intensidad de colaboración entre distintas dependencias de la organización	100
			Productos de I+D y Aprendizaje Tecnológico	65	Proyectos de I+D que se han convertido en innovaciones (% respecto al total)	100
					Patentes	40
					Registros	60
			Aprendizaje de nuevas tecnologías	90	% de Utilización de la tecnología adquirida	100
					Inversión en capacitación en nuevas tecnologías	100
					Dominio del inglés (% personal que domina el idioma)	90
	Aprendizaje por compra de infraestructura tecnológica	70				
				Aprendizaje y desaprendizaje por transferencia de Tecnología	80	
	<b>Capacidad de dirección estratégica de la innovación</b>	100	Estrategia de innovación (Pensamiento)	100	Presencia de la innovación en la estrategia (implícita o explícita, fuerte o débil)	60
					Nivel de exigencia de los objetivos estratégicos de innovación (incrementales o radicales, nacionales o internacionales)	90
			Análisis prospectivo y estratégico de la tecnología (Técnicas)	90	Aplicación de técnicas de análisis prospectivo de la tecnología	100
					Vigilancia tecnológica	70
			Cultura y valores de la dirección (Estilo)	80	Evaluación y selección de tecnologías y proyectos estratégicos	70
					Nivel de aceptación del riesgo y tolerancia al fracaso	100
			Clima Laboral	70		
			Esquemas de incentivo y reconocimiento a la innovación	60		
	<b>Capacidad de mercadeo</b>	90	Posicionamiento en el mercado	65	Participación en el mercado nacional	20
					Exportaciones (% del total producido)	50
			Mercadeo de nuevos productos y Versiones	80	Relacionamiento con clientes para el desarrollo de productos	100
					Participación del personal de mercadeo en las decisiones y procesos de innovación	100
					Porcentaje de Crecimiento en productos líderes	90
			Estrategia de mercadeo	100	Rapidez para satisfacer las necesidades del mercado con nuevos productos	50
					Conocimiento de las tendencias y necesidades del mercado	75
			Recursos de mercadeo y ventas	80	Benchmarking con los productos de la competencia	70
	Participación de nuevos productos en las ventas (% de ventas de nuevos productos introducidos en los últimos tres años)	90				
	Presupuesto de comercialización (% de ventas)	70				
			Personal de mercadeo y comercialización (% del total)	60		
<b>Capacidad de fabricación</b>	90	Metodologías y Tecnologías avanzadas de Fabricación	100	Nivel de actualización de la tecnología	80	
				Infraestructura Física	70	
				Nivel de Productividad	90	
		Certificaciones	70	Protección de información	95	
				Certificaciones y reconocimientos	90	
Talento humano	80	Grado de Importancia de la Certificación	60			
		Personal profesional y personal técnico certificado (% del total)	90			
		Participación del personal de fabricación en las decisiones y procesos de innovación	85			
<b>Capacidad de gestión de recursos financieros</b>	80	Acceso a recursos financieros	80	Acceso a crédito bancario	70	
				Acceso a recursos de capital	70	
				Participación del capital extranjero en el capital social	70	
				Acceso a financiación de fomento gubernamental	90	
		Nivel de crecimiento	100	Crecimiento de ventas	100	
				Crecimiento de utilidades	60	
Personal	75	Brecha entre el personal requerido y contratado	75			
		Nivel de rotación de empleados	80			

TABLA A.2: Criterios de ponderación para pequeñas empresas.

Objetivo	Caracterización de CIT (basado en Wang et al. 2008)	Ponderación	Factor	Ponderación	Variable	Ponderación
<b>Medir y Evaluar la Capacidad tecnológica de Innovación en Fabricas de Software</b>	<b>Capacidad de I+D y aprendizaje tecnológico</b>	90	Intensidad de I+D	75	Personal con PhD y Maestria (% del total)	60
					Inversión en I+D (\$/ventas)	100
			Procesos de I+D	90	Métodos y herramientas de I+D	70
					Nivel de conocimiento de Métodos de Investigación	100
					Intensidad de colaboración con otras instituciones de I+D	90
					Intensidad de colaboración entre distintas dependencias de la organización	100
			Productos de I+D y Aprendizaje Tecnológico	80	Proyectos de I+D que se han convertido en innovaciones (% respecto al total)	100
					Patentes	70
					Registros	60
					% de Utilización de la tecnología adquirida	100
			Aprendizaje de nuevas tecnologías	90	Inversión en capacitación en nuevas tecnologías	100
					Dominio del inglés (% personal que domina el idioma)	90
	Aprendizaje por compra de infraestructura tecnológica	80				
	Aprendizaje y desaprendizaje por transferencia de Tecnología	80				
	<b>Capacidad de dirección estratégica de la innovación</b>	100	Estrategia de innovación (Pensamiento)	100	Presencia de la innovación en la estrategia (implícita o explícita, fuerte o débil)	75
					Nivel de exigencia de los objetivos estratégicos de innovación (incrementales o radicales, nacionales o internacionales)	90
			Análisis prospectivo y estratégico de la tecnología (Técnicas)	90	Aplicación de técnicas de análisis prospectivo de la tecnología	100
					Vigilancia tecnológica	70
					Evaluación y selección de tecnologías y proyectos estratégicos	70
			Cultura y valores de la dirección (Estilo)	80	Nivel de aceptación del riesgo y tolerancia al fracaso	100
	Clima Laboral	70				
	Esquemas de incentivo y reconocimiento a la innovación	60				
	<b>Capacidad de mercadeo</b>	90	Posicionamiento en el mercado	90	Participación en el mercado nacional	75
					Exportaciones (% del total producido)	80
			Mercadeo de nuevos productos y Versiones	100	Relacionamiento con clientes para el desarrollo de productos	100
					Participación del personal de mercadeo en las decisiones y procesos de innovación	100
					Porcentaje de Crecimiento en productos líderes	90
			Estrategia de mercadeo	100	Rapidez para satisfacer las necesidades del mercado con nuevos productos	70
					Conocimiento de las tendencias y necesidades del mercado	80
					Benchmarking con los productos de la competencia	70
	Recursos de mercadeo y ventas	90	Participación de nuevos productos en las ventas (% de ventas de nuevos productos introducidos en los últimos tres años)	90		
			Presupuesto de comercialización (% de ventas)	70		
	Personal de mercadeo y comercialización (% del total)	85				
<b>Capacidad de fabricación</b>	100	Metodologías y Tecnologías avanzadas de Fabricación	100	Nivel de actualización de la tecnología	80	
				Infraestructura Física	75	
				Nivel de Productividad	90	
		Certificaciones	100	Protección de información	100	
				Certificaciones y reconocimientos	100	
		Talento humano	85	Grado de Importancia de la Certificación	80	
Personal profesional y personal técnico certificado (% del total)	100					
Participación del personal de fabricación en las decisiones y procesos de innovación	85					
<b>Capacidad de gestión de recursos financieros</b>	80	Acceso a recursos financieros	90	Acceso a crédito bancario	90	
				Acceso a recursos de capital	80	
				Participación del capital extranjero en el capital social	70	
				Acceso a financiación de fomento gubernamental	90	
		Nivel de crecimiento	100	Crecimiento de ventas	100	
				Crecimiento de utilidades	90	
Personal	90	Brecha entre el personal requerido y contratado	90			
		Nivel de rotación de empleados	90			

TABLA A.3: Criterios de ponderación para medianas empresas.



## Apéndice B

# Test de Consistencia Dimensional

### B.1. Dimensiones y definición de variables para el modelo de capacidades de innovación

**Variable:** Capacidades\_innovación

**Definición:**  $Capacidades\_innovación(t - dt) + (Inversion\_CI - Tasa\_de\_disminucion) * dt$

**Valor Inicial:** 0

**Unidades:** UBC

**Descripción Unidad:** Unidad Básica de Capacidad

**Variable:** Inversion\_CI

**Definición:**  $IF(Tamaño\_Empresa < 11)$   
THEN  $((ID * 0.8 + Estrategia + Mercadeo * 0.8 + Fabricacion * 0.9 + Finanzas * 0.8) / 4.3) * Ajuste\ CI$   
ELSE  $IF(Tamaño\_Empresa > 10 \text{ and } Tamaño\_Empresa < 51)$   
THEN  $((ID * 0.8 + Estrategia + Mercadeo * 0.9 + Fabricacion * 0.9 + Finanzas * 0.8) / 4.4) * Ajuste\ CI$   
ELSE  $IF(Tamaño\_Empresa > 50 \text{ and } Tamaño\_Empresa < 201)$   
THEN  $((ID * 0.9 + Estrategia + Mercadeo * 0.9 + Fabricacion + Finanzas * 0.8) / 4.6) * Ajuste\ CI$   
ELSE  $((ID + Estrategia + Mercadeo * 0.9 + Fabricacion + Finanzas) / 4.9) * Ajuste\ CI$

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** USD/Mes\*UBC

**Descripción Unidad:** Dólar por mes por cada UBC

**Variable:** Obsolesc\_Capacidades

**Definición:** (Capacidades\_innovación/Tpermcapacidad)

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** UBC/Mes

**Descripción Unidad:** Unidad Básica de Capacidad por Mes.

**Variable:** Tpermcapacidad

**Definición:** IF(Tamaño\_Empresa<11) then 25  
ELSE IF(Tamaño\_Empresa>10 and Tamaño\_Empresa<51) THEN 28  
ELSE IF(Tamaño\_Empresa> 50 and Tamaño\_Empresa<201) THEN 30  
ELSE 32

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** Mes

**Descripción Unidad:** Mes.

**Variable:** Estrategia

**Definición:** Estrategia (t - dt) + (Inversion\_Estrategia) \* dt

**Valor Inicial:** 0.22

**Unidades:** USD/Mes\*UBC

**Descripción Unidad:** Dólar por mes por cada Unidad Básica de Capacidad

**Variable:** Fabricacion

**Definición:** Fabricacion(t - dt) + (Inversion\_Fabricacion) \* dt

**Valor Inicial:** 0.7

**Unidades:** USD/Mes\*UBC

**Descripción Unidad:** Dólar por mes por cada Unidad Básica de Capacidad

**Variable:** Finanzas

**Definición:** Finanzas (t - dt) + (Inversion\_Finanzas) \* dt

**Valor Inicial:** 0.38

**Unidades:** USD/Mes\*UBC

**Descripción Unidad:** Dólar por mes por cada Unidad Básica de Capacidad

**Variable:** ID

**Definición:**  $ID(t - dt) + (Inversion\_IID) * dt$

**Valor Inicial:** 0.28

**Unidades:** USD/Mes\*UBC

**Descripción Unidad:** Dólar por mes por cada Unidad Básica de Capacidad

**Variable:** Mercadeo

**Definición:**  $Mercadeo(t - dt) + (Inversion\_mercadeo) * dt$

**Valor Inicial:** 0.36

**Unidades:** USD/Mes\*UBC

**Descripción Unidad:** Dólar por mes por cada Unidad Básica de Capacidad

**Variable:** Obsolesc\_Estrategia

**Definición:**  $Estrategia/Tpermestr$

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** UBC/Mes

**Descripción Unidad:** Unidad Básica de Capacidad por Mes.

**Variable:** Obsolesc\_Fabricacion

**Definición:**  $Fabricacion/TpermFab$

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** UBC/Mes

**Descripción Unidad:** Unidad Básica de Capacidad por Mes.

**Variable:** Obsolesc\_Mercadeo

**Definición:**  $Mercadeo/TpermMerc$

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** UBC/Mes

**Descripción Unidad:** Unidad Básica de Capacidad por Mes.

**Variable:** Obsolesc\_finanzas

**Definición:** Finanzas/TpermFinan

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** UBC/Mes

**Descripción Unidad:** Unidad Básica de Capacidad por Mes.

**Variable:** Obsolesc\_ID

**Definición:** ID/TpermID

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** UBC/Mes

**Descripción Unidad:** Unidad Básica de Capacidad por Mes.

**Variable:** Tpermestr

**Definición:** 18

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** Mes

**Descripción Unidad:** Mes.

**Variable:** TpermFab

**Definición:** 36

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** Mes

**Descripción Unidad:** Mes.

**Variable:** TpermMerc

**Definición:** 36

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** Mes

**Descripción Unidad:** Mes.

**Variable:** TpermFinan

**Definición:** 36

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** Mes

**Descripción Unidad:** Mes.

**Variable:** TpermID

**Definición:** 36

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** Mes

**Descripción Unidad:** Mes.

**Variable:** Ajuste de Inversión

**Definición:** 0.01

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** UBC/USD

**Descripción Unidad:** Unidad Básica de Capacidad por cada Dólar invertido

**Variable:** PIEstrategia

**Definición:** Valores entre 0 y 1

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** USD/Mes

**Descripción Unidad:** Dólar por cada mes

**Variable:** PIFabricacion

**Definición:** Valores entre 0 y 1

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** USD/Mes

**Descripción Unidad:** Dólar por cada mes

**Variable:** PIFinanzas

**Definición:** Valores entre 0 y 1

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** USD/Mes

**Descripción Unidad:** Dólar por cada mes

**Variable:** Pimercadeo

**Definición:** Valores entre 0 y 1

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** USD/Mes

**Descripción Unidad:** Dólar por cada mes

**Variable:** Inversion\_Estrategia

**Definición:**  $PCD\_SALES\_ *PIEstrategia *Ajuste\_Inversión$

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** USD/Mes\*UBC

**Descripción Unidad:** Dólar por mes por cada Unidad Básica de Capacidad.

**Variable:** Inversion\_Fabricacion

**Definición:**  $PCD\_SALES\_ *PIFabricacion *Ajuste\_Inversión$

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** USD/Mes\*UBC

**Descripción Unidad:** Dólar por mes por cada Unidad Básica de Capacidad.

**Variable:** Inversion\_Finanzas

**Definición:**  $PCD\_SALES\_ *PIFinanzas *Ajuste\_Inversión$

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** USD/Mes\*UBC

**Descripción Unidad:** Dólar por mes por cada Unidad Básica de Capacidad.

**Variable:** Inversion\_ID

**Definición:** PCD\_SALES\_ \*PIID\*Ajuste\_Inversión

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** USD/Mes\*UBC

**Descripción Unidad:** Dólar por mes por cada Unidad Básica de Capacidad.

**Variable:** Inversion\_mercadeo

**Definición:** PCD\_SALES\_ \*PImercadeo\*Ajuste\_Inversión

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** USD/Mes\*UBC

**Descripción Unidad:** Dólar por mes por cada Unidad Básica de Capacidad.

**Variable:** Tamaño Empresa

**Definición:** Tamaño de la empresa en numero de empleados

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** Empleados

**Descripción Unidad:** Número de empleados

## B.2. Dimensiones y definición de variables para el modelo de ventajas comparativas

**Variable:** Ventajas\_comparativas

**Definición:**  $Ventajas\_comparativas(t - dt) + (Tasa\_crec\_VC - Tasa\_de\_dec) * dt$

**Valor Inicial:** 0

**Unidades:** UBV

**Descripción Unidad:** Unidad Básica de Ventaja

**Variable:** Tasa\_crec\_VC

**Definición:**  $VCC_{\text{humano\_capacitado}_2} * 0.001 + MNC's_2 * 0.002 +$   
 $Relevancia_{\text{Diaspora}_2} * 0.0005 - Costos_{2_1} * .3$

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** UBV/Mes

**Descripción Unidad:** Unidad Básica de Ventaja por Mes

**Variable:** Tasa\_de\_dec

**Definición:** 0.01

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** UBV/Mes

**Descripción Unidad:** Unidad Básica de Ventaja por Mes

**Variable:** Ventas\_Internac

**Definición:**  $Ventas_{\text{Internac}}(t - dt) + (Tasa_{\text{Crec}}_{\text{Ventasinternac}}) * dt$

**Valor Inicial:** 0.1

**Unidades:** USD

**Descripción Unidad:** Dólares

**Variable:** Tasa\_Crec\_Ventassinternac

**Definición:**  $Ventajas_{\text{comparativas}_2} / P_{\text{export}_2}$

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** USD/Mes

**Descripción Unidad:** Dólares por Mes

**Variable:** Caphumano\_capacitado

**Definición:**  $.14 * Tasa_{\text{de\_entrada\_Personal}}$

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** UBV/Empleados\*Empleados/mes

**Descripción Unidad:** Unidad Básica de Ventaja por cada empleado por empleado por mes

**Variable:** MNC's

**Definición:** Número de Multinacionales

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** Sin unidades

**Descripción Unidad:** N/A

**Variable:** Pexport

**Definición:** Precio del producto a exportar < precio mercado nacional

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** USD

**Descripción Unidad:** Dólares

**Variable:** Costos\_Export

**Definición:** PExport\*0.925

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** USD

**Descripción Unidad:** Dólares

**Variable:** Relevancia\_Diaspora

**Definición:** 0.2\*Diaspora\_Ing

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** UBV/Ingenieros\*Ingenieros/mes

**Descripción Unidad:** Unidad Básica de Ventaja por cada ingeniero por ingeniero por mes

**Variable:** Ingenieros

**Definición:**  $\text{Ingenieros}(t - dt) + (\text{Tasa\_de\_entrada\_Personal} - \text{Diaspora\_Ing}) * dt$

**Valor Inicial:** 1

**Unidades:** Ingeniero

**Descripción Unidad:** Ingeniero

**Variable:** Tasa\_de\_entrada\_Personal

**Definición:**  $\text{Salidas\_U} * \text{Ing\_U} + \text{Salidas\_CID} * \text{Ing\_CID} + \text{Diaspora\_Ing} * \text{Retorno\_Ing}$

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** Ingeniero/Mes

**Descripción Unidad:** Ingeniero por mes

**Variable:** Ing\_CID

**Definición:** .1166

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** Ingeniero/Mes

**Descripción Unidad:** Ingeniero por mes

**Variable:** Ing\_U

**Definición:** .1166

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** Ingeniero/Mes

**Descripción Unidad:** Ingeniero por mes

**Variable:** Retorno\_Ing

**Definición:** .3

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** Ingeniero/Mes

**Descripción Unidad:** Ingeniero por mes

**Variable:** Beneficios

**Definición:**  $(PCD\_SALES1 + Ventas\_Internac) * (p11\_c11 - IITC\_11 * (1 - \text{delay}(1, dt, 0))) + PCD\_SALES\_2 * (p12\_c12 - IITC\_12 * (\text{delay}(1, t\_12 - dt, 0) - \text{delay}(1, t\_12 + dt, 0))) + PCD\_SALES\_3 * (p13\_c13 - IITC\_13 * (\text{delay}(1, t\_13 - dt, 0) - \text{delay}(1, t\_13 + dt, 0)))$

**Valor Inicial:** N/A

**Unidades:** USD/Mes

**Descripción Unidad:** Dólares por mes