

ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DE LA CREACIÓN DE CLUSTERS  
INDUSTRIALES EN LA ECONOMÍA URBANA MEDIANTE MODELOS  
DINÁMICOS

SOFIA MORALES POSADA

Directora:  
YRIS OLAYA MORALES, Ph.D



MEDELLÍN  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE MINAS  
ESCUELA DE SISTEMAS  
2010

ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DE LA CREACIÓN DE CLUSTERS  
INDUSTRIALES EN LA ECONOMÍA URBANA MEDIANTE MODELOS  
DINÁMICOS

SOFIA MORALES POSADA

Tesis de grado  
Presentada como requisito parcial para optar el título de  
Magister en Ingeniería - Ingeniería de Sistemas

Directora:  
YRIS OLAYA MORALES, Ph.D



MEDELLÍN  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE MINAS  
ESCUELA DE SISTEMAS  
2010

## AGRADECIMIENTOS

La autora expresa sus agradecimientos a:

Grupo de trabajo del proyecto de investigación “*Modelo de Apoyo a la toma de decisiones en planificación y ordenamiento territorial para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá*” realizado con el apoyo financiero de el AREA Metropolitana del Valle de Aburrá y Empresas públicas de Medellín y la participación de la Universidad de los Andes y la Universidad Nacional de Colombia; del cual hace parte esta tesis.

La profesora Yris Olaya Morales por su asesoría en este trabajo y su motivación y apoyo a lo largo de la realización de este posgrado.

Las compañeras de maestría Lisbet Garzón Cano y Bibiana Cuartas, por su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios de postgrado.

## DEDICATORIA

*A mis padres y mi hermanita  
Por su amor y respaldo constante, que me motivan a ser alguien grande en la vida.*

*A mi esposo  
Por su apoyo incondicional.*

## TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO .....	iii
RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
1. FORMACIÓN DE CLUSTERS INDUSTRIALES .....	5
1.1. Clusters industriales estudiados desde la Economía Urbana .....	5
1.1.1. Definición clusters industriales .....	6
1.1.2. Formación de externalidades de red .....	7
1.1.3. Modelos de base económica .....	10
1.2. Fuerzas de aglomeración económica propuestas desde la Geografía Económica II	
1.2.1. Fuerzas centrípetas .....	12
1.2.2. Fuerzas centrífugas .....	13
1.3. Síntesis .....	14
2. ANALISIS DE IMPACTO ECONÓMICO DEBIDO A LA FORMACIÓN DE CLUSTERS INDUSTRIALES .....	15
2.1. Efectos de los clusters industriales en la generación de conocimiento y la innovación tecnológica .....	15
2.1.1. Antecedentes .....	15
2.1.2. Procesos de aprendizaje .....	16

2.1.3. Impactos en la innovación tecnológica.....	18
<b>2.2. Impactos en el crecimiento económico.....</b>	<b>19</b>
2.2.1. Función de producción.....	20
2.2.2. Teorías de crecimiento económico.....	20
Modelo neoclásico Solow Swan.....	20
Modelo de crecimiento endógeno.....	21
2.2.3. Medición de la productividad.....	22
<b>2.3. Síntesis.....</b>	<b>23</b>
<b>3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>25</b>
3.1. Problemática general.....	25
3.2. Políticas propuestas e identificación de clusters claves.....	26
3.3. Preguntas de investigación.....	29
3.4. Síntesis.....	30
<b>4. MODELO FORMAL.....</b>	<b>31</b>
4.1. ¿Por qué dinámica de sistemas?.....	31
4.2. Supuestos y alcances del modelo.....	32
4.3. Hipótesis dinámica.....	33
4.4. Módulo de aglomeración económica.....	37
4.4.1. Representación de externalidades.....	38
4.4.2. Formación del cluster.....	40
4.5. Módulo de formación y transferencia de conocimiento.....	44

4.5.1. Conocimiento Adquirido.....	45
4.5.2. Conocimiento compartido.....	47
<b>4.6. Módulo de impactos en el crecimiento económico.....</b>	<b>48</b>
4.6.1. Tecnología.....	50
4.6.2. Impactos en la productividad.....	51
4.6.3. Capacidad productiva y formación de capital.....	52
<b>4.7. Síntesis.....</b>	<b>54</b>
<b>5. Caso de aplicación: Valle de Aburrá.....</b>	<b>55</b>
5.1. Características del Valle de Aburrá.....	55
5.2. Definición de clusters industriales en el Valle de Aburrá.....	56
5.2.1. Parámetros de entrada para la población de firmas.....	58
5.3. Información asociada con el nivel de conocimiento y la tecnología.....	59
5.3.1. Parámetros que representan el nivel de conocimiento.....	60
5.3.2. Parámetros que representan la intensidad tecnológica.....	61
5.3.3. Parámetros que representan la intensidad de capital.....	62
5.4. Análisis de información económica.....	63
5.4.1. Parámetros de entrada al modelo: Proyecciones de crecimiento económico.....	65
5.5. Matriz de Contabilidad social.....	66
5.5.1. Parámetros de entrada al modelo: Tasa de participación de la demanda y la inversión...	68
<b>6. VALIDACIÓN.....</b>	<b>71</b>
6.1. Relaciones causales y matemáticas consistentes con la teoría.....	71

---

6.2.	Límites del modelo.....	73
6.3.	Consistencia dimensional .....	74
6.4.	Evaluación de parámetros.....	74
6.5.	Condiciones extremas .....	76
6.6.	Conclusión.....	77
7.	SIMULACIÓN CASO DE APLICACIÓN VALLE DE ABURRÁ.....	79
7.1.	Caso base .....	79
7.1.1.	Formación del cluster industrial .....	81
	Economías positivas y negativas de aglomeración .....	81
	Población de firmas .....	83
7.1.2.	Impactos en el crecimiento económico.....	84
	Tecnología y productividad .....	85
	Producción, ingresos y capacidad de inversión .....	87
7.1.3.	Síntesis .....	88
7.2.	Definición de escenarios a partir de la formulación de políticas .....	90
7.2.1.	Definición de parámetros de entrada para los escenarios.....	91
	Mecanismos de cooperación entre firmas .....	91
	Atracción de inversión extranjera .....	92
7.2.2.	Análisis de resultados .....	94
	Mecanismos de cooperación entre firmas .....	95
	Atracción de inversión extranjera .....	96
7.3.	Síntesis .....	97



CONCLUSIONES.....	99
TRABAJO FUTURO .....	101
BIBLIOGRAFÍA.....	103
A. ANEXOS.....	109
A.1. Algunos ejemplos de Clusters Industriales en el mundo .....	109
A.2. Lista de variables endógenas .....	109
Modulo de aglomeración económica.....	109
Módulo de formación y transferencia de conocimiento .....	111
Módulo de crecimiento económico.....	112
A.3. Lista de variables exógenas.....	114
A.4. Resultados de escenarios de cooperación entre firmas .....	115
Firmas in .....	115
Capacidad tecnológica .....	116
Unidades de producción .....	117
A.5. Resultados de escenarios de atracción de inversión extranjera.....	118
Firmas in .....	118
Capacidad tecnológica .....	118
Capital.....	119
Unidades de producción .....	120

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama Causal General de las dinámicas dentro del clúster industrial.....	34
Figura 2. Desagregación por módulos.....	36
Figura 3. Diagrama causal módulo aglomeración económica.....	38
Figura 4. Diagrama Forrester Formación de rentabilidad y las economías y positivas y negativas de aglomeración.....	41
Figura 5. Diagrama Forrester de formación del cluster.....	43
Figura 6. Diagrama Causal formación y transferencia de conocimiento.....	45
Figura 7. Diagrama Forrester de la representación del conocimiento adquirido.....	46
Figura 8. Diagrama Forrester de la representación del conocimiento compartido.....	48
Figura 9. Diagrama causal de los impactos de las economías de aglomeración en el crecimiento económico.....	49
Figura 10. Forrester de acumulación de la tecnología.....	50
Figura 11. Diagrama forrester de la estimación de la demanda y el capital de trabajo inicial.....	52
Figura 12. Forrester formación de capital.....	53
Figura 13. Mapa de aglomeraciones de los sectores Alimentos y textil en el Valle de Aburrá.....	83

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Economías positivas de aglomeración.....	39
Gráfica 2. Deseconomías de Aglomeración.....	40
Gráfica 3. Funciones de Atracción y de Repulsión.....	42
Gráfica 4. Curva teórica de aprendizaje y cambios debido a la experiencia.....	47
Gráfica 5. Función de capacidad de innovación.....	50
Gráfica 6. Función del efecto de la tecnología en los costos.....	51
Gráfica 7. Proyecciones PIB de ECSIM (ECSIM, 2004b).....	64
Gráfica 8. Comportamiento Producción Bruta por sector económico (Departamento Administrativo de Planeación de Antioquia, 2005).....	65
Gráfica 9. Demanda agregada por sector económico obtenida de la SAM (Universidad Nacional de Colombia, 2009).....	68
Gráfica 10. Comportamiento del indicador de economías positivas y negativas de aglomeración.....	82
Gráfica 11. Indicador de economías positivas de aglomeración.....	82
Gráfica 12. Indicadores de atracción y repulsión percibida de firmas.....	84
Gráfica 13. Población de firmas dentro y fuera del cluster.....	84

Gráfica 14. Niveles de conocimiento adquirido y compartido .....	86
Gráfica 15. Nivel de tecnología .....	86
Gráfica 16. Productividad media del capital .....	87
Gráfica 17. Productividad media de capital propuesta por (Iregui, Ana Maria et al., 2006) .....	87
Gráfica 18. Nivel de capital .....	88
Gráfica 19. Unidades de producción .....	88

#### LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fuerzas centrífugas y centrípetas (Krugman, Paul, 1998) .....	12
Tabla 2. N° aglomeraciones y promedio de empresas por aglomeración para cada sector económico económica (Universidad Nacional de Colombia, 2009).....	57
Tabla 3. Población inicial de firmas.....	58
Tabla 4. Numero de patentes solicitadas y concedidas (Observatorio Colombiano de ciencia y Tecnología, 2006).....	60
Tabla 5. Nivel tecnológico inicial.....	61
Tabla 6. Tasa de depreciación de capital.....	63
Tabla 7. Valor Agregado de Sectores Económicos.....	63
Tabla 8. Valores de parámetros macroeconómicos.....	66
Tabla 9. Validación SAM Consumo intermedio desde el punto de vista de los gastos .....	68
Tabla 10. Porcentaje de participación de la demanda y la inversión en el PIB.....	69
Tabla 11. Escala geográfica de parámetros .....	75
Tabla 12. Condiciones extremas .....	76
Tabla 13. Valores de los parámetros de incertidumbre en el caso base.....	80
Tabla 14. Valores de referencia .....	81
Tabla 15. Tasas de adquisición de conocimiento .....	92
Tabla 16. Escenarios de niveles de inversión.....	94

## RESUMEN

La tesis propuesta pretende estimar y evaluar los impactos de políticas que fomentan la generación de clusters industriales en el crecimiento económico del Valle de Aburrá. Para este análisis se consideran las condiciones físicas y económicas particulares de los sectores económicos que son estratégicos para la administración pública, así como las ventajas generadas por los fenómenos de aglomeración que pueden favorecer el crecimiento económico. Para ello, con el apoyo de conceptos de Economía Urbana y Geografía económica, se establece un modelo de dinámica de sistemas para aplicar en la región, y así identificar los factores críticos que incentivan la formación de los clusters industriales y que pueden acelerar el crecimiento económico.

**PALABRAS CLAVES:** Clusters Industriales, Aglomeración, Geografía Económica, Externalidades

## ABSTRACT

This master thesis pretends to estimate and evaluate the impacts of the politics that promote the generation of industrial clusters in the economic growth of the Valle de Aburrá. To execute this analysis there are considered the physical and economical properties of the strategic economic sectors suggested for the public administration, and the advantages that rise of the agglomeration phenomena that might increase this economic growth. To this study, with the support of Urban Economics and Economic Geography, we establish a system dynamic's model to apply in this region, and identify the critical factors that encourage the formation of industrial clusters and can accelerate the economic growth.

**KEY WORDS:** Industrial clusters, Agglomeration, Economic geography, externalities.

## INTRODUCCIÓN

En el Valle de Aburrá existen diversos problemas económicos, generados en los últimos años por el desplazamiento de las grandes industrias fuera de la región, una desarticulación de las cadenas productivas y un decrecimiento de la calidad de vida y el bienestar de los habitantes (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007)

Así, en esta tesis se desea explorar las propuestas realizadas por la Alcaldía de Medellín, la Gobernación de Antioquia y el AREA Metropolitana del Valle de Aburrá que se enfocan a fortalecer los sectores económicos más estratégicos para el Valle de Aburrá mediante la formación de clusters industriales. Estas propuestas están encaminadas a generar un crecimiento económico sostenible y una región lo suficientemente competitiva globalmente, apoyando así la mejora de la calidad de vida de sus habitantes mediante el impulso del consumo y la generación de empleos.

Un cluster industrial se define como una *“concentración geográfica de actividades económicas interrelacionadas, que actúan en conjunto para desarrollar una actividad productiva”* (Cámara de Comercio, 2007). Esta configuración permite explotar las ventajas generadas por la concentración física de las actividades económicas, estudiadas desde la economía urbana, y favorece la presencia de externalidades positivas que fomentan el crecimiento económico como: Acceso a la información, mano de obra más especializada, capacidad para innovar, entre otras.

Así, este trabajo busca estudiar el impacto de la generación de clusters industriales en el crecimiento económico y cuál es su potencial de formación en el Valle de Aburrá, teniendo en cuenta las condiciones particulares impuestas por el territorio y las ventajas que generan los fenómenos de aglomeración. Este análisis ayuda a determinar si las propuestas de los agentes públicos, encaminadas a incentivar la formación de clusters industriales, generan buenos resultados en el desarrollo económico de la región. Además, se busca identificar los factores particulares que deben impulsarse dentro de los clusters industriales estratégicos para que la ciudad incremente su competitividad a nivel global

Para ello, se usan los conceptos proporcionados por la economía urbana, la geografía económica y las herramientas de simulación, como dinámica de sistemas, que permitan identificar las variables que explican los fenómenos de aglomeración económica y su evolución en el tiempo, así como su relación con el crecimiento económico. Como resultado de este análisis inicial, se construye un modelo genérico que explica la formación de clusters y su impacto en el crecimiento económico.

Este modelo se aplica luego al caso particular del Valle del Aburrá, teniendo en cuenta las variables económicas, sociales y geográficas de la región.

En las secciones 1 y 2 se presenta el marco teórico y estudios previos acerca de la formación de clusters industriales y su impacto en la transferencia de conocimiento, el incremento de innovaciones tecnológicas y sus impactos en el desarrollo y la competitividad de los sectores económicos. En la Sección 3 se explica la problemática a abordar y las políticas propuestas por los agentes públicos del Valle de Aburrá que incentivan la formación de clusters industriales. En las secciones 4, 6, y 7 se presenta el modelo, su validación y los resultados para el caso de aplicación del Valle de Aburrá.

## 1. FORMACIÓN DE CLUSTERS INDUSTRIALES

En esta sección se explican las teorías de las áreas de Economía urbana (Sección 1.1) y de Geografía Económica (sección 1.2) que estudian la formación de aglomeraciones económicas y permiten identificar los factores de atracción y repulsión que intensifican esta concentración de firmas.

### 1.1. Clusters industriales estudiados desde la Economía Urbana

La intensidad y la interacción de las actividades productivas en el territorio, la inversión y las actividades de consumo determinan el crecimiento económico y la expansión física de la ciudad. Desde este punto de vista, podemos integrar el desarrollo de las ciudades y la economía bajo *Economía Urbana*.

Julia Hernández define la *Economía Urbana* como una “*Ciencia que estudia, mediante metodologías de economía, la forma de organización espacial, cuya estructura permite a sus habitantes o miembros alcanzar un nivel satisfactorio de bienestar*” (Hernández, Julia, 2006). La *Economía Urbana* se concentra en el análisis del crecimiento, composición del territorio (industria y población) y empleo de las áreas urbanizadas. Parte del análisis de las ciudades como agentes económicos, donde se identifican, mediante conceptos de economía, los patrones de localización que siguen los agentes económicos, permitiendo así estimar sus efectos en el desarrollo físico y económico de las ciudades.

La pionera en el estudio de la economía urbana fue la escuela neoclásica a finales del siglo XIX y principios del Siglo XX. Esta escuela se basó en el supuesto de que los modelos de crecimiento urbano son similares a modelos de aglomeración económica donde se compite por un territorio y sus recursos. Estos modelos muestran el crecimiento en la demanda de algunos territorios y la disminución en otros en función de los recursos disponibles, el precio del suelo y los costos de transporte y se limitan al análisis de áreas urbanas pequeñas (Moncayo, Edgar, 2007; Rodríguez, Maria Jose, 2000).

El fundador de los modelos de aglomeración económica es John Von Thünen en 1896 (Camagni, Roberto, 2005; Hernández, Julia, 2006), Von Thünen desarrolla un modelo para explicar la localización de actividades agrícolas en círculos concéntricos en función de los precios de venta en el punto central del sistema y de los costos de producción, permitiendo valorar y discriminar los usos del suelo.

Posteriormente W. Christaller y August Lösch (Camagni, Roberto, 2005; Krugman, Paul, Fujita, Masahisa y Venables, Anthony, 1999; Rodríguez, Maria Jose, 2000) analizan los fenómenos de



aglomeración económica a partir de la jerarquía de las regiones en función de los servicios, la amplitud del área de mercado y la distribución espacial de la demanda, determinantes para la atracción. Christaller y Lössch establecen que, confrontando las economías de escala y los costos de transporte, se puede explicar el surgimiento del fenómeno de aglomeración indicando el comportamiento racional de las firmas en función de la minimización de los costos de transporte al hacerse cerca de sus firmas complementarias (Ventura, H y perdo, J, 2009).

Los modelos anteriores representan las interacciones entre los agentes de la ciudad y están encaminados a interpretar su estructura interna y su proceso de formación. Sin embargo asumen el comportamiento racional de sus agentes, excluyendo factores complejos del fenómeno de aglomeración económica que influyen en la formación y crecimiento de los clusters, así como en la transmisión de conocimiento (Camagni, Roberto, 2005).

A continuación se explican las diferentes corrientes teóricas que permiten estudiar la formación de aglomeraciones económicas. Esta discusión incluye la definición rigurosa de clusters industriales (Sección 1.1.1), los modelos de base económica (Sección 1.1.3) y la formación de externalidades de red (Sección 1.1.2)

### *1.1.1. Definición clusters industriales*

Para explicar los clusters industriales partimos del fenómeno de aglomeración económica. La aglomeración económica surge del objetivo de las organizaciones de incrementar su eficiencia productiva mediante la generación y aprovechamiento de economías de escala, donde se utilizan los procesos productivos de una forma más eficiente, aumentando el producto final con menos recursos de producción, generando así más valor agregado (Camagni, Roberto, 2005).

Bajo la presencia de economías de escala, las distintas actividades económicas se van integrando en nodos de aglomeración, atrayendo a la población, y generando un proceso acumulativo de actividades. Esta acumulación se limita con el aumento de los costos de transporte en función de la distancia, pues un incremento descontrolado de los costos disminuye las ventajas generadas por las economías de escala, y por lo tanto deja de ser económicamente eficiente. La concentración también se limita con el incremento de rentas de suelo en las zonas adyacentes a las empresas, generadas por la introducción de dinámicas importantes que incrementan la demanda de suelo. A partir de la búsqueda de estas economías de escala se establecen los clusters industriales (Camagni, Roberto, 2005).

La definición rigurosa de cluster establecida por Michael Porter es: “*Masas críticas en un mismo lugar de firmas interrelacionadas e instituciones proveedoras, universidades, gobierno, agencias que disfrutan de una competitividad inusual en un campo particular*” (Porter, Michael, 1998).

Esta definición dista mucho de la realidad del Valle de Aburrá, pues como se verá más adelante, las firmas de esta región no poseen una asociación física fuerte con las instituciones, universidades y gobierno para la realización de las actividades de investigación y desarrollo y, por lo tanto, faltan condiciones para explotar de forma eficiente las externalidades positivas que resultan de la aglomeración económica. Así, en el Valle de Aburrá, el concepto de cluster coincide con la definición establecida por la OECD, pues incluye un grado de cooperación entre firmas que se encuentran en el mismo mercado de productos y pertenecen al mismo sector industrial. La definición adoptada en este trabajo es: “*Redes de producción de empresas fuertemente interdependientes (incluyendo proveedores especializados), ligadas unas a otras en una cadena de producción que añade valor*”. (Camagni, Roberto, 2005; Cámara de Comercio, 2007; Navarro, Mikel, 1997a)

### *1.1.2. Formación de externalidades de red.*

Las relaciones entre las firmas que componen el cluster industrial están basadas en vínculos comerciales y vínculos de transferencia de conocimiento. Los primeros vínculos se forman con el fin de hacer más eficiente la cadena de producción generando así valor agregado; los segundos vínculos se refieren a relaciones de cooperación en el proceso de difusión de innovaciones entre firmas. Estos vínculos generan ciertas ventajas o externalidades positivas que favorecen el crecimiento económico. Las externalidades se presentan cuando las actividades de un agente económico generan beneficios o costos sin verse reflejados en las transacciones del mercado (Navarro, Mikel, 1997b) (Camagni, Roberto, 2005).

Alfred Marshall (Isbasoiu, George Marian, 2007; Nicholson, Walter, 2001) establece que hay ciertos factores que surgen de la aglomeración económica que favorecen el crecimiento económico y además incrementan la atracción de firmas a la aglomeración. Marshall identifica tres razones por las cuales se pueden generar ventajas al ubicarse cerca de los productores del mismo sector:

- “*La concentración de algunas firmas en un único sitio ofrece una porción del mercado con capacidades industriales específicas, asegurando poca probabilidad de desempleo y alta demanda de empleo.*”
- *Las industrias localizadas pueden soportar las entradas de productos especializados.*

- *Sectores informales pueden generar firmas en clúster con mejores funciones de producción que productores aislados.”*

A partir de la presencia de las externalidades de red se forman aglomeraciones productivas que tienen como clientes a un vasto mercado circundante; y al existir elementos que refuerzan dichas aglomeraciones, se atraen acumulativamente otras producciones similares o complementarias. Estas externalidades generan economías de aglomeración que se pueden clasificar en (Camagni, Roberto, 2005; Navarro, Mikel, 1997b):

- INTERNAS O ECONOMÍAS DE ESCALA: Asociadas con la economía de escala de tipo productivo. Las economías de escala surgen de concentraciones espaciales de productores, donde priman los costos de transporte y distribución. Estas economías de escala, generadas a partir de la implementación de nuevas tecnologías, disminuyen los costos de producción, e incrementan la cobertura del mercado
- INTERNAS A LA EMPRESA PERO INTERNAS AL SECTOR – ECONOMÍAS DE LOCALIZACIÓN: Ventajas generadas a partir de la concentración de empresas pertenecientes a un mismo sector económico o actividades complementarias. Estas ventajas se derivan de:
  - Economías pecuniarias<sup>1</sup>: Estas resultan del aumento de la eficiencia que ocurre cuando hay vínculos intensos de compra-venta entre empresas del mismo sector (Clusters Industriales) los cuales, a su vez, surgen de la mejora en la competitividad la cual trae nuevas empresas. Estos vínculos permiten acceder a de mano de obra más especializada, proveedores, infraestructura a un menor costo.
  - Economías Transaccionales: La proximidad y la facilidad de contacto reducen los costos de transporte y transacción entre las empresas. desde este punto de vista, el cluster es una alternativa menos costosa para las firmas debido a la facilidad de acceso e intercambio de bienes, servicio o conocimiento entre empresas.
  - Economías de dinámicas y de Aprendizaje: La concentración de empresas genera una mayor facilidad para la formación de mano de obra especializada debido al fácil flujo de información, permitiendo así aumentar la productividad de las organizaciones.

---

<sup>1</sup> ECONOMÍA PECUNIARIA: Analiza las externalidades de tipo efectivo para diferenciar los efectos de las externalidades tecnológicas

- Economías de circulación y valoración: La cercanía a sectores económicos complementarios facilita formación en las fases previas y posteriores del proceso productivo, de una serie de servicios que permiten una mejor valorización de la producción local, se trata de economías conexas al proceso de circulación y valorización.
- Economías dinámicas: La concentración agiliza el proceso de innovación y se difunde más rápidamente el progreso tecnológico en el interior del clúster debido a la mayor accesibilidad al conocimiento y a la acción cooperativa de las firmas que lo componen, generando así una mayor competitividad con el mercado extranjero.
- EXTERNAS A LA EMPRESA – ECONOMÍAS DE URBANIZACIÓN: Son las ventajas generadas a partir de la interacción con el ambiente urbano. Incluye aquellas externalidades que se manifiestan en todo el territorio, indiferente del sector económico, cómo:
  - Presencia de infraestructuras de carácter social que incrementan la atracción de firmas a la aglomeración.
  - Suministro de servicios públicos, facilitando la generación de economías de escala.
  - Facilidad de acceso a mercados externos en función del incremento de la dimensión de la ciudad, en términos de densidad y proximidad, características de las aglomeraciones
  - Posibilidad de generación de clusters industriales de diversas actividades económicas. Incluyendo un mejor acceso a universidades, centros de investigación, servicios comerciales y de transporte.
  - Mayor acceso al mercado laboral y mejor flujo de información.
  - Atracción de capitales para invertir en mecanismos para una productividad (Loteró, Jorge, Botero, Hernan, Giraldo, Yudy y Moreno, Ana Isabel, 2005).
  - Más control en la coordinación de las actividades económicas (Loteró, Jorge et al., 2005).

En la siguiente sección se analiza la relación entre la formación de la formación de aglomeraciones económicas y sus impactos en las relaciones de demanda interna y externa

### *1.1.3. Modelos de base económica*

La conformación de clusters industriales en el Valle de Aburrá está encaminada a satisfacer de manera más eficiente la demanda externa e interna. Por lo tanto, se hace necesario estudiar los beneficios de la formación de clusters industriales en las relaciones económicas con el resto del mundo y sus efectos en el desarrollo económico.

Los modelos de base económica, estudiados desde la economía urbana, permiten determinar los beneficios obtenidos en la ciudad debido a las exportaciones, que se pueden beneficiar con el aumento de la competitividad de las organizaciones gracias a la formación de clusters industriales. Para ello, los modelos de base económica dividen las funciones económicas en actividades de base o que satisfacen a demanda externa, y las de servicio, encargadas de satisfacer la demanda interna y generar empleo para la población. A partir de las actividades de base, se puede analizar la estructura física y económica de la ciudad; y mediante las actividades de servicio se apoya la ejecución más eficiente de las actividades de base de tal forma que se genere un mayor desarrollo económico (Camagni, Roberto, 2005).

Este tipo de modelos parten del supuesto de que la ciudad ya posee toda la infraestructura y dinámicas necesarias para que sea competitiva externamente. Son análisis estáticos de la composición económica de la ciudad, por lo tanto, solo es posible cuantificar la intensidad de las actividades económicas para hacer pronósticos de crecimiento económico a corto y mediano plazo en función de la presencia de actividades de base. Además, suponen que los procesos productivos no poseen cuellos de botella y están dirigidos completamente a la exportación, limitando así el análisis de externalidades de red internas que impactan la capacidad productiva.

El modelo de base económica más importante es el de insumo-producto de Leontief (1960) (Camagni, Roberto, 2005; Rodríguez, María Jose, 2000). El modelo insumo producto se basa en la construcción de una matriz balanceada que representa la economía en términos de flujos de compra y venta de bienes y servicios de cada sector con respecto a los otros sectores, permitiendo medir el impacto total del cambio de la demanda final de un sector sobre la producción de todos los otros sectores de la economía, facilitando la descripción de la estructura de demanda y oferta de la ciudad.

Posteriormente, Ira Lowry (1963) (Camagni, Roberto, 2005) integra estos modelos de base económica con los modelos de interacción espacial, con el fin de simular la estructura interna de la ciudad en función de la localización de las actividades de base, la matriz de distancias y el tiempo

de transporte entre zonas y así determinar la localización óptima de las actividades industriales y de servicios.

Para el Valle de Aburrá se ha construido la matriz de contabilidad social, en el marco del proyecto de investigación “*Modelo de Apoyo a la toma de decisiones en planificación y ordenamiento territorial para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá*” (Universidad Nacional de Colombia, 2009). Esta matriz es una base cuantitativa importante para definir los encadenamientos producción-ingresos-producción de los diversos sectores económicos, incluyendo los hogares, las empresas y el gobierno. Estos encadenamientos permiten evaluar los impactos de políticas públicas de desarrollo en la producción, los ingresos, el empleo, los precios y los vínculos de demanda dentro y fuera de la región (Cordi, Angela, 1999). Además, se establecen los rasgos de complementariedad y similitud entre las estructuras productivas e intensidad de los sectores productivos. Este análisis se verá en detalle en la sección 5. A continuación se explica la formación de externalidades de red a partir de la formación de clusters industriales y la intensificación de las relaciones oferta y demanda, estudiadas desde la geografía económica, que determinan la formación de clusters industriales.

## 1.2. Fuerzas de aglomeración económica propuestas desde la Geografía Económica

Otro enfoque importante desde el cual se ha estudiado la generación de clusters industriales es la geografía económica. “*la geografía económica se concentra en estudiar la localización, distribución y organización de las actividades económicas a lo largo de la tierra. Se concentra en la localización de industrias y comercio, su intercambio y distribución*” (Krugman, Paul, 1994)

Esta ciencia se concentra en analizar la localización más adecuada de las actividades económicas a lo largo de la tierra de acuerdo con las intenciones de las firmas de incrementar sus ganancias y obtener mayor ventaja comparativa a partir de la especialización y el intercambio comercial. Además influyen las fuerzas que afectan el tamaño del mercado, las externalidades que generan los fenómenos de aglomeración económica y otros patrones de localización, distribución, organización de las actividades de una región así como sus flujos con otras actividades a nivel global (Krugman, Paul, 1991, 1994, 1998).

Paul Krugman (Krugman, Paul, 1991, 1994, 1998) analiza el comportamiento de las actividades manufactureras y agrícolas, con base en las externalidades estudiadas por Marshall (Ver sección 1.1.2), con el fin de estimar patrones de aglomeración a partir de las decisiones de localización de las actividades económicas. Mediante modelos de equilibrio general se estudian estos patrones que surgen de las interacciones de las decisiones de los diversos agentes económicos, que, en busca de

incrementar su ventaja competitiva y generar economías de escala, tratan de acercarse a los mercados globales y sus distribuidores con el fin de disminuir los costos de transporte en función de la distancia y así favorecerse de las economías de aglomeración. La conclusión a la que llega el autor es que las empresas tienden a aglomerarse en un mismo lugar para generar mayor ventaja competitiva mediante el incremento de los retornos (Krugman, Paul, 1991) (Krugman, Paul, 1994).

Así, el análisis de los clusters industriales desde el punto de vista de la geografía económica se concentra en estimar las fuerzas que generan la aglomeración económica debido a la presencia de externalidades. Así, se generan incrementos en los retornos de cada sector, que, combinados con los costos de transporte en función de la distancia, se forma una interacción en las decisiones individuales que genera fuerzas de aglomeración centrífugas y centrípetas descritas en detalle en la Tabla 1.

Tabla 1. Fuerzas centrífugas y centrípetas (Krugman, Paul, 1998)

FUERZAS CENTRÍPETAS	FUERZAS CENTRÍFUGAS
Efectos del tamaño del mercado	Factores inmóviles
Mercado laboral agregado	Rentas del suelo
Economías externas puras	Deseconomías externas puras

A continuación se explican en detalle cada una de las fuerzas de aglomeración económica.

### 1.2.1. Fuerzas centrípetas

Son las externalidades propuestas por Marshall que favorecen la concentración de actividades económicas e incrementan la atracción de firmas (Krugman, Paul, 1998)(Ver Tabla 1):

- EFFECTOS EN EL TAMAÑO DEL MERCADO: Son vínculos entre distribuidores y clientes
- MERCADO LABORAL: La concentración industrial atrae empleo, especialmente con capacidades especializadas, de tal manera que los empleados encuentren empleo y los empleadores empleados.
- ECONOMÍAS EXTERNAS PURAS: la concentración industrial genera economías externas relacionadas con los derrames de conocimiento e información. Los derrames representan la capacidad de la firma de apropiar las nuevas tecnologías e ideas obtenidas en el entorno en el que se desenvuelve, incrementando así el conocimiento dentro del cluster. Esto se debe a la disponibilidad del conocimiento a lo largo de toda la economía, pues es un bien público que una

vez generado dentro de una firma se esparce a lo largo de toda la economía. (Arrow, Kenneth, 1962; Audretsch, David, 1995; Sala-I-Martin, Xavier, 1999).

Hay dos factores a considerar en el fenómeno de aglomeración económica: incremento de retornos y costos de transporte. La interacción de estos dos factores genera un ciclo de refuerzo que trae consigo la fuerza centrípeta: Las firmas concentran la producción en sitios con buenos accesos a mercados, pero el acceso a mercados es bueno donde las firmas están concentradas, por lo tanto se genera una atracción de firmas y aumenta la población dentro de la aglomeración. Así, en el modelo formal (Ver sección 4), se utilizará este ciclo de refuerzo para la construcción de la atracción del cluster.

### *1.2.2. Fuerzas centrífugas*

Son las fuerzas que limitan la concentración de firmas en la aglomeración debido a las desventajas que puede traer (Ver Tabla 1) (Krugman, Paul, 1998):

- FACTORES INMÓVILES: Limitan la decisión de concentrarse pues las firmas prefieren hacerse cerca a sus materias primas.
- RENTA: La concentración de actividades económicas genera un incremento de la demanda de suelo local, incrementando así su precio e incrementando su congestión, por lo disminuyendo su atracción.
- EXTERNALIDADES NEGATIVAS PURAS: La congestión, contaminación entre otros, son factores que surgen de la alta concentración de actividades económicas y que, después de un tiempo, generan poca atracción.

Con las fuerzas centrífugas se genera un ciclo de balance, pues al aumentar la población de firmas se incrementan estas fuerzas generando así una repulsión y por lo tanto disminuyendo la entrada de firmas al clúster. Este ciclo se utiliza en el modelo formal (Ver sección 4), para la construcción de la repulsión del cluster.

En el Anexo A.1 se ilustran algunos ejemplos de clusters industriales exitosos a lo largo del mundo, que han explotado adecuadamente las fuerzas de aglomeración económica y han traído desarrollo económico a sus regiones.



### 1.3. Síntesis

Dentro del análisis de las interacciones entre empresas complementarias y el proceso de aglomeración es necesario analizar los comportamientos complejos y dinámicos de este proceso, con el fin de estimar los efectos de las posibles decisiones de los distintos agentes en el crecimiento económico y la competitividad. Así, las distintas metodologías analizadas previamente han servido de acercamiento para el análisis de estos fenómenos.

Los modelos de aglomeración económica (Sección 1.1) asumen un comportamiento racional de los agentes económicos, de acuerdo a los costos de transporte y la distancia entre ellos; sin embargo hay otros factores que inciden en la decisión de localización, cómo la presencia de servicios públicos, la renta del suelo, la disponibilidad de know how, entre otros, que requieren un análisis de las dinámicas más profundo y que permita introducir todo tipo de parámetros, de tal forma que se puedan estudiar los patrones de aglomeración económica.

Posteriormente se introducen los modelos de base económica (Sección 1.1.3); en estos, el sector de servicios es un factor determinante para el crecimiento de las actividades de base o de exportación. Sin embargo, parten del supuesto que la ciudad ya posee toda la infraestructura y dinámicas necesarias para que sea competitiva externamente, limitando la inclusión de otras variables, como conocimiento, experiencia y capital, que igualmente impactan la competitividad de las firmas con el exterior. Además, los supuestos de procesos productivos sin cuellos de botella y dirigidos completamente a la exportación limitan el análisis de externalidades que pueden afectar el crecimiento económico, y de los fundamentos para la dinámica de generación de clusters industriales. Al combinar las metodologías de Economía Urbana con geografía económica podemos introducir todo tipo de externalidades positivas y negativas de una manera más adecuada.

A continuación, en la sección 2, se estudian las metodologías necesarias para representar las causalidades que permiten determinar los impactos de la formación de estas aglomeraciones económicas en el crecimiento económico y la competitividad.

## 2. ANALISIS DE IMPACTO ECONÓMICO DEBIDO A LA FORMACIÓN DE CLUSTERS INDUSTRIALES

En esta sección se estudian las distintas teorías que analizan los impactos de la formación de cluster en la transferencia de conocimiento e innovación, así como sus beneficios en la competitividad de las firmas y el desarrollo de la ciudad.

Inicialmente se estudian los efectos de los clusters industriales en la generación de conocimiento y la innovación tecnológica (Sección 2.1). Posteriormente se estudian los impactos del aumento de la innovación tecnológica en el desarrollo económico (Sección 2.2)

### 2.1. Efectos de los clusters industriales en la generación de conocimiento y la innovación tecnológica

La adquisición de conocimiento e innovación surge por la combinación dos procesos de aprendizaje, que se analizan en detalle en la sección 2.1.2. Estos procesos son activados por la intensidad en los flujos de conocimiento entre las organizaciones que componen el cluster o *derrames de Conocimiento*; es una externalidad positiva generada a partir de la aglomeración de industrias y el incremento en los procesos de investigación y desarrollo. Están incluidas en las fuerzas centrípetas descritas en 1.2 (Dangelico, Rosa Maria, Garavelli, Achille Claudio y Petruzzelli, Antonio Messeni, 2008).

A continuación se ilustran estos procesos de aprendizaje (Sección 2.1.2) así como los diversos estudios encaminados a analizar las dinámicas del fomento y crecimiento del conocimiento e innovación tecnológica, gracias a la formación de los clusters industriales (Sección 2.1.1).

#### 2.1.1. Antecedentes

Jaffe et al. (1993) (Jaffe, Adam, Trajtenberg, Manuel y Henderson, Rebecca, 1993) comparan la localización geográfica de patentes citadas por diversos agentes económicos con el fin de identificar el surgimiento los spillovers de conocimiento y las ventajas de transferencia de conocimiento que surgen de los fenómenos de aglomeración. El estudio de la forma de transferencia del conocimiento se hace mediante el seguimiento de la creación y el posterior uso de patentes, introduciendo este concepto cómo clave para la cuantificación del conocimiento.

Posteriormente David Audretsch (1995, 1996) (Audretsch, David, 1995), se basa en la localización geográfica de las patentes definidas por Jaffe para analizar los efectos de la proximidad geográfica en la formación de spillovers de conocimiento. Los trabajos de Audretsch estudian los impactos de la proximidad geográfica en la generación de conocimiento y en el incremento de actividad innovadora en las firmas concentradas, teniendo en cuenta la diferencia entre la transferencia de conocimiento e información, pues hay una mayor facilidad en el flujo de información gracias al desarrollo de las telecomunicaciones y una mayor dificultad en el flujo de conocimiento debido a su requerimiento de contacto físico entre agentes. Además, establece una correlación positiva importante entre las entradas de inversión en I+D y la generación de conocimiento dentro de la firma.

De forma paralela diversos autores han introducido los spillovers de conocimiento en diversos modelos que representan los procesos de innovación:

- Philip McCann (2006) (Mccan, Philip y Iammarino, Simona, 2006) introduce estos spillovers de conocimiento para relacionar los procesos de innovación y los clusters industriales, clasificándolos a partir de los costos de transacción y la transferencia de conocimiento. Esta clasificación se utilizará en la definición de escenarios (Sección 7.2) para evaluar la intensidad de las interacciones entre las firmas que componen el cluster.
- Chi-Huang Lin et. al (2006) (Lin, Chin-Huang, Tung, Chiu-Mei y Huang, Chih-Tai, 2006) estudian la formación de clusters industriales mediante un modelo de dinámica de sistemas que explora los factores que afectan su formación en función de las externalidades positivas, incluyendo los spillovers de conocimiento, y los posteriores efectos en la competitividad. Las externalidades que analiza son: Empoderamiento, Tecnología, dinero y flujos de mercado.

### *2.1.2. Procesos de aprendizaje*

Los modelos descritos anteriormente se concentran en estudiar las dinámicas de formación y adquisición de conocimiento dentro de los clusters industriales, mediante la interacción y los patrones de cooperación que se generan gracias al fenómeno de aglomeración. Estas dinámicas traen consigo la adquisición más eficiente de innovaciones, mejorando las condiciones de las firmas y haciéndolas más competitivas.

Para estudiar las dinámicas de formación y adquisición de conocimiento es necesario considerar que es un bien intangible que impacta directamente los procesos productivos y su eficiencia. Los

modelos tradicionales lo consideran un bien público, sin embargo, para obtenerlo, debe considerarse la proximidad geográfica, con el fin de facilitar su transferencia entre firmas mediante mecanismos de cooperación y comunicación, usualmente informales. (Mccan, Philip y Iammarino, Simona, 2006).

De acuerdo con Dangelico R. M etc., La adquisición de conocimiento surge de la combinación de entradas de conocimiento generadas por dos procesos de aprendizaje que se explican a continuación (Dangelico, Rosa Maria et al., 2008):

- Proceso interno o aprendizaje intra organizacional: Incluye todas las actividades que hace la organización de forma individual. Están basadas en Investigación y desarrollo, aprendizaje por experiencia y por uso.

Desde el punto de vista de crecimiento económico se puede estudiar el proceso de aprendizaje intra organizacional mediante el modelo propuesto por Arrow, “learning by doing” (Arrow, Kenneth, 1962; Sala-I-Martin, Xavier, 1999). Este modelo establece que la generación de aprendizaje y posterior formación de conocimiento depende del aumento de la experiencia de los empleados dentro de la firma. La experiencia puede representarse como una función de la cantidad disponible de capital para el proceso de producción, como maquinaria, etc. pues, debido a la adquisición de nueva maquinaria y la necesidad de ponerla en marcha y utilizarla lo más eficientemente posible, se genera aprendizaje por parte de los trabajadores.

- Proceso externo o aprendizaje inter organizacional: La proximidad geográfica, la cooperación, el incremento de la confianza y la conectividad favorecen la transferencia de conocimiento entre organizaciones de la siguiente manera:
  - Aprendizaje por imitación: Intercambio de conocimiento entre firmas complementarias, firmas y consumidores y firmas debido a la investigación previa de nuevas tecnologías, procesos de ingeniería inversa, espionaje y otros mecanismos de cooperación informal o involuntaria entre firmas pertenecientes a la misma aglomeración industrial.
  - Aprendizaje por interacción: Intercambio de información y conocimiento entre actores de la economía con diferentes stocks de conocimiento que los comparten voluntariamente con el fin de hacer más eficiente el clúster como tal.

Este conocimiento adquirido y almacenado en las firmas puede cuantificarse de diversas maneras: Cantidad de mano de obra especializada, incremento de la capacidad instalada generado a partir de

innovaciones en el proceso productivo o número de patentes y desarrollos generados por la organización.

Debido a la disponibilidad de información, la forma más adecuada de cuantificar la transferencia de conocimiento es el número de patentes: son las propiedades y derechos del uso comercial de un invento. Contienen información sobre el inventor, su utilidad y sus antecedentes tecnológicos. Por lo tanto, se convierte en la forma legal de transferir el conocimiento y mediante esta información es posible seguir el rastro de la transferencia de conocimiento entre las firmas dentro del cluster, y los efectos de la geografía en esta transferencia (Jaffe, Adam et al., 1993)

A continuación se explican los impactos de la generación de este conocimiento en la innovación tecnológica, factor determinante para el crecimiento económico.

### *2.1.3. Impactos en la innovación tecnológica*

La adquisición y transmisión del conocimiento, impulsadas por el fenómeno de aglomeración económica, permite a las firmas generar productos y desarrollar procesos innovadores que satisfagan las necesidades de los consumidores a mayor calidad, en menor tiempo y con bajos costos, generando mayor productividad.

Esta transmisión del conocimiento y generación de innovaciones se beneficia con la aglomeración económica debido a que se aumenta la capacidad de acceder a nuevos componentes y diversificar con base en investigación y desarrollo gracias a un mayor acceso a la información disponible en el mercado relacionada con las necesidades de los consumidores. Gracias a esto se genera un mayor valor agregado y por lo tanto mayores beneficios que favorezcan el crecimiento económico de la región (Lin, Chin-Huang et al., 2006):

La forma de cuantificar los efectos de la adquisición de conocimiento en el progreso tecnológico, mediante la función de producción del conocimiento. Este concepto fue propuesto desde la teoría de crecimiento endógeno (Ver Modelo de crecimiento endógeno) y ha sido utilizado para medir la contribución de I+D y spillovers de conocimiento en el incremento de la productividad.

Esta función establece que la actividad innovadora depende de un conjunto de entradas de I+D. Se asume que estas entradas se representan mediante la inversión utilizada para I+D y el capital humano disponible para el estudio de nuevas tecnologías. A continuación se ilustra la forma general de las ecuaciones (1) y (2): (Vila, L., Cabrer, B. y Pavía, J., 2007) (Fritsch, Michael, 2002).

- (1).  $Salidas\ I + D = A + (Entradas\ I + D)^B$
- (2).  $LN(Salidas\ I + D) = LN(A) + B \times LN(Entradas\ I + D)$

La pendiente de la función (B) representa la variación de las salidas de I+D en relación con las Entradas de I+D. Ésta pendiente varia con la calidad de las entradas I+D la cual, a su vez, mejora con los spillovers de conocimiento presentes en la región. El término constante (A) representa el número de innovaciones generadas sin las correspondientes entradas de I+D, es decir, el conocimiento anterior que ha sido acumulado; así, el conocimiento obtenido en el pasado facilita la creación de nuevo conocimiento en el presente. (Fritsch, Michael, 2002) (Joutz, Frederick y Abdih, Yasser, 2004).

En la sección 2.2 se estudia la forma de cuantificar los impactos de la generación de innovación tecnológica en la mejora de la productividad y el desarrollo económico.

## 2.2. Impactos en el crecimiento económico

En este trabajo se desea evaluar el impacto de la formación de clusters industriales en el crecimiento económico. Para este análisis se estudian los modelos tradicionales de crecimiento económico que se concentran en estudiar el incremento de la capacidad productiva en función del desarrollo tecnológico y el conocimiento, con el fin de estimar los posteriores impactos en el incremento de la productividad del sector, y por lo tanto el crecimiento económico.

El crecimiento de la economía se mide con el crecimiento de la producción total de bienes y servicios, es decir, el Producto Interno Bruto. Esta variable mide el valor monetario de los bienes y servicios finales producidos en un periodo determinado, para representar el comportamiento de las actividades productivas a partir de las unidades de producción existentes en el mercado (DANE, 2002). Con el crecimiento económico se incrementan los puestos de trabajo, mejora la calidad de vida de los habitantes gracias al salario, y esta mejora impacta directamente el consumo de bienes y servicios (González, isabel, LaCalle, Maria Cruz, Simon, Jesus y Romero, Domi, 2004)

A continuación se explican las formas de cuantificar la producción total de la economía mediante la función de producción (Sección 2.2.1). Además, se analizan las diversas corrientes que estudian esta función y como se introducen los impactos de la mejora de la tecnología (Sección 2.2.2).

### *2.2.1. Función de producción*

La oferta o producción de la economía, representada en términos del Producto Interno Bruto, parte de la combinación de tres factores de producción, que al aumentar favorecen la producción de la economía (Sala-I-Martin, Xavier, 1999):

- **TRABAJO:** Este factor representa el capital humano, principal factor que se impacta con el conocimiento y los efectos de incremento de la experiencia. Su productividad se ve afectada por el aumento de la educación y la experiencia de la población.
- **CAPITAL:** Máquinas o utensilios físicos que utilizan las empresas en el proceso productivo. Son bienes materiales que las empresas compran a otras empresas. Este factor es único para cada firma.
- **CONOCIMIENTO O TECNOLOGÍA:** Fórmula para combinar el capital y el trabajo en las proporciones precisas para la producción eficiente. Es un factor no rival, es decir puede compartirse por todos los agentes de la economía, viéndose impactado de forma positiva por la formación de los clusters industriales.

A continuación se estudian las diversas corrientes que estudian el crecimiento económico, mediante la relación de estos factores de producción con el crecimiento de la economía.

### *2.2.2. Teorías de crecimiento económico*

Los diversos modelos de crecimiento económico estudian la forma de la relación matemática de la función de producción y sus efectos en el crecimiento económico. Nuestro interés en estas teorías es establecer la forma de cuantificar los efectos del conocimiento o tecnología en los demás factores de producción y por lo tanto en el crecimiento económico. A continuación se explican los modelos más tradicionales.

#### *Modelo neoclásico Solow Swan*

El modelo neoclásico se concentra en analizar el papel de la inversión en el crecimiento económico a largo plazo. Este modelo calcula el incremento del stock de capital en función de la mano de obra y de la cantidad de capital generado por la inversión, con el fin de estimar el papel de la inversión en el incremento del capital físico como motor fundamental del crecimiento a largo plazo (Sala-I-Martin, Xavier, 1999; Solow, Robert, 1956).

Bajo el supuesto de economía cerrada, donde no participa ni el gobierno ni el exterior, el producto final (PIB) se redistribuye entre el consumo y la inversión. Así, la inversión es una fracción del producto final de la economía dependiente de la tasa de ahorro  $s$ . Así, el capital físico aumenta con la capacidad de las firmas de invertir en nueva maquinaria, en función de la porción de renta total ahorrada (tasa de ahorro  $s$ ), disminuye con una depreciación que se asume de forma constante en el tiempo; así, mientras la maquinaria no se deteriore es completamente productiva (Sala-I-Martin, Xavier, 1999).

Este modelo no es adecuado para estimar los efectos de la formación de clusters en el crecimiento económico debido a que sólo incluye el incremento del capital debido a la decisión de inversión, excluyendo del análisis de variables importantes como la tecnología, necesario para estimar los impactos de las externalidades de red generadas por la proximidad geográfica de firmas complementarias (Vila, L. et al., 2007).

### *Modelo de crecimiento endógeno*

Los modelos de crecimiento endógeno se concentran en estudiar los procesos de crecimiento del progreso tecnológico. Inicialmente Paul Romer (Romer, Paul, 1994; Romer, Paul M., 1990) establece que hay más progreso tecnológico y conocimiento de acuerdo a la inversión de las firmas, pues, a medida que se invierte más en capital habrá más maquinaria y mediante el aprendizaje por práctica y el desbordamiento de conocimiento se genera más conocimiento que pueden ser utilizados por todas las firmas alrededor, facilitando así el aumento del producto total de la economía. (Ver Sección 2.1).

El modelo de Romer se basa en tres premisas principales acerca del cambio tecnológico:

- Es el principal motor del crecimiento económico.
- Impacta la productividad de la mano de obra pues se convierte en un incentivo para la acumulación de capital y hace más eficiente los procesos de producción.
- Surge debido a la búsqueda de las firmas de mejorar sus procesos productivos para poder responder de manera más eficiente los cambios del mercado.

Así, este tipo de modelos introducen la tecnología dentro del incremento del stock de capital de forma lineal, como una constante ( $Y=AK$ ). El capital ( $K$ ) incluye el capital físico y humano. El



capital humano es una medida del efecto acumulado de actividades educativas y de entrenamiento (Romer, Paul, 1994; Sala-I-Martin, Xavier, 1999).

El aumento de la tecnología depende del capital humano disponible para I+D y el conocimiento existente en el sector. Se asume que la cantidad de capital humano disponible es constante, así, con el incremento del conocimiento existente del sector hay un crecimiento sostenido de la tecnología y por lo tanto una mayor productividad del capital humano para la producción de nuevo conocimiento. Como resultado de la producción de nuevo conocimiento, hay un crecimiento sostenido de la economía, independiente del stock de capital.

Estos modelos son los más útiles dentro del análisis de impacto de la tecnología en el desarrollo económico de las regiones pues, mediante la introducción del capital humano en la función de producción y el análisis de la tecnología de forma endógena se pueden introducir diversas externalidades generadas a partir de la adquisición de conocimiento por parte de las firmas.

### *2.2.3. Medición de la productividad*

La productividad refleja cuán eficiente es una economía en la utilización de los recursos para producir bienes y servicios. La productividad se define como el “Cambio del producto total (en valor absoluto) debido a un cambio de 1 unidad del insumo o factor variable, y manteniendo los demás constantes. Más concretamente, el producto marginal mide la tasa de variación del producto total cuando experimenta una variación infinitesimal la cantidad aplicada del factor variable” (Ver ecuación (3)) (Sala-I-Martin, Xavier, 1999) (Iregui, Ana Maria, Melo, Luis Fernando y Ramírez, Maria Teresa, 2006)

$$(3). \quad \text{Productividad marginal}_{\text{factor } (K,L)} = \frac{\Delta \text{producto total}}{\Delta \text{factor } (K,L)}$$

La productividad, como factor para la medición de impactos económicos de la formación de clusters industriales, permite determinar cómo el progreso tecnológico impacta la cantidad de producción, los costos de producción y por lo tanto los precios, teniendo en cuenta el stock presente de los demás factores de producción. (Kendrick, John, 1979)

Una forma de cuantificar los impactos de la productividad en el desarrollo económico debido a la introducción de economías de escala es mediante la productividad total de los factores (TFP: Total factor productivity). TFP cuantifica la diferencia entre la tasa de crecimiento de la producción total y la tasa ponderada del incremento de los factores (Kendrick, John, 1979) (Pombo, Carlos, 1999):

El aumento del TFP está directamente determinado por el incremento de la producción de bienes y servicios, es decir el aumento de capacidad productiva. Esta capacidad se descompone en dos elementos básicos: el aumento de la disposición de factores de producción (capital, tierra y trabajo) y una mayor eficiencia en el uso de estos factores (Villamil, Jesus Alberto, 2003).

La eficiencia en el uso de los factores de producción depende de su calidad (Villamil, Jesus Alberto, 2003): La calidad del trabajo depende de la educación, la experiencia y el conocimiento de los empleados, así como el uso de este conocimiento en el proceso productivo. La calidad del capital depende de la incorporación de nuevos métodos y medios de producción que permitan incrementar la productividad del capital.

Esta incorporación de estos nuevos medios de producción que afecten el uso eficiente de los factores de producción se denomina *Cambio tecnológico*. Incluye así los procesos de innovación tecnológica y la generación de conocimiento que optimizan el uso de los recursos (Villamil, Jesus Alberto, 2003).

Así, la intensidad en tecnología, medido por una mayor producción con los factores existentes, es decir, el aumento de la productividad media de los factores, permite explicar el crecimiento de la producción total de la economía y por lo tanto, el crecimiento económico.

En conclusión, para la cuantificación de impactos de las economías de aglomeración en el desarrollo económico, es necesario determinar los efectos del incremento de la tecnología en el uso eficiente de los recursos, es decir, el aumento de la productividad, medida como el incremento del valor agregado debido a la disponibilidad de una unidad monetaria del factor de producción (Villamil, Jesus Alberto, 2003).

### 2.3. Síntesis

Esta sección pretende determinar las relaciones entre la formación de cluster y los efectos en el desarrollo económico de las regiones. Según las teorías propuestas en la contabilización de la productividad (sección 2.2.3), las formas de obtener un uso más eficiente de los factores de producción (capital y trabajo) son determinantes para explicar el crecimiento del producto total de la economía.

Diversas corrientes económicas, como el crecimiento endógeno, estudian las implicaciones de la tecnología en el aumento de la eficiencia de uso de los factores, pues la innovación tecnológica, proveniente de la generación de conocimiento, mejora los procesos productivos, aumenta el nivel de

producción por unidad de capital y trabajo y por lo tanto la capacidad productiva de las firmas. De esta forma, las firmas tienen más capacidad de responder a fluctuaciones del mercado y ser más eficiente (Villamil, Jesus Alberto, 2003). Este cambio del nivel de producción, gracias al aumento de los factores, se denomina *Productividad marginal de los factores*, indicador que permite cuantificar los efectos de la formación de clusters industriales y de externalidades de red en el crecimiento económico. Este indicador mide el número de unidades obtenidas por unidad monetaria del factor de producción.

La generación de innovación y progreso tecnológico es clave para el incremento de la productividad y depende del conocimiento total de los sectores económicos debido a los diversos procesos de aprendizaje. En este trabajo interesan aquellos procesos de aprendizaje que son activados por la interrelación de firmas, debido a que se desea evaluar los impactos de la formación de aglomeraciones en la generación de aprendizaje inter organizacional, sin dejar a un lado el conocimiento adquirido dentro de la firma gracias al aprendizaje por práctica y la experiencia (aprendizaje intra organizacional), analizados en detalle en la Sección 2.1.2.

A continuación, en la sección 3 se explica el problema de investigación para el caso de aplicación del Valle de Aburrá y la justificación del estudio de la economía urbana y la formación de conocimiento teniendo en cuenta que se busca determinar si la región bajo análisis puede tener un crecimiento económico sostenido con el fomento de los clusters industriales y la explotación de las externalidades de red que esta configuración genera.

### 3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En este capítulo se ilustra la problemática general que motiva la realización de un modelo de dinámica de sistemas para el estudio de la formación de clusters industriales y el análisis de los efectos en el desarrollo económico para el caso de aplicación del Valle de Aburrá, teniendo en cuenta sus características y el papel de las decisiones del gobierno en las dinámicas industriales de la región.

#### 3.1. Problemática general.

De acuerdo con el diagnóstico realizado por la Alcaldía de Medellín en el 2004 (Alcaldía de Medellín, 2004), las grandes empresas han buscado lugares que les permita mayor acceso a los mercados y disminución de costos asociados con el transporte o con los impuestos, generando así un decrecimiento del dinamismo económico y fraccionando las cadenas productivas tradicionales.

A nivel regional, el Valle de Aburrá solía ser el centro productivo de Antioquia, trayendo consigo grandes aglomeraciones poblacionales y económicas y generando una gran expansión territorial que ha desbordado su capacidad para proveer condiciones mínimas de calidad de vida a los inmigrantes (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007). Sin embargo, debido a las altas concentraciones de personas y firmas se presenta una reconfiguración de las actividades productivas de la región hacia dos tendencias (Betancur, María Soledad, 2001):

- Expansión de actividades económicas hacia el oriente antioqueño debido a la disminución de los costos de producción (mano de obra, disposición de aguas y costos de suelo) y las mejoras de infraestructura vial, equipamientos y formas de comunicación, permitiendo a las firmas explotar las ventajas que trae la localización cercana al Aeropuerto José María Córdoba.
- En el Valle de Aburrá se presenta una consolidación del sector servicios, debido a las limitaciones de espacio y las condiciones favorables para su localización (infraestructura vial, distribución de mercancía, comunicaciones).

En conclusión, se ha generado un desplazamiento de actividades económicas, disminuyendo la intensidad productiva dentro del Valle de Aburrá, y por lo tanto implicaciones negativas en el desarrollo económico y la generación de empleo necesario para atender la oferta de mano de obra disponible en la región (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007).

Además, hay una desarticulación de las actividades complementarias, pues, aunque se presentan externalidades positivas gracias a la concentración geográfica de firmas, no existen clusters industriales ni se forman distritos industriales debido a la poca conectividad de estos sectores económicos con las instituciones educativas y los centros de investigación. Esto genera una limitación en la explotación adecuada de estas externalidades (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007).

Esta conectividad es fundamental para la competitividad internacional, mas en un mundo globalizado que debe ser explotado por la región para consolidar sus actividades relevantes y generar un crecimiento sostenido en el tiempo. Actualmente el 62% de las exportaciones son generadas por el Valle de Aburrá, presentando un incremento moderado debido a la diversificación de productos y aumentos en las inversiones extranjeras que permiten explotar de forma más adecuada los recursos naturales y aprovechar las ventajas geográficas, de capital humano e institucional que tenemos. Sin embargo, hay una carencia de una política adecuada que intensifique estos vínculos de forma sostenible, pues no se cuenta con un tejido productivo lo suficientemente sólido que permita mantener este crecimiento en el largo plazo (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007).

Teniendo en cuenta esta problemática, se analizan a continuación las políticas propuestas por los distintos entes gubernamentales del Valle de Aburrá, encaminados a fortalecer las actividades industriales en la región y generar una mejor calidad de vida.

### **3.2. Políticas propuestas e identificación de clusters claves**

Debido a esta problemática, El AREA metropolitana del Valle de Aburrá , en el Plan Integral de Desarrollo Metropolitano (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007) establece que *“A futuro, la permanencia de la industria en el Valle de Aburrá, definida mediante el ordenamiento riguroso de esta actividad en centros industriales intermedios entre el Oriente y el Occidente y el valle de Aburrá, son necesarios como factor que promueva la generación de empleo formal en la región (..)Es necesario emprender el proyecto de revitalización del sector industrial favoreciendo la generación de empleo y vinculando la actividad académica, de investigación y su aplicación a la innovación industrial y la producción limpia en toda la Región”*

Este proceso de revitalización del sector industrial ha incluido el estudio por parte de diversas entidades, cómo la Cámara de Comercio, el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia y Centro de Estudios de Economía Sistémica ECSIM (Escenarios de la economía Antioqueña y Agenda de

Innovación y Desarrollo Científico y Tecnológico para Medellín y Antioquia (ECSIM, 2004a)) que permitan identificar las variables claves que dinamizarán el aparato productivo del Valle de Aburrá.

En estos estudios se establece que es necesario introducir actividades de alto valor agregado, integrándolo con los centros de investigación, las universidades y los centros de emprendimiento. Además se identifican los sectores económicos de la ciudad con mayor potencial para la generación de dinámicas de desarrollo económico. Los sectores estratégicos identificados son:

- Clúster Textil / Confección Diseño y Moda
- Alimentos
- Sector de Servicios Médicos y Salud
- Productos forestales
- Construcción
- Energía y Servicios Públicos Domiciliarios
- Clúster Turismo de Eventos y Negocios.
- Desarrollo de software.

A partir de este análisis, la cámara de comercio, dentro de la estrategia “Comunidad Cluster” fomenta 4 clusters productivos (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia y ECSIM, 1995) (Cámara de Comercio, 2007):

- *“Energía eléctrica: se define como la concentración geográfica de empresas e instituciones especializadas y complementarias en las actividades de la generación, transformación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica en Medellín y Antioquia, las cuales interactúan entre sí creando un clima de negocios en el que todos pueden mejorar su desempeño, competitividad y rentabilidad.*
- *Textil / confección, diseño y moda: se define como la concentración geográfica de empresas e instituciones especializadas y complementarias en la actividad de confección de ropa interior y vestidos de baño, ropa infantil y de bebé y ropa casual en Medellín y Antioquia, las cuales interactúan entre sí creando un clima de negocios en el que todos pueden mejorar su desempeño, competitividad y rentabilidad.*
- *Construcción: se define como la concentración geográfica de empresas e instituciones especializadas y complementarias en la actividad de la construcción de edificaciones e infraestructura en Medellín y Antioquia,*

*las cuales interactúan entre sí creando un clima de negocios en el que todos pueden mejorar su desempeño, competitividad y rentabilidad.*

- *Turismo de negocios, ferias y convenciones: se define como la concentración geográfica regional en Medellín y Antioquia de empresas e instituciones especializadas y complementarias en la actividad de hotelería, alimentación, transporte de pasajeros, agencias de viaje, operadores de eventos, traductores, entre otros, las cuales interactúan entre sí creando un clima de negocios en el que todos pueden mejorar su desempeño, competitividad y rentabilidad”*

Igualmente se definen 3 sectores transversales fundamentales para el desarrollo de estos clusters:

- Desarrollo de software
- Maquinaria y equipo
- Transporte

De forma paralela, las entidades gubernamentales (Alcaldía de Medellín y Gobernación de Antioquia) incorporan estos trabajos en las políticas de crecimiento económico, buscando la transformación tecnológica de la región para la configuración de la canasta exportadora de tal forma que la región sea más competitiva. En sus planes de desarrollo buscan “Apoyar el desarrollo y consolidación de las unidades productivas existentes buscando su articulación a las dinámicas de las cadenas productivas con mayores potencialidades económicas, con innovación y acceso a mercados” (Alcaldía de Medellín, 2004, 2007). El fomento de clusters industriales incluye articular el gobierno con los centros de investigación, las empresas y las entidades financieras; así como la transformación de la estructura productiva hacia actividades intensivas en conocimiento, capital humano y tecnología.

Por lo tanto, se desea estimar y evaluar el impacto de este conjunto de políticas de fomento de clusters en el crecimiento económico de la región, teniendo en cuenta las condiciones particulares y las ventajas generadas por los fenómenos de aglomeración que pueden incrementar este crecimiento. Para ello se identifican los factores críticos que incentivan la formación de los clusters industriales y que aceleran el crecimiento económico, teniendo en cuenta las ventajas geográficas particulares que permiten la introducción de externalidades positivas determinantes para un crecimiento más sostenible en el tiempo.

### 3.3. Preguntas de investigación

Para analizar el impacto de las políticas del Valle de Aburrá y las regiones cercanas que están encaminadas a fomentar la generación de clusters industriales para propiciar un crecimiento económico sostenible en la región, se deben responder dos preguntas:

1. ¿La política actual del gobierno local, explicada previamente, permitirá a la región fortalecer los sectores estratégicos y acelerar el crecimiento económico; teniendo en cuenta los factores que involucran el proceso de globalización y competitividad?
2. ¿Cuáles son los factores particulares que deben impulsarse dentro de los clusters estratégicos del Valle de Aburrá para que sean competitivos a nivel mundial, considerando las condiciones geográficas y económicas de la región?

Para responder ambas preguntas, se debe estudiar de forma detallada las relaciones de causalidad que fomentan la generación de un cluster industrial, considerando las condiciones geográficas particulares. Posteriormente, se deben identificar los factores particulares que fomentan el crecimiento del cluster industrial y generan un desarrollo económico sostenible en el tiempo y que permite a la región ser competitiva a nivel mundial.

Para este análisis se combina la teoría de formación de aglomeraciones económicas desde la economía urbana con las externalidades propuestas por la geografía económica, de tal manera que se puedan cuantificar estas externalidades y se pueda determinar los efectos en de la formación de clusters industriales en el desarrollo económico del Valle de Aburrá

La Investigación de Operaciones proporciona un conjunto de herramientas que permiten analizar los patrones de localización y aglomeración de forma sistémica y dinámica, teniendo en cuenta los factores complejos generados por la interacción de los agentes económicos y sus posteriores efectos en el crecimiento económico y la competitividad. Esta disciplina involucra múltiples métodos matemáticos que permiten predecir y comparar los resultados de diversas estrategias. Además, analiza sistemas complejos, permitiendo así considerar múltiples opciones y restricciones; dando como resultado final información adecuada sobre el problema, apoyando así la toma de decisiones.

Dentro de la investigación de operaciones debe seleccionarse una herramienta que permita estudiar detalladamente las relaciones que generan las economías de aglomeración y que van a permitir estimar los efectos de la generación de clusters industriales en el crecimiento económico del Valle de Aburrá. Así, la dinámica de sistemas facilita la representación de estas relaciones y facilita la



simulación de los posteriores efectos. Además permite introducir los factores no racionales introducidos por las externalidades de red que propone la geografía económica y las relaciones con los mercados globales que inciden de forma importante en la competitividad.

### 3.4. Síntesis

El problema general que motiva la realización de esta tesis es determinar si las políticas de los entes gubernamentales, encaminadas a incentivar la formación de clusters industriales, favorece el desarrollo económico de la región y dinamiza la actividad económica en el Valle de Aburrá. Así, la investigación de operaciones permite estudiar los patrones de formación de clusters industriales con el fin de identificar los factores críticos que incentivan su formación y favorecen el crecimiento económico.

En la próxima sección se detalla el modelo de dinámica de sistemas propuesto que representa las causalidades y ciclos de realimentación que enmarcan la formación de clusters industriales, así como sus impactos en el incremento de la productividad de los sectores gracias al aumento del conocimiento y la innovación tecnológica.

## 4. MODELO FORMAL

Los clusters industriales consisten en un conjunto de firmas complementarias, concentradas geográficamente y ligadas unas a otras mediante relaciones oferta-demanda, que buscan explotar las ventajas de la aglomeración económica generadas por la cercanía entre ellas de tal manera que incrementen sus rendimientos económicos y el desarrollo de las regiones.

En esta sección se presenta un modelo de dinámica de sistemas para estudiar el comportamiento de la formación de los clusters industriales en función de las ventajas y desventajas que genera esta configuración de firmas en la productividad y los ingresos. Este modelo es un caso de aplicación para el Valle de Aburrá, sin embargo, puede aplicarse para cualquier sector económico en cualquier región.

Este modelo busca simular y reproducir el proceso de formación y consolidación de clusters industriales para aplicarlo luego al caso del Valle de Aburrá con el fin de evaluar la efectividad de las políticas públicas encaminadas a fomentar su formación para generar crecimiento económico en la región.

Inicialmente se justifica el uso de la dinámica de sistemas para el estudio de esta problemática (Sección 4.1), a partir del objetivo general del modelo. Posteriormente se explican los supuestos tenidos en cuenta (Sección 4.2), la hipótesis dinámica y la estructura general propuesta (Sección 4.3); finalmente se explica en detalle las dinámicas del modelo, desagregado por módulos (Sección 4.4, 4.5 y 4.6).

### 4.1. ¿Por qué dinámica de sistemas?

La dinámica de sistemas es una metodología de simulación que permite estudiar el comportamiento de los sistemas y hacer cambios en las variables para poder evaluar diversas alternativas de sucesos futuros mediante la definición de escenarios y comparación de sus resultados (Sterman, John D., 2000).

La dinámica de sistemas parte de la formulación de relaciones entre variables para el análisis de dinámicas endógenas, ciclos de realimentación, retardos y no linealidades. Permite ampliar los modelos mentales del sistema mediante estructuras causales y de niveles y flujos; con el fin de entenderlos de una forma sistémica, aprender acerca de su comportamiento y sus dinámicas e impulsar factores claves por medio de la implementación de políticas de tal manera que se generen beneficios con este análisis (Sterman, John D., 2000).

El proceso de formación del cluster industrial y sus efectos en el crecimiento económico involucra procesos de alta complejidad y con múltiples variables. Esta complejidad surge debido a las siguientes características (Stermán, John D., 2000):

- Hay múltiples agentes económicos que interactúan para la conformación de clusters y su posterior formación de externalidades debido a la conexión entre firmas.
- Hay múltiples ciclos de realimentación positivos y negativos que interactúan en conjunto e intensifican las dinámicas de formación de economías de aglomeración.
- Hay un complejo proceso de toma de decisiones por parte de las firmas que desean entrar al cluster, con múltiples retardos en la percepción de atracción y repulsión de la aglomeración.
- Hay retardos en los efectos de la conformación de los clusters industriales en la transferencia de conocimiento entre las firmas que lo conforman y sus posteriores impactos en el aumento de productividad de los procesos productivos y el desarrollo económico.

A continuación se presenta el modelo de dinámica de sistemas propuesto, sus supuestos y las hipótesis dinámicas mediante el estudio de sus estructuras causales y sus procesos de acumulación a lo largo del periodo de simulación.

#### 4.2. Supuestos y alcances del modelo

El modelo de dinámica de sistemas propuesto a continuación muestra las dinámicas de formación de clusters industriales para un sector económico en general de una región en particular con el fin de determinar si los sectores económicos estratégicos identificados en el Valle de Aburrá tienden a formar conglomerados de firmas y generan suficientes externalidades positivas para incrementar la producción total.

Cómo lo proponen (Dangelico, Rosa María et al., 2008) se consideran dos estados de las firmas: firmas dentro del cluster y firmas fuera del cluster, con el fin de identificar los flujos de ingreso y retiro del cluster industrial.

La formación y transferencia de conocimiento, y la formación de la tecnología son las externalidades positivas de la aglomeración de firmas. Al estudiarlos, es preciso tener en cuenta que, debido al supuesto de “memoria organizacional”, el conocimiento y el nivel de tecnología no se pierden una

vez son adquiridos por las firmas, debido a la acumulación de éstos en la memoria y la experiencia de los empleados, los sistemas de información y el proceso productivo (Huber, George, 1991).

El conocimiento es un bien intangible. Una forma de medirlo, para el caso de aplicación del Valle de Aburrá, es la cantidad de patentes solicitadas por las firmas de cada sector económico a la Superintendencia de Industria y comercio por los sectores económicos a nivel nacional. Esta medida probablemente subestima el conocimiento adquirido por las firmas, pero permite realizar un análisis de sensibilidad más preciso sobre los impactos del conocimiento en el progreso tecnológico. Este progreso tecnológico se cuantifica dentro del cluster, dejando fuera del análisis otros incrementos de la tecnología a nivel de sector económico.

Para analizar el impacto de la formación de clusters en el desarrollo económico, se miden los impactos del aumento del conocimiento y la tecnología en la productividad del sector económico en términos monetarios. Se asume que otras variables que pueden afectar el aumento de productividad, como el aumento de mano de obra, el aumento de capacidad productiva, entre otros, son constantes.

Se establece un horizonte de tiempo de 50 años, suficiente para determinar los impactos de la aglomeración económica en la acumulación de conocimiento y tecnología, considerando los posibles retardos en la asimilación de éstas por parte de las firmas y poder así analizar el comportamiento de la formación de clusters industriales y contabilizar los impactos en el crecimiento económico. El paso de tiempo es anual, teniendo en cuenta así la demora de las firmas en su proceso de toma de decisiones.

A continuación se explican las causalidades y las hipótesis tenidas en cuenta para el estudio de esta problemática.

### **4.3. Hipótesis dinámica**

La hipótesis dinámica general establece que la interacción de firmas complementarias genera economías de escala y es favorecida por la concentración de firmas y la formación de clusters industriales. Como resultado de la interacción entre firmas aumenta la innovación y la productividad. Un sector económico más productivo tiene mayores capacidades de competir en el exterior y por lo tanto contribuye al crecimiento económico de la región.

En la Figura 1 se ilustra el diagrama causal agregado. Se presentan diversos ciclos de refuerzo (con letra **R**) y de balance (con letra **B**), a partir de relaciones positivas (flechas con signo +) y negativas

(flechas con signo -) entre las variables principales que determinan la dinámica de formación de clusters industriales y los posteriores efectos en el aumento de variables económicas importantes, como ingresos, inversión, rentabilidad, entre otras.

Los ciclos de realimentación R1, BI y R2 representan las causalidades de la formación de aglomeraciones económicas dentro del cluster, sus impactos en la atracción del cluster y la formación de desbordamiento de conocimiento, las cuales se estudian con más detalle en las secciones 4.4 y 4.5.

Los ciclos de realimentación R3, R4 y R5 ilustran las relaciones causales que permiten analizar los impactos de la formación de estas economías de aglomeración en el desarrollo económico del sector y sus impactos en el incremento del conocimiento, representado mediante el aumento de la productividad y los posteriores efectos en los ingresos de las firmas. Estas realimentaciones se explican en detalle en el módulo de análisis de impactos en el incremento de la productividad (Sección 4.6)

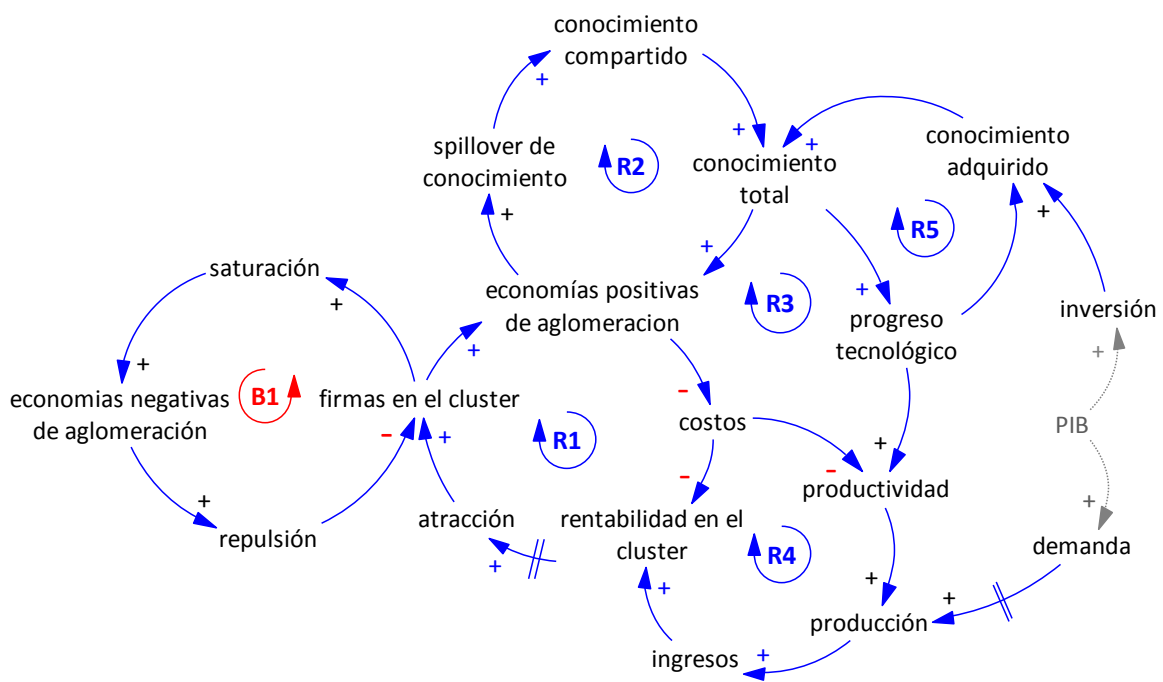


Figura 1. Diagrama Causal General de las dinámicas dentro del cluster industrial.

A continuación se explica en detalle cada uno de los ciclos de realimentación:

- Los ciclos de realimentación R1 y BI representan los ciclos que generan las fuerzas centrífugas (de repulsión) y centrípetas (de atracción) que surgen como resultado de externalidades.

Cuando la población de firmas dentro del cluster aumenta, se incrementan las economías positivas de aglomeración (RI). Si siguen llegando firmas, las economías positivas de aglomeración se agotan y pueden ser superadas por las economías negativas de aglomeración (BI), que aumentan la percepción de repulsión.

- El ciclo de realimentación R2 ilustra cómo la aglomeración facilita la transferencia de conocimiento, desbordando las fronteras de la firma individual y acumulando el conocimiento a lo largo del sector económico. A mayor conocimiento en el sector, hay mayor capacidad de explotar las economías positivas de aglomeración.
- El ciclo de realimentación R3 ilustra los impactos de la acumulación del conocimiento compartido y adquirido en el sector económico en el progreso tecnológico, aumentando la productividad, y favoreciendo los ingresos y la rentabilidad del cluster. La rentabilidad del cluster atrae más firmas que generan más economías positivas de aglomeración que contribuyen a la formación de spillovers de conocimiento y el aumento del nivel de tecnología.
- El ciclo de refuerzo R4 muestra los efectos de los costos y los ingresos en la rentabilidad de las firmas en el cluster. Así, cuando una firma pertenece al cluster, puede disminuir costos y, junto con el progreso tecnológico, se puede aumentar la productividad y generar más ingresos que favorezcan su desarrollo económico.
- Finalmente, en el ciclo de refuerzo R5 se ilustra cómo la inversión en I+D y las políticas de fomento a la inversión de capital favorece la formación de economías positivas de aglomeración que contribuyen a la formación de desarrollos tecnológicos.

En la Figura 2 se explica la estructura general del modelo propuesto, que se desagrega en 3 módulos de acuerdo con el tipo de dinámica que se representan en las variables y relaciones: Módulo de aglomeración económica, Módulo de formación y transferencia de conocimiento y Módulo de impactos en el crecimiento económico.

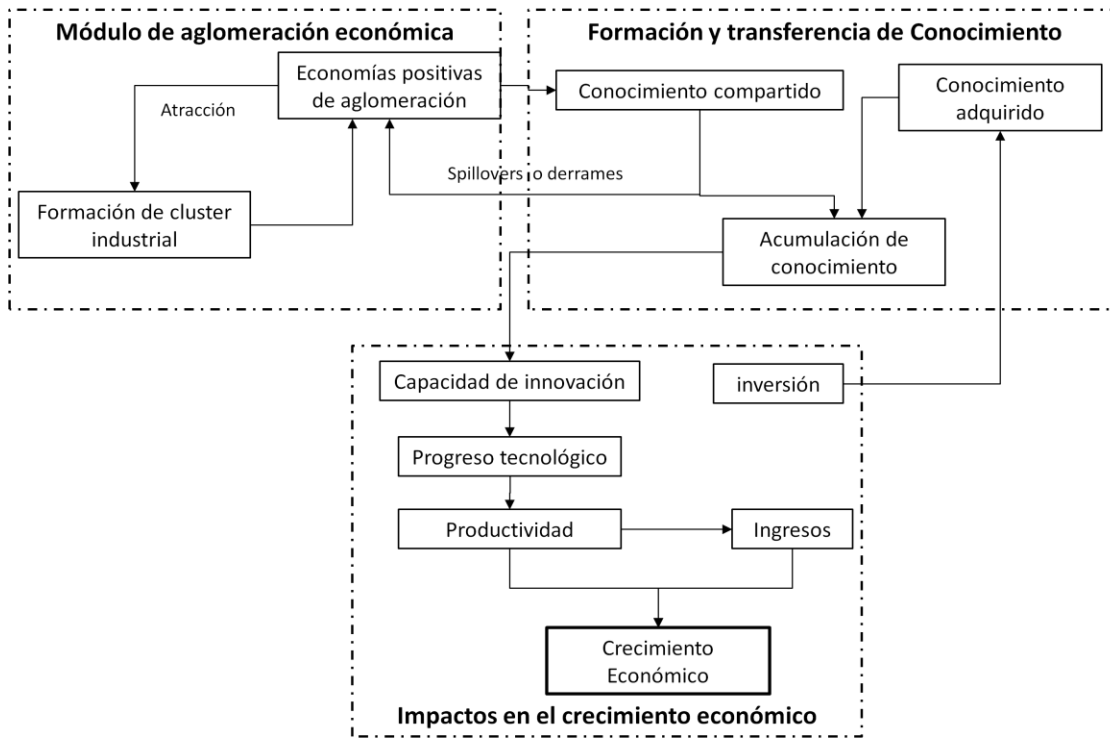


Figura 2. Desagregación por módulos

El módulo de aglomeración económica explica la formación del cluster industrial, pues, debido a la búsqueda de las firmas de incrementar su eficiencia productiva, explotan las economías positivas de aglomeración que se surgen por la cercanía entre firmas complementarias. La formación de economías positivas de aglomeración genera un incremento de la atracción y por lo tanto un proceso acumulativo de actividades (Camagni, Roberto, 2005). Este módulo se conecta con el módulo de formación y transferencia de conocimiento beneficiando los derrames de conocimiento dentro del cluster industrial. Estos derrames también incrementan las economías positivas de aglomeración, beneficiando así la atracción del cluster.

El módulo de formación y transferencia de conocimiento representa la acumulación de conocimiento total dentro del cluster industrial debido a la combinación de entradas de conocimiento generadas por los dos procesos de aprendizaje propuestos por (Dangelico, Rosa Maria et al., 2008) (Ver 2.1.2) : adquisición del conocimiento dentro de la firma gracias al aumento de la inversión, y la generación de conocimiento compartido gracias a los procesos de cooperación que surgen dentro del cluster.

Este módulo se conecta con el módulo de impactos en el crecimiento económico mediante la acumulación de conocimiento total dentro del sector económico que permite a las firmas mejorar

sus procesos de investigación y desarrollo para aumentar su capacidad de innovar y generar productos y procesos enfocados en el progreso tecnológico, que impacten su eficiencia y productividad, disminuyendo así costos y aumentando su competitividad (Lin, Chin-Huang et al., 2006).

Así, el módulo de impactos en el crecimiento económico cuantifica estos beneficios mediante el análisis de impactos en el aumento del progreso tecnológico, y como este progreso afecta la productividad y los ingresos, indicadores claves de crecimiento económico (Sala-I-Martin, Xavier, 1999).

En el anexo A.1 se ilustran las formulas y variables propuestas en el modelo de dinámica de sistemas.

#### **4.4. Módulo de aglomeración económica**

El modulo de aglomeración económica representa, mediante el diagrama causal de la Figura 3, la formación de clusters industriales debido a las externalidades de red y la búsqueda de las firmas de reducir sus costos, aumentar sus ingresos y tener mayor competitividad, como se explicó en la sección 1, las variables de color gris representan parámetros de entrada, y las variables de color fucsia representan variables que vienen de los otros módulos.

En la Figura 3 se ilustra el diagrama causal que representa la formación de aglomeraciones económicas. El aumento del número de firmas dentro del cluster incrementa las economías positivas de aglomeración, las cuales reducen costos de transporte, de transacción y de producción. Se aumenta así la rentabilidad de las firmas que están en el cluster, haciéndolo más atractivo. Este ciclo representa las fuerzas centrípetas (Ver Tabla 1 de capítulo 1.2) definidas desde la Geografía Económica, donde, mediante el incremento de los retornos y la disminución de costos de transporte, se atraen más firmas a la aglomeración y se genera el ciclo de refuerzo (Camagni, Roberto, 2005; Isbasoiu, George Marian, 2007; Krugman, Paul, 1998; Ventura, H y perdo, J, 2009)

El cluster llega a un punto de saturación porque las firmas compiten por los recursos como vías, suelo, recursos humanos, entre otros. Además, la alta concentración crea externalidades negativas, como congestión y contaminación. Estas economías negativas generan una repulsión e inducen la salida de firmas del cluster. Este balance representa las fuerzas centrífugas que limitan la concentración de firmas en la aglomeración debido a las desventajas que pueda generar debido a la saturación del cluster (Krugman, Paul, 1998) (Isbasoiu, George Marian, 2007)(Ver Tabla 1 de capítulo 1.2)



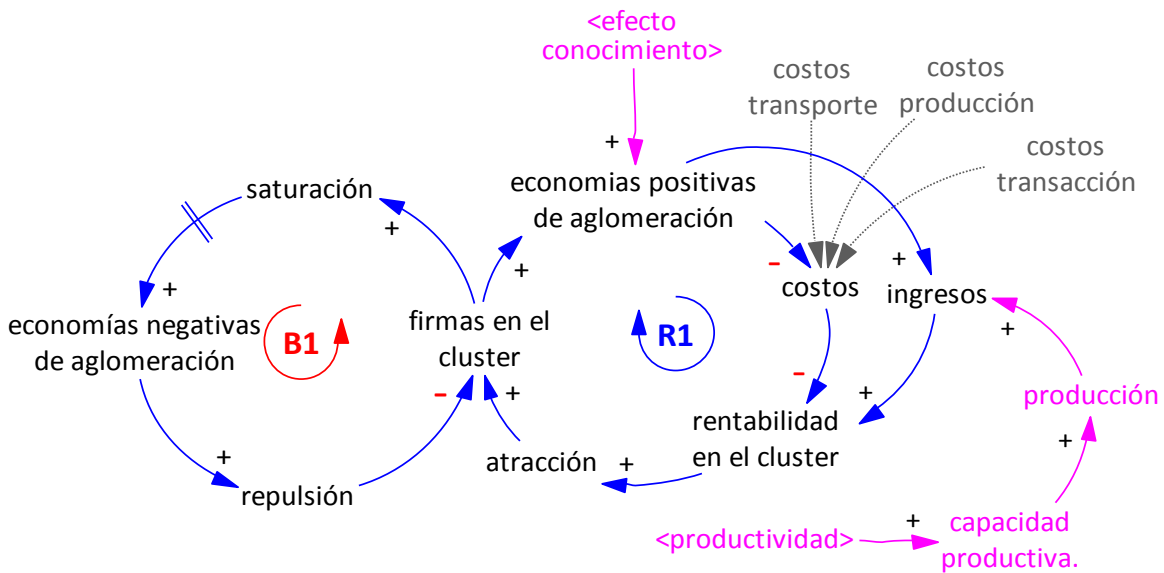


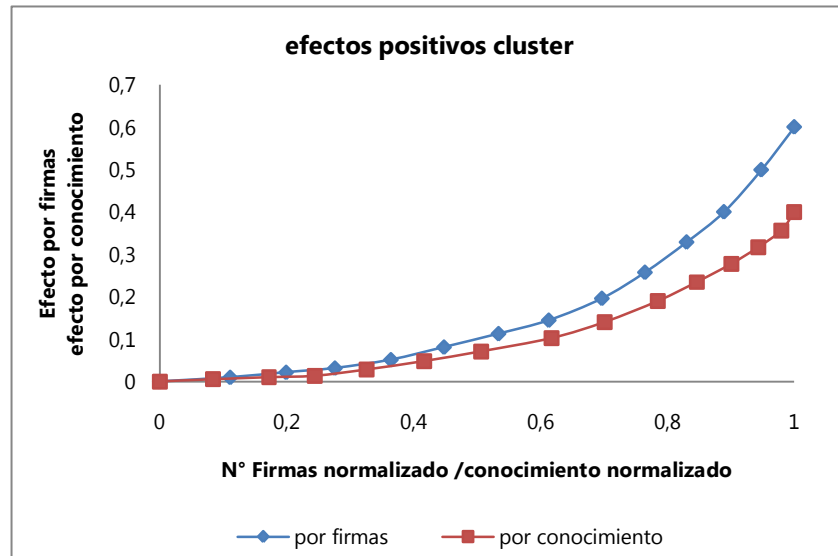
Figura 3. Diagrama causal módulo aglomeración económica.

#### 4.4.1. Representación de externalidades

Para representar las economías positivas de aglomeración, se formulan de dos efectos positivos que afectan el flujo de entrada de firmas al cluster. Estos efectos son funciones cualitativas no lineales, crecientes (Ver Gráfica 1), que representan estas economías que incrementan la atracción del cluster mediante el aumento percibido de la rentabilidad para las firmas que ingresan, pues disminuyen costos e incrementan la demanda cubierta, como lo exponen (Camagni, Roberto, 2005) y (Ventura, H y perdo, J, 2009)

- Efecto cluster por firmas: A mayor cantidad de firmas dentro del cluster, hay una mayor formación de economías de aglomeración internas y externas que disminuyen los costos de producción y aumentan el nivel de ingresos. (Ver sección 1.1.2) (Camagni, Roberto, 2005; Navarro, Mikel, 1997b).
- Efecto cluster por conocimiento: A mayor presencia de conocimiento total dentro del cluster se agiliza el proceso de innovación gracias a la mayor experiencia en las firmas y a los procesos de cooperación entre firmas (Camagni, Roberto, 2005; Navarro, Mikel, 1997b) (Ver sección 1.1.2). estos impactos se analizan con mayor detalle en el módulo de formación y transferencia de conocimiento (sección 4.5).

El *efecto cluster por firmas*<sub>sector</sub> tiene un mayor impacto que *Efecto cluster por conocimiento*<sub>sector</sub> (Ver Gráfica 1), pues un incremento de la población de firmas dentro del cluster genera mayores ventajas y afecta de forma más directa la rentabilidad percibida de las firmas que el incremento del conocimiento dentro de éste. Se asume además que estos efectos no superan el 60%, pues no es posible una disminución total en los costos totales de las firmas debido a las de aglomeración.



Gráfica 1. Economías positivas de aglomeración

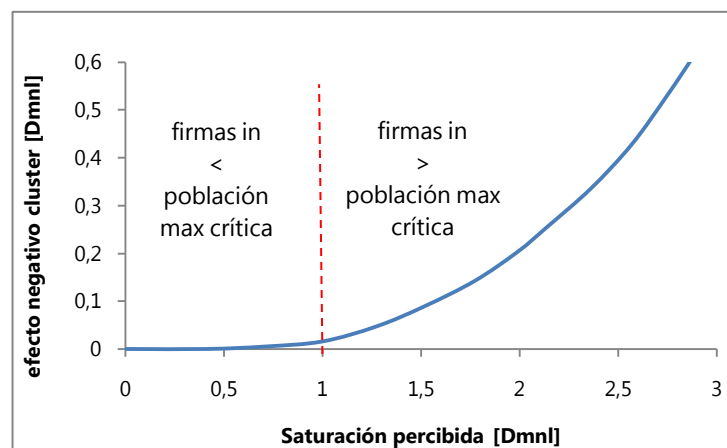
Así, las economías positivas de aglomeración es la suma de estos dos efectos. Cómo se aprecia en el diagrama Forrester de la Figura 4 y el ciclo de refuerzo RI del diagrama causal Figura 3. Estas economías se traducen en el porcentaje de disminución de *costos por firma*<sub>sector</sub> y de aumento de *ingresos por firma*<sub>sector</sub> para las empresas dentro del cluster y aumentan la percepción de la rentabilidad por parte de las firmas que quieren entrar al cluster.

Para representar las economías negativas de aglomeración se incluye el efecto que tiene la concentración de firmas en la saturación de la zona (representadas por la variable de estado o nivel *Firmas in*<sub>sector</sub> de Figura 5), incluyendo los efectos en la congestión, contaminación, demanda se suelo local, impactos en incremento del precio del suelo y por lo tanto una reducción de la atracción del cluster (Camagni, Roberto, 2005).

Para evaluar las *Firmas in*<sub>sector</sub> y determinar el *porcentaje de saturación*<sub>sector</sub>, se define una *población máxima crítica*<sub>sector</sub>, que representa población máxima de firmas que pueden entrar al cluster y hasta donde la conectividad entre ellas generan economías positivas de escala (Isbasoiu,

George Marian, 2007). Cuando se agotan las economías positivas de escala, las firmas que pertenecen al cluster comienzan a abandonarlo pues este deja de generarles beneficios.

La *Saturación percibida*<sub>sector</sub>, incrementa las economías negativas de aglomeración, representadas por el *efecto negativo cluster*<sub>sector</sub>, y por lo tanto salen más firmas del cluster. Así, se formula una función creciente para estimarlas (Ver Gráfica 2). Esta función es 0 mientras la *Saturación percibida*<sub>sector</sub> es menor que 1, es decir, la población del cluster no sobrepasa la población máxima crítica. Cuando las firmas dentro del cluster sobrepasan esta población máxima, se genera un incremento en las *economías negativas de aglomeración*<sub>sector</sub>, y por lo tanto en el porcentaje de firmas a salir del cluster o *potencial de salida*<sub>sector</sub>. Se asume que este incremento no supera un 60% para evitar el retiro total de firmas del cluster (Ver Figura 5).



Gráfica 2. Deseconomías de Aglomeración

#### 4.4.2. Formación del cluster

Las externalidades de red afectan la rentabilidad de las firmas que pertenecen al cluster industrial (Camagni, Roberto, 2005). Para estudiar los impactos de estas externalidades en la formación del cluster, se estima la rentabilidad esperada y sus efectos en la percepción de atracción y repulsión del cluster, cómo se aprecia en el diagrama causal de la Figura 3.

La rentabilidad es el porcentaje de utilidad de cada firma dentro y fuera del cluster, en función de la población de firmas acumuladas en cada nivel y los costos e ingresos por firma dentro y fuera del cluster. Estos costos incluyen aquellos que buscan disminuir las firmas al aglomerarse (Navarro, Mikel, 1997a):

- *Transacción*: Identificación, acceso e intercambio de bienes, servicios o conocimiento entre empresas.
- *Producción*: Costo asociado con la producción del bien o el servicio
- *Transporte*: costo relacionado con la distribución de bienes y servicios a los consumidores, que pueden ser firmas complementarias.

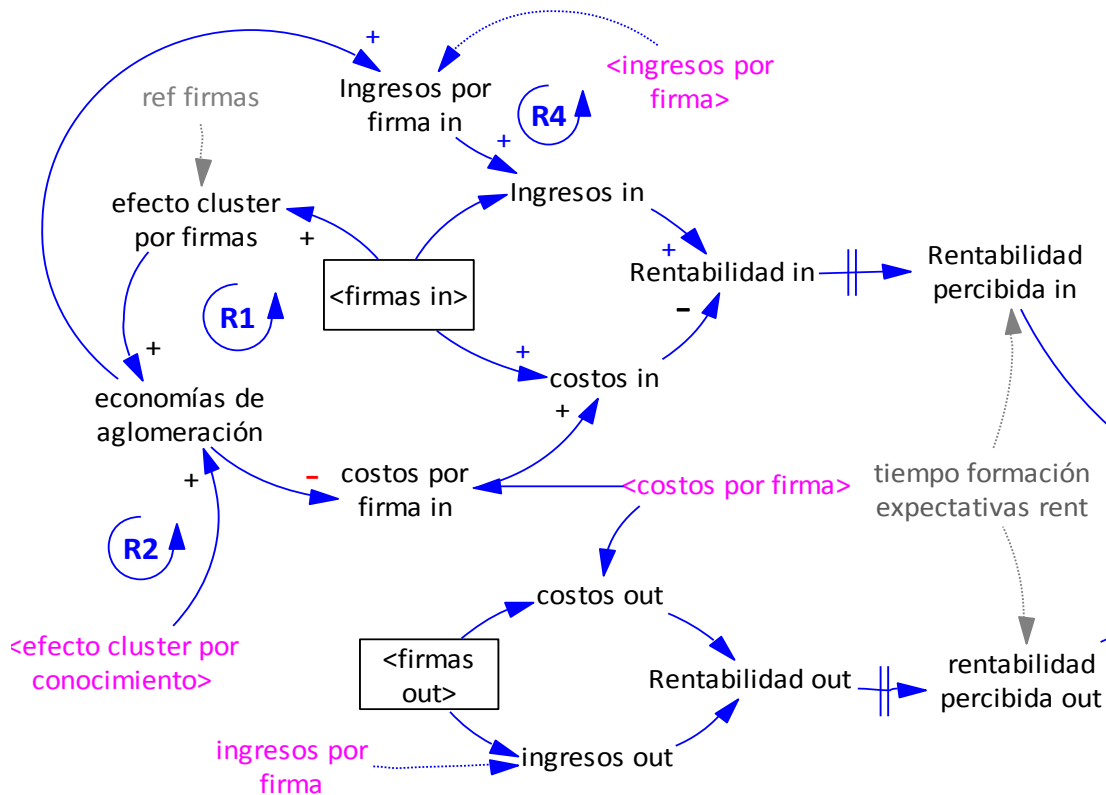


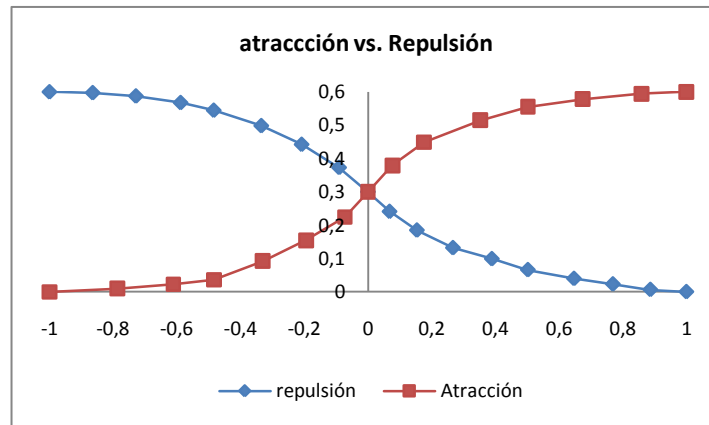
Figura 4. Diagrama Forrester Formación de rentabilidad y las economías y positivas y negativas de aglomeración

Para representar la entrada y salida de firmas del cluster se modela la entrada y salida de firmas del cluster mediante dos niveles que acumulan las *Firmas out<sub>sector</sub>* y *Firmas in<sub>sector</sub>*. Estos niveles de acuerdo a la percepción de la atracción o repulsión del cluster. También se ven afectados por el nacimiento y la muerte de firmas en cada uno de los estados. Se asume que las firmas nacen y mueren en ambos estados con las mismas tasas de natalidad y mortalidad exógenas.

La atracción y la repulsión dependen de la diferencia entre la *rentabilidad percibida in<sub>sector</sub>* y la *rentabilidad percibida out<sub>sector</sub>*. Se construyen así dos funciones cualitativas no lineales que representan el incremento en porcentaje de atracción y repulsión (Ver Gráfica 3) en función de esta

diferencia, teniendo en cuenta las siguientes reglas y bajo el supuesto que estas funciones no afectan los potenciales de entrada y salida en más del 60%.

Ambas funciones son en forma de S, pues, inicialmente sus incrementos son altos, pero cuando alcanzan el límite de crecimiento van disminuyendo. La función de atracción va incrementando a medida que la diferencia de rentabilidades es mayor, es decir, la rentabilidad dentro del cluster se hace cada vez mayor; y la función de repulsión es inversa, disminuye a medida que la diferencia entre rentabilidades es menor (Ver Gráfica 3).



Gráfica 3. Funciones de Atracción y de Repulsión

La percepción de atracción y repulsión se convierten en los porcentajes potenciales de entrada y de salida ( $Potencial\ de\ entrada_{sector}$ ,  $Potencial\ de\ salida_{sector}$ ) respectivamente. Estos potenciales determinan las tasas de entrada y salida del cluster. El  $Potencial\ de\ salida_{sector}$  es además incrementado por las  $des\ economías\ de\ aglomeración_{sector}$  calculadas en Representación de externalidades (Brenner, Thomas y Weigelt, Niels, 2000).

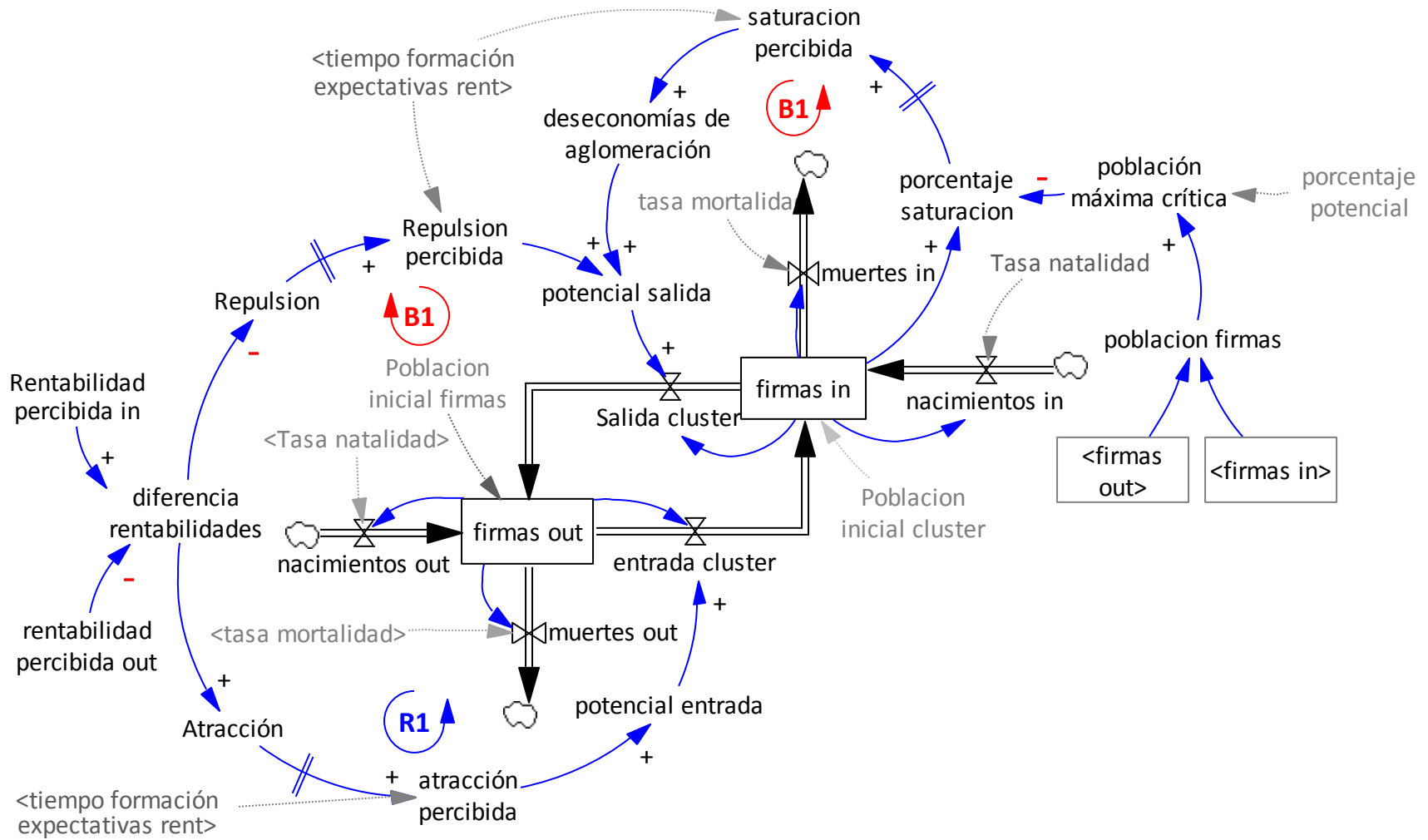


Figura 5. Diagrama Forrester de formación del cluster

#### 4.5. Módulo de formación y transferencia de conocimiento

La concentración de firmas en un cluster industrial genera spillovers o derrames de conocimiento e información. Estos derrames favorecen la apropiación de nuevas tecnologías, incrementando así el conocimiento y la capacidad de las firmas del cluster de ser más eficientes y más competitivos internacionalmente (Arrow, Kenneth, 1962; Audretsch, David, 1995; Sala-I-Martin, Xavier, 1999)

Cómo se aprecia en el diagrama causal de la Figura 6, la adquisición de conocimiento total dentro del sector económico surge de la combinación de entradas de conocimiento generadas por dos procesos de aprendizaje: aprendizaje intra organizacional (conocimiento adquirido) y aprendizaje inter organizacional (conocimiento compartido) (Dangelico, Rosa Maria et al., 2008). A continuación se ilustran los dos ciclos de refuerzo que determinan la acumulación de conocimiento debido a estos procesos:

- **Refuerzo R2:** Este ciclo de refuerzo representa el proceso externo de adquisición de conocimiento (aprendizaje inter organizacional) entre las firmas. las economías de aglomeración intensifican los spillovers de conocimiento que incrementan el conocimiento compartido dentro de la aglomeración y por ende el conocimiento total del sector (Dangelico, Rosa Maria et al., 2008). El aumento del conocimiento total genera un efecto positivo en la atracción de firmas al cluster y favorece así las economías positivas de aglomeración.
- **Refuerzo R5:** Este ciclo de refuerzo muestra el proceso de formación de conocimiento interno o aprendizaje intra organizacional. Parte de la teoría de “Aprendizaje por práctica” que establece que el aprendizaje dentro de la firma aumenta gracias a la adquisición de experiencia de los empleados dentro de la firma. Así, la experiencia se incrementa con la adquisición de capital y tecnología, en función de la capacidad de inversión. A mayor experiencia se tiene más aprendizaje, incrementando así el conocimiento adquirido dentro de las firmas y por lo tanto el conocimiento total del sector. El conocimiento total facilita la generación de nuevas innovaciones tecnológicas, incrementando así la adquisición de tecnología.

El conocimiento se cuantifica con el número de patentes solicitadas, como lo proponen (Jaffe, Adam et al., 1993), pues representan las propiedades y derecho del uso comercial y permiten seguir el rastro del conocimiento compartido entre firmas.

Este conocimiento acumulado cumple con el supuesto de “Memoria Organizacional” (Ver Figura 7 y Figura 8). La memoria organizacional se refiere a que, una vez las firmas almacenan el

conocimiento adquirido por los procesos de aprendizaje, éste se acumula en la firma, por lo que es muy poco probable que se pierda (Huber, George, 1991), por lo tanto no hay flujos de salida de los niveles de conocimiento.

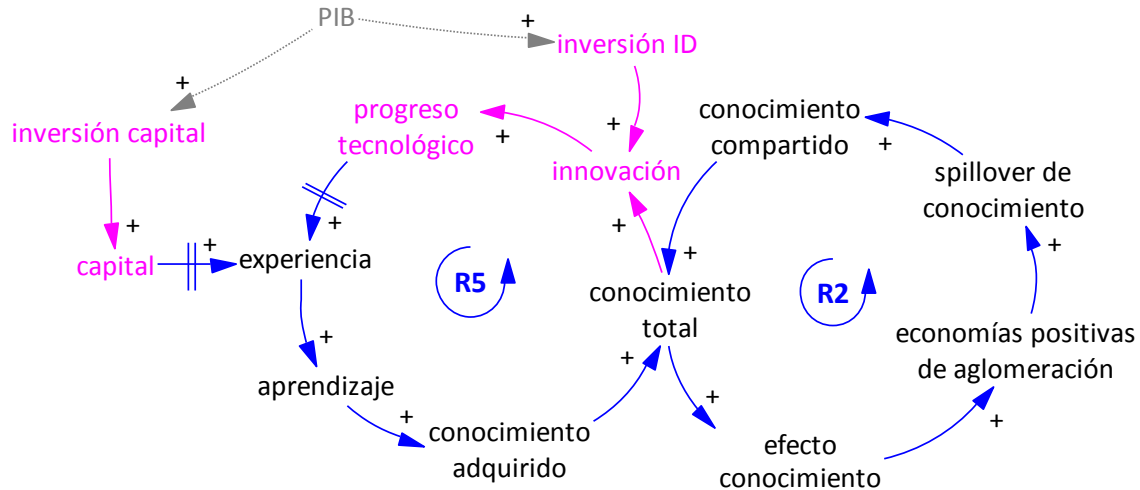


Figura 6. Diagrama Causal formación y transferencia de conocimiento

A continuación se estudian las dinámicas de formación del conocimiento debido a estos procesos de aprendizaje y teniendo en cuenta los efectos que tienen la formación de aglomeraciones económicas en la formación y asimilación del conocimiento.

#### 4.5.1. *Conocimiento Adquirido*

En la Figura 7 se ilustra la formación del conocimiento adquirido dentro de la firma teniendo en cuenta los efectos de la adquisición de capital y el incremento de la tecnología, proveniente del módulo de impactos en el crecimiento económico (Sección 4.6), en la acumulación de experiencia y el aumento de la tasa de aprendizaje.

Así, para estimar el incremento de la tasa de aprendizaje debido al aumento de la experiencia, se parte de una *elasticidad experiencia – capital*<sub>sector</sub>, un valor supuesto que representa en cuanto aumenta la experiencia debido a la adquisición unitaria de capital y tecnología. A partir de esta elasticidad se determina en cuanto aumenta la experiencia gracias al aumento, en dinero, del total de capital y la tecnología.

El impacto de la experiencia en el aumento de la tasa de aprendizaje, representado por la variable *Incremento por experiencia*<sub>sector</sub> no se da de inmediato, pues requiere una asimilación del capital



por parte de las firmas y un entrenamiento previo de los empleados, y se representa mediante un retardo de información.

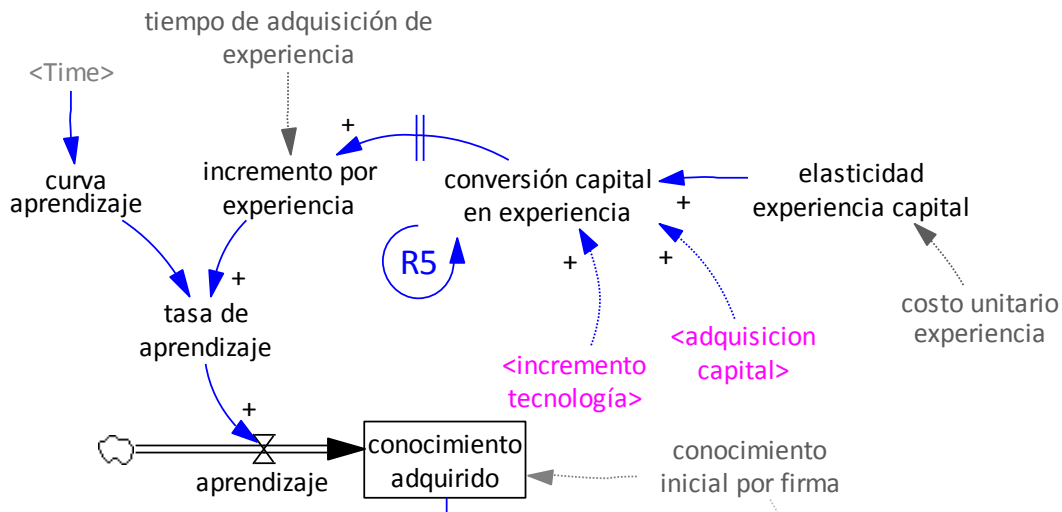


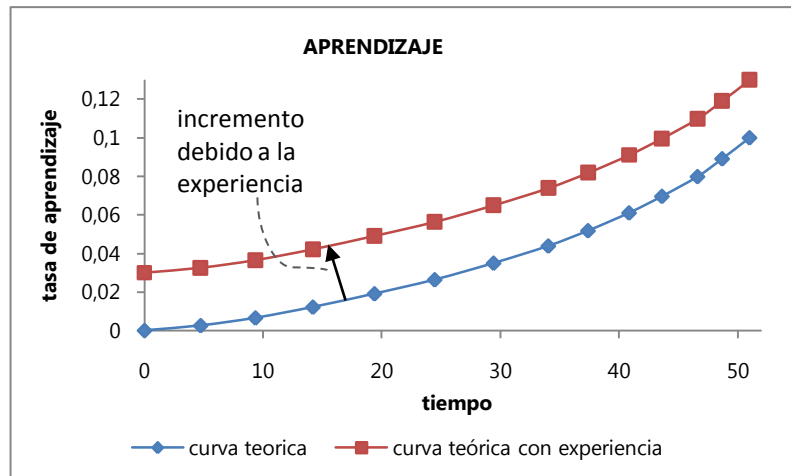
Figura 7. Diagrama Forrester de la representación del conocimiento adquirido

Por otra parte, la ejecución regular de las funciones de los operarios de una firma genera aprendizaje, y se representa mediante la curva teórica de aprendizaje (*curva de aprendizaje<sub>sector</sub>*). Esta curva es una función creciente dependiente del tiempo. (Ver gráfica de azul en Gráfica 4).

Las curvas de aprendizaje representan la experiencia acumulada por los empleados de las firmas gracias a la realización de las actividades diarias y la acumulación de experiencia a lo largo del tiempo, con el fin de establecer los impactos de esta experiencia en la disminución del tiempo y los costos de producción, así como la mejora de las prácticas organizacionales (Huber, George, 1991).

Se asume que esta tasa de aprendizaje teórica no supera el 10%, es decir, el del aprendizaje de los empleados dentro de las firmas de cada sector no crece más del 10%, pues para un incremento mayor se requiere un mayor entrenamiento y tiempo de acople del conocimiento.

Este aprendizaje teórico se incrementa con experiencia generada, según la teoría de aprendizaje por práctica (Ver Sección 2.1.2), por el nuevo capital adquirido y el incremento de la tecnología gracias a capacidad de inversión (Arrow, Kenneth, 1962; Sala-I-Martin, Xavier, 1999), cómo se ilustra en el diagrama causal (Ver R5 en Figura 6). Así, la tasa de aprendizaje es una función teórica dependiente del tiempo incrementado por la experiencia (Ver gráfica de roja en Gráfica 4)



Gráfica 4. Curva teórica de aprendizaje y cambios debido a la experiencia

#### 4.5.2. Conocimiento compartido

En la Figura 8 se ilustra la formación de conocimiento compartido entre las firmas debido a las ventajas que genera la formación de aglomeraciones económicas en los spillovers de conocimiento y los impactos positivos en la atracción del cluster. Como se explicó en la Sección 2.1.2, el conocimiento compartido es aquel obtenido por la conectividad entre firmas y se da mediante procesos de aprendizaje interorganizacional que depende de los procesos de interacción e imitación (Audretsch, David, 1995) (Dangelico, Rosa Maria et al., 2008):

- *Tasa de crecimiento del conocimiento por imitación<sub>sector</sub>*: Representa el porcentaje de conocimiento obtenido por mecanismos de cooperación informal y la interacción involuntaria entre firmas pertenecientes al cluster industrial
- *Tasa de crecimiento del conocimiento por interacción<sub>sector</sub>*: Representa el porcentaje de conocimiento obtenido gracias al intercambio de información entre distintas firmas de forma voluntaria con el fin de incrementar la eficiencia de la cadena productiva.

Estas tasas varían con la intensidad de conexiones entre las firmas que componen el cluster. Para evaluar los efectos de estas interacciones se estudian tres escenarios definidos por los tipos de clusters industriales: geográfico puro, organizacional o cognitivo, que se analizarán con detalle en la Sección 7.2 (Dangelico, Rosa Maria et al., 2008).

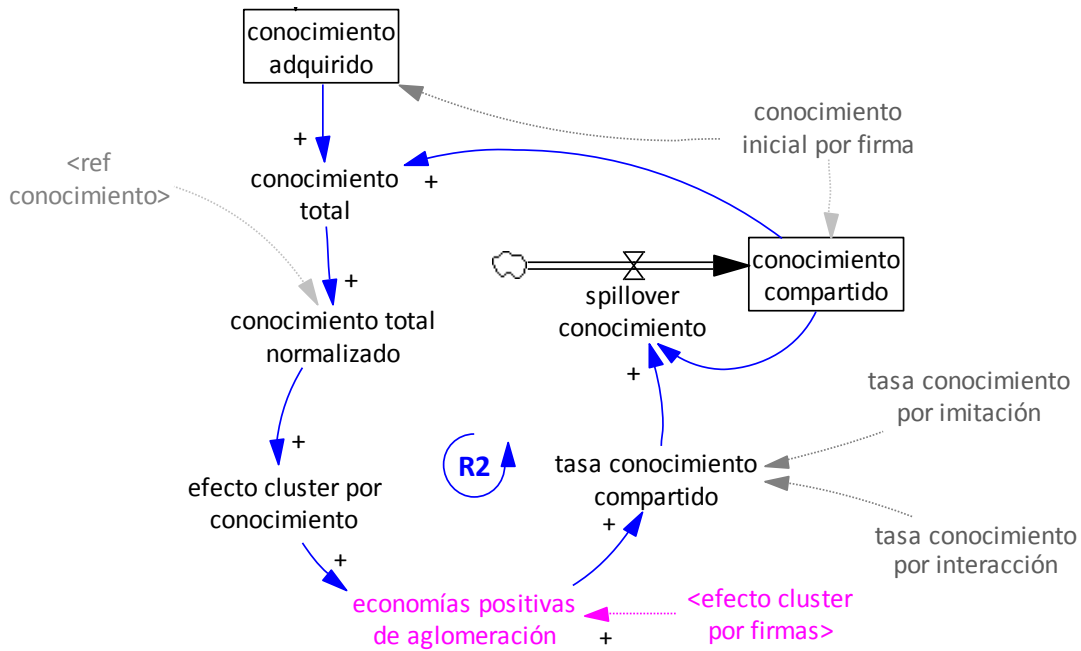


Figura 8. Diagrama Forrester de la representación del conocimiento compartido

El *conocimiento compartido*<sub>sector</sub> incrementa *conocimiento total*<sub>sector</sub>. Un aumento del conocimiento total dentro del sector genera un mayor efecto en las economías positivas de aglomeración y debido al nivel de conocimiento impactan la atracción en la formación de aglomeraciones económicas. Este efecto se aprecia en la Gráfica 1.

#### 4.6. Módulo de impactos en el crecimiento económico

En este módulo se analizan los impactos de las economías de aglomeración en el progreso tecnológico y el aumento de la productividad y el aumento de la producción total de la economía (Sala-I-Martin, Xavier, 1999). Se parten de las siguientes relaciones causales (Ver Figura 9):

- **Refuerzo 3 (R3):** El conocimiento total del sector, obtenido el módulo de formación y transferencia de conocimiento (sección 4.5), favorece el incremento de la innovación dentro del sector económico, también beneficiada por la inversión en investigación y desarrollo, que se asume exógena. Con el tiempo, la innovación se traduce en progreso tecnológico el cual facilita los procesos productivos e incrementa la productividad. La productividad incrementa la capacidad productiva y la rentabilidad del cluster industrial favoreciendo las economías de aglomeración (Ciclo de refuerzo R5, analizado en la sección 4.5).

- **Refuerzo 4 (R4):** La productividad aumenta la capacidad de producción de las firmas aumentando así sus ingresos. Esto favorece la atraktividad del cluster y las economías de aglomeración porque disminuye los costos. Un incremento de los costos significa un uso más ineficiente de los factores de producción, generando un decrecimiento de la productividad.

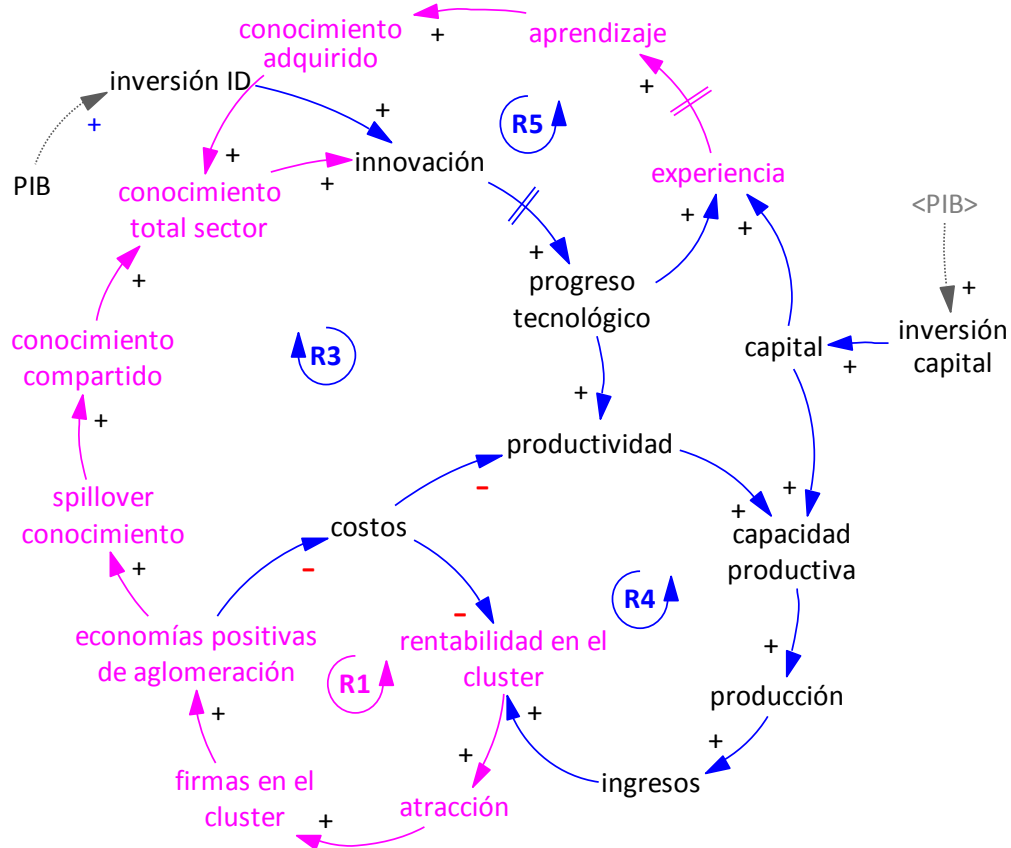
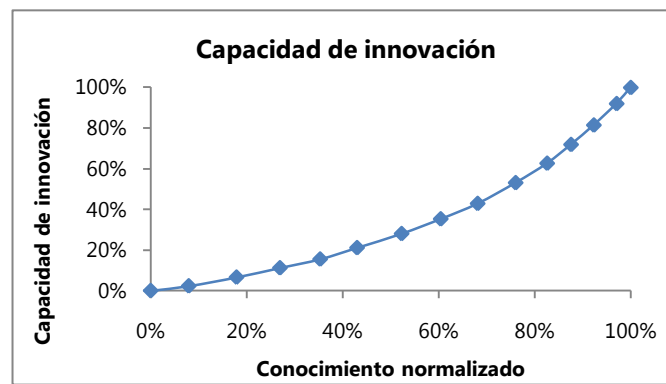


Figura 9. Diagrama causal de los impactos de las economías de aglomeración en el crecimiento económico

Para analizar las interacciones entre el aumento de tecnología, sus beneficios en la productividad, la capacidad productiva y los ingresos, se proponen dos niveles que acumulan, en valores monetarios, mejora tecnológica efectiva en el sector ( $tecnología_{sector}$  en la Figura 10) y el valor monetario del capital (maquinaria, equipo, mano de obra) disponible para la ejecución de las actividades ( $capital_{sector}$  en la Figura 12). Estos dos niveles dependen de la capacidad del sector de invertir.

#### 4.6.1. Tecnología

Cómo se aprecia en el ciclo de refuerzo R3 de la Figura 9, el conocimiento total favorece la formación de innovaciones tecnológicas y por lo tanto incrementa la capacidad de las firmas de hacer mejoras tecnológicas efectivas con el dinero invertido disponible, incrementando así la *Tasa de incremento de tecnología*<sub>sector</sub>, así como lo plantea el diagrama de Forrester de la Figura 10. Estos efectos requieren un tiempo de asimilación del conocimiento y de generación de la innovación, y se representan por medio de la *capacidad de innovación*<sub>sector</sub> que depende del conocimiento total y se representa mediante la forma exponencial de la función de conocimiento propuesta en la ecuación (2) de la sección 2.1.3 (Ver Gráfica 5) (Fritsch, Michael, 2002).



Gráfica 5. Función de capacidad de innovación.

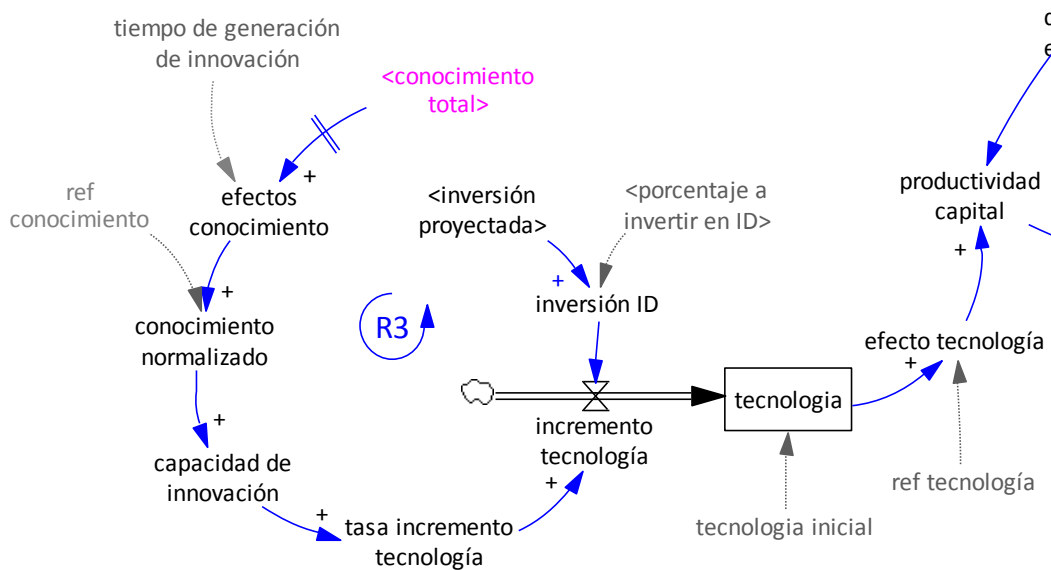
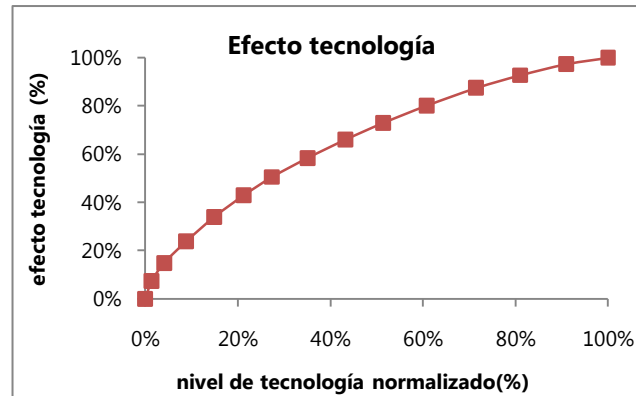


Figura 10. Forrester de acumulación de la tecnología

La  $tecnología_{sector}$  es el dinero invertido en I+D acumulado y traducido mejoras tecnológicas efectivas (Ver Figura 10) . A mayor nivel de  $tecnología_{sector}$ , hay un mayor porcentaje de incremento de la productividad del capital (Ver Gráfica 6).



Gráfica 6. Función del efecto de la tecnología en los costos

A continuación se estudian los impactos de esta reducción de costos en la productividad y la capacidad de las firmas de cubrir la demanda generada.

#### 4.6.2. Impactos en la productividad

La productividad, definida como el número de unidades producidas con una unidad monetaria de capital disponible (Sala-I-Martin, Xavier, 1999), es un factor clave en el análisis del uso eficiente de los factores de producción.

El cambio tecnológico permite optimizar recursos mediante la adquisición y aplicación de conocimiento. Se incrementa así el número de unidades producidas con la misma cantidad de capital. En términos monetarios esto implica producir más con la misma cantidad de dinero disponible (Villamil, Jesus Alberto, 2003).

La demanda y la inversión son componentes de la producción total para cada sector económico, por lo tanto, pueden calcularse como un porcentaje del PIB proyectado, cómo se aprecia en los parámetros *porcentaje participación inversión en PIB<sub>sector</sub>* y *porcentaje de participación de demanda en PIB<sub>sector</sub>* en la Figura 11 . Se obtiene así la *demanda proyectada<sub>sector</sub>* y la *inversión proyectada<sub>sector</sub>*.

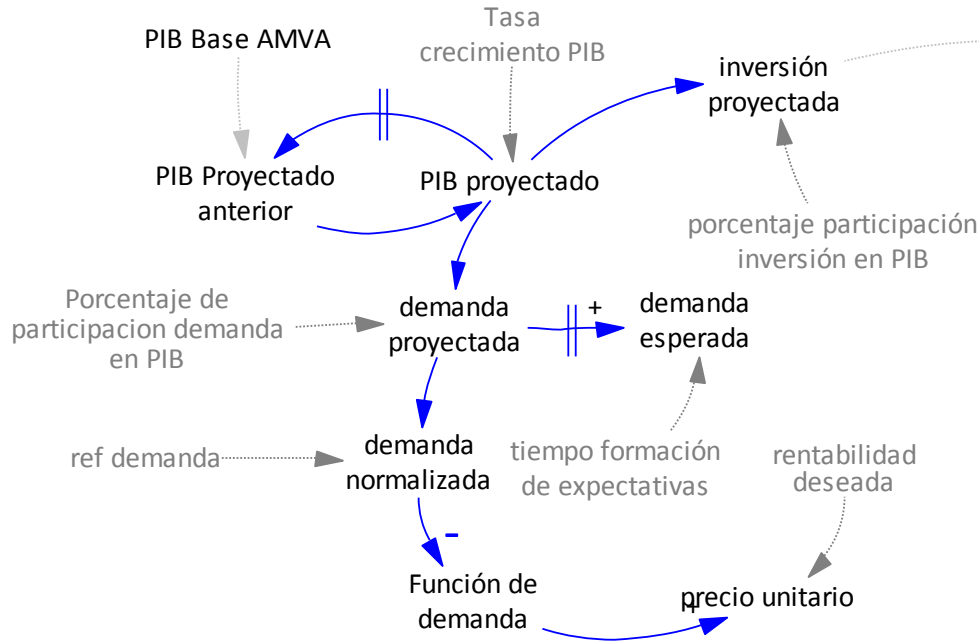


Figura 11. Diagrama forrester de la estimación de la demanda y el capital de trabajo inicial

En función de la demanda se determina el *precio unitario*<sub>sector</sub> y por lo tanto la *producción deseada*<sub>sector</sub> y el nivel de *ingresos*<sub>sector</sub> en función de la *capacidad productiva*<sub>sector</sub>, determinada por el capital disponible para efectuar las actividades de producción y distribución, y la eficiencia en estos procesos debido al aumento de la productividad.

Así, a continuación se explica los efectos de la acumulación de capital y el aumento de la productividad en la capacidad productiva de los sectores económicos, variables claves para el análisis de impactos de la formación de clusters industriales en el crecimiento económico.

#### 4.6.3. Capacidad productiva y formación de capital

En la Figura 12 se ilustra la formación de capital y los efectos en la capacidad productiva y los ingresos. El capital existente utilizado para la producción de bienes y servicios es acumulado mediante el nivel *capital*<sub>sector</sub>, que representa el valor monetario de la maquinaria, equipo y mano de obra disponible para la producción. Depende de los flujos de *adquisición de capital*<sub>sector</sub> y *depreciación de capital*<sub>sector</sub>

La *adquisición de capital*<sub>sector</sub> es el dinero invertido en capital, en función de la *inversión proyectada*<sub>sector</sub> y *porcentaje de inversión en capital*<sub>sector</sub>. La *tasa de depreciación*<sub>sector</sub>

determina la tasa de salida del *capital<sub>sector</sub>* debido al deterioro físico que el capital experimenta con la edad, disminuyendo su eficiencia y por lo tanto reduciendo su valor monetario. (Pombo, Carlos, 1999).

Así, la *capacidad productiva<sub>sector</sub>*, que representa el número de unidades producidas dentro del sector económico, depende del valor de la maquinaria disponible para producir, representado por el capital acumulado en cada periodo, y de la *productividad<sub>sector</sub>*, es decir, el número de unidades producidas por unidad monetaria de capital disponible, que depende del comportamiento exógeno de la demanda y la mejora de la eficiencia de los procesos productivos gracias al progreso tecnológico.

A partir de la *capacidad productiva<sub>sector</sub>* se determina la capacidad de las firmas de cubrir la *demanda esperada<sub>sector</sub>* (en unidades es la *producción deseada<sub>sector</sub>*) generada por el aumento de la demanda, y, a partir del *precio unitario<sub>sector</sub>* se determina el nivel de *ingresos totales<sub>sector</sub>* y *costos totales<sub>sector</sub>* que alimentan el módulo de formación de aglomeraciones económicas mediante la formación de la rentabilidad dentro y fuera del cluster (Ver Figura 4 de la sección 4.4)

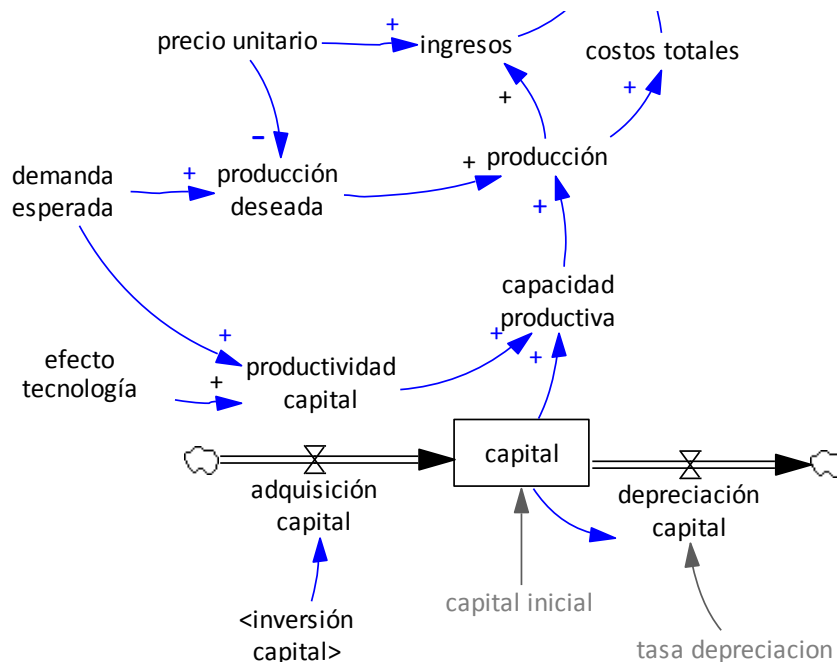


Figura 12. Forrester formación de capital.

En conclusión, la medición de impactos de la formación de clusters industriales y la generación de conocimiento y progreso tecnológico requiere la introducción de variables económicas como la



inversión y los ingresos, pues se incrementa la capacidad de producción y la productividad de los sectores económicos.

A continuación se explica la aplicación de este modelo en el Valle de Aburrá. La aplicación considera las características económicas y territoriales específicas de la región así como sus patrones de aglomeración industrial los cuales podrían originar clusters. El análisis que se presenta permite estimar los impactos de la formación de aglomeraciones económicas en la productividad industrial y la capacidad de las firmas de competir en mercados externos.

#### **4.7. Síntesis**

El capítulo anterior presentó la propuesta metodológica, mediante el uso de dinámica de sistemas, para el estudio de la formación de clusters industriales y sus beneficios en la generación de economías de escala y el incremento de la eficiencia productiva de los sectores económicos.

Este modelo puede ser aplicado para cualquier región y cualquier sector económico. En esta tesis se aplica el modelo general propuesto en este capítulo para el Valle de Aburrá, con el fin de determinar si las políticas de las entidades públicas, enfocadas en el fomento de los clusters industriales, beneficia el desarrollo económico de la región e incrementa la competitividad a nivel global. Para ello se identifican los sectores económicos claves del Valle de Aburrá que tienen más intensidad económica y pueden generar efectos positivos si se aglomeran.

En las secciones siguientes se explica el caso de aplicación del Valle de Aburrá (Capítulo 5) y se valida el comportamiento y la estructura del modelo general, para determinar su robustez (Capítulo 6). Posteriormente, se analizan los resultados para el caso de Aplicación (Capítulo 7).

## 5. Caso de aplicación: Valle de Aburrá

En esta sección se caracteriza la situación económica y de innovación y conocimiento en el Valle de Aburrá, para definir los parámetros de entrada al modelo de dinámica de sistemas en las secciones anteriores. El consolidado de los parámetros de entrada se encuentra en el anexo A.3.

El primer paso para aplicar el modelo al Valle de Aburrá analizar el estado actual de la actividad industrial de la región y los sectores económicos claves para el desarrollo económico de la región se analizan datos macroeconómicos como la matriz insumo producto desarrollada en el marco del Proyecto de Investigación “*Modelo de Apoyo a la toma de decisiones en planificación y ordenamiento territorial para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá*” (Universidad Nacional de Colombia, 2009). Esta matriz también se utiliza para identificar las interrelaciones entre sectores y para relacionarla con los patrones de aglomeración observados. El objetivo de este análisis es entender cómo cambian las aglomeraciones en el tiempo. Se utiliza además otra información proveniente del proyecto de investigación para diagnosticar los procesos de aglomeración económica y de desarrollo económico en la región.

### 5.1. Características del Valle de Aburrá

El Valle de Aburrá es la región principal del municipio de Antioquia. Contiene 1.152 Km<sup>2</sup> de los cuales 340Km<sup>2</sup> son área urbana y 812Km<sup>2</sup> son área rural. A esta región pertenecen 10 municipios: Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Medellín (capital del departamento de Antioquia), Envigado, Itagüí, Sabaneta, La Estrella y Caldas. Según los resultados del censo general de población realizados por el DANE (DANE, 2009), la población total de la región es de 3.306.490 habitantes, que conforman 893.407 hogares, 140.646 unidades económicas y 26.889 unidades agrícolas. La población total del Valle de Aburrá representa el 59,4% del total departamento (ACI y Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2006; Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007).

Desde el punto de vista económico, el Valle de Aburrá posee una participación del 70% del PIB departamental y el 15.43% del PIB nacional, siendo la región más importante para impulsar la economía del departamento. Los sectores más representativos son las actividades financieras, comerciales e industriales: “*La generación de valor agregado se genera en los sectores financiero (28.4% de participación) e industrial (25% de participación)*” (ACI y Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2006; Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007).

El crecimiento físico acelerado del Valle de Aburrá ha producido la desaparición de fronteras físicas entre los 10 municipios. Como resultado de este fenómeno los municipios deben tomar decisiones conjuntas en lo que concierne al uso eficiente de los recursos que conlleve a un desarrollo físico y económico sostenible. Estas decisiones conjuntas con coordinadas desde el AREA Metropolitana del Valle de Aburrá.

Cómo se analizó en el capítulo 3, esta región solía ser el centro económico del departamento de Antioquia , sin embargo, en los últimos años algunas actividades económicas se han desplazado a otras regiones el occidente y el oriente cercano debido a la difícil conexión de la región con el resto del país y el encarecimiento del suelo urbano, disminuyendo la intensidad productiva y afectando la generación de empleo y la calidad de vida de los habitantes del área (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007).

Debido a esta problemática, el AREA Metropolitana del Valle de Aburrá, como entidad integradora, busca conservar la presencia de actividades económicas en la región, mediante la revitalización del sector industrial y la búsqueda de explotación de externalidades de red mediante el fomento de aglomeraciones económicas (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007).

A continuación se explican los patrones de formación de estas aglomeraciones económicas y se muestra en detalle la configuración económica de la región; para identificar los sectores económicos claves a investigar en este caso de aplicación. A partir de estos patrones se definen los parámetros de entrada al modelo, que se ilustran resumidos en el anexo A.3

## 5.2. Definición de clusters industriales en el Valle de Aburrá

En esta sección se analiza dónde se localizan los sectores económicos estratégicos y las industrias en el Valle de Aburrá, con el fin de determinar si actualmente hay aglomeraciones económicas o si hay condiciones para que existan estas aglomeraciones. Además, se analizan los factores que atraen la ubicación de las firmas en las aglomeraciones, como infraestructura vial, disponibilidad de servicios públicos, entre otros. Finalmente se describen los parámetros de entrada que caracterizan la población de firmas.

La información de firmas localizadas fue suministrada por el Proyecto de Investigación “*Modelo de Apoyo a la toma de decisiones en planificación y ordenamiento territorial para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá*” (Universidad Nacional de Colombia, 2009). Para identificar las aglomeraciones económicas en mapas se tienen en cuenta los siguientes criterios (Camagni, Roberto, 2005):

- Sectores económicos iguales
- Proximidad geográfica entre puntos que representan las firmas localizadas
- Cambios en la densidad de puntos en la unidad de territorio
- Forma de comunicación con vías principales y secundarias.

Con estos criterios se identifican 261 aglomeraciones industriales de todos los sectores económicos, exceptuando el sector de la construcción y los sectores de servicios sociales, pues los puntos obtenidos corresponden respectivamente a construcciones y otros equipamientos que no siguen patrones claros de aglomeración económica (Universidad Nacional de Colombia, 2009).

A partir de información se identifican los sectores económicos que más tendencia tienen a aglomerarse en el Valle de Aburrá, teniendo en cuenta el número de aglomeraciones económicas identificadas y el número promedio de firmas aglomeradas (Ver Tabla 2), y a partir de estos resultados se definen los sectores económicos a trabajar en el modelo.

Tabla 2. N° aglomeraciones y promedio de empresas por aglomeración para cada sector económico económica (Universidad Nacional de Colombia, 2009)

Sector económico	Cód. sector	N° Agl	N° Promedio Empresas
agricultura, ganadería, caza y actividades de servicios conexas	AGR1	3	2
Elaboración de productos alimenticios y de bebidas, productos de tabaco	ALI3	21	12
Fabricación de productos textiles, prendas de vestir, tejidos, cuero, calzado	TEX4	22	15
Transformación de la madera y fabricación de muebles	MAD5	5	4
Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón, editoriales de impresión, encuadernación	PAP6	7	10
Fabricación de sustancias y productos químicos	QUI7	13	7
Fabricación de productos de caucho y de plástico	PLA8	11	10
Fabricación de otros productos minerales no metálicos	NME9	10	9
Fabricación de productos metalúrgicos básicos, productos elaborados de metal, maquinaria y equipo	MET10	17	10
Fabricación de automotores	AUT11	3	5
Suministro de electricidad, gas y agua	EGA12	4	6
Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores, motocicletas, efectos personales y enseres domésticos	COM14	51	15
Hoteles y restaurantes	HOT15	8	9
Intermediación financiera, actividades inmobiliarias empresariales y de alquiler	FIN17	35	22
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	TRA16	26	8
servicios comunitarios, sociales y personales _ Administración pública	SOC18_AP	25	11
<b>Total general</b>		<b>261</b>	<b>16</b>

Las aglomeraciones de los sectores comercial (COMI4), financiero (FINI7) y de transportes (TRAI6) no se consideran porque estos son sectores que apoyan a todos los demás sectores y su presencia atrae por igual todas las actividades industriales.

En su informe *Medellín en cifras 2005*, la *Alcaldía de Medellín* define un conjunto de sectores que generan clusters avanzados y que pueden generar desarrollo en la región como se apreció en la Sección 3.2. Incluyen así los sectores textil y de alimentos como sectores económicos claves.

En conclusión, los sectores económicos claves en la región, según sus patrones de aglomeración, son Alimentos (ALI3) y textiles (TEX4) y serán los considerados dentro del modelo. Esto se validará con el diagnóstico de la información económica para medir el impacto de estas actividades en el territorio, como se aprecia en la siguiente sección. A continuación se ilustran los parámetros de entrada que caracterizan la población de firmas dentro y fuera del cluster así como la formación de las tasas de natalidad y mortalidad.

### *5.2.1. Parámetros de entrada para la población de firmas*

La población inicial de firmas y la población inicial del cluster, parámetros de entrada a los niveles propuestos en la sección 4.4.2, parten de la información obtenida en el marco del proyecto de investigación (Universidad Nacional de Colombia, 2009)

Los parámetros de entrada a los niveles son:

- **POBLACIÓN INICIAL FIRMAS:** Se calcula a partir de la información de la Superintendencia de Sociedades. La población objetivo está conformada por las organizaciones jurídicas, exceptuando personas naturales, establecimientos de comercio, entre otras. Por ende, la información se constituye por las empresas más representativas del valle de Aburrá (Ver Tabla 3). (Congreso de la República de Colombia, 1995) (Supersociedades, 2007)

Tabla 3. Población inicial de firmas

SECTOR	POBLACIÓN INICIAL FIRMAS
ALIMENTOS	123
TEXTIL	274

• POBLACIÓN INICIAL CLUSTER: A partir de la definición de aglomeraciones de firmas realizadas en el proyecto de investigación se calcula el número promedio de firmas aglomeradas para cada sector económico, como se ilustra en la Tabla 2.

• TASAS DE NATALIDAD Y MORTALIDAD: A partir del número de firmas constituidas y disueltas por sector económico obtenidas a partir de los Anuarios estadísticos de Antioquia para el periodo 2004-2007 (Departamento Administrativo de Planeación de Antioquia, 2004, 2005, 2006, 2007) se determina la proporción de firmas constituidas y disueltas sobre la población total para cada sector económico, cómo se ilustra en las ecuaciones (4) y (5)

$$(4). \quad Tasa\ de\ natalidad_{sector} = \frac{Firmas\ constituidas_{sector}}{Población\ total_{sector}}$$

$$(5). \quad Tasa\ de\ mortalidad_{sector} = \frac{Firmas\ disueltas_{sector}}{Población\ total_{sector}}$$

• PORCENTAJE POTENCIAL DE FIRMAS: De acuerdo con la poca disponibilidad de espacio para localización de nuevas firmas en el territorio, se asume un valor bajo de porcentaje potencial de firmas, pues el cluster tiene mucha facilidad de saturarse y los sectores bajo análisis requieren gran cantidad de espacio. El valor supuesto es 30% para ambos sectores económicos

A continuación se ilustra la información asociada con el conocimiento, el nivel tecnológico y la intensidad de capital.

### 5.3. Información asociada con el nivel de conocimiento y la tecnología

Las variables que cuantifican el nivel del conocimiento y tecnología para los sectores económicos en el Valle de Aburrá está asociado con la intensidad de conocimiento a nivel nacional, pues no hay un sistema consolidado que permita cuantificar estas variables a nivel local.

A continuación se ilustran las fuentes de información de los parámetros de entrada asociados con el nivel de conocimiento y el progreso tecnológico de los sectores económicos estratégicos: Alimentos y Textil.

### 5.3.1. Parámetros que representan el nivel de conocimiento

La Superintendencia de industria y comercio se encarga de contabilizar los registros de propiedad industrial (patentes, modelos de utilidad y registros industriales) de cada sector. Incluye información asociada con el inventor y la descripción técnica que indique las áreas tecnológicas que la invención representa una innovación.

- CONOCIMIENTO INICIAL POR FIRMA: el Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología elabora indicadores para evaluar las actividades de ciencia, tecnología e innovación en el país a partir de la información recolectada por la Superintendencia de Industria y comercio (Observatorio Colombiano de ciencia y Tecnología, 2006). Los indicadores de interés para la construcción del *Conocimiento inicial por firma<sub>sector</sub>* son el número de patentes solicitadas y otorgadas, pues, como se explicó en la Sección 2.1.2, estas permiten medir la intensidad del conocimiento de los sectores y seguir el rastro de la transferencia de conocimiento entre las firmas.

Este indicador es global para toda la economía a nivel nacional; por lo tanto, para estimar del número de patentes solicitadas en los sectores económicos bajo análisis, se aplica el porcentaje de participación del número de firmas para cada sector económico en Antioquia al número de patentes solicitadas y otorgadas totales a nivel nacional. Los resultados obtenidos se aprecian en la Tabla 4

Tabla 4. Numero de patentes solicitadas y concedidas (Observatorio Colombiano de ciencia y Tecnología, 2006)

AÑO	SOLICITUDES		CONCEDIDAS	
	ALIMENTOS	TEXTIL	ALIMENTOS	TEXTIL
2001	11	29	8	21
2002	13	34	8	22
2003	27	71	6	17
2004	32	84	6	17
2005	39	103	6	15
2006	44	117	5	13
promedio	27	73	7	18

Se asume que, al inicio, el *Conocimiento inicial por firma<sub>sector</sub>* se divide por igual entre el conocimiento adquirido dentro de la firma y el conocimiento compartido por los clusters industriales.

- TASAS DE CRECIMIENTO DEL CONOCIMIENTO COMPARTIDO POR IMITACIÓN E INTERACCIÓN: Las tasas de conocimiento compartido dependen de la interacción entre las firmas que componen el cluster industrial, teniendo en cuenta los factores de proximidad organizacional y cognitiva entre estas firmas. Según (Dangelico, Rosa Maria et al., 2008) la proximidad favorece el conocimiento compartido por interacción, por ejemplo, a través de programas de investigación y desarrollo conjuntos entre firmas localizadas dentro del cluster. El conocimiento compartido por imitación se ve favorecido por la proximidad cognitiva, es decir, la capacidad que tienen los agentes de aprender de otros agentes por diversos mecanismos (ingeniería inversa, espionaje, intercambio de información, movilidad entre trabajadores, entre otros)

Así, estas tasas son fundamentales para caracterizar los tipos de interrelación entre los agentes del cluster; fundamentales para evaluar la dirección de las políticas de fomento de las aglomeraciones económicas. Para ello, en la sección 7.2, se definen tres tipos de cluster a evaluar mediante escenarios de cambio de estos parámetros.

- COSTO UNITARIO DE EXPERIENCIA: Se asume para ambos sectores económicos con valores de 1.000.000 millones \$ para el sector alimentos y 2.000.000 millones \$ para el sector textil.

### 5.3.2. *Parámetros que representan la intensidad tecnológica*

- TECNOLOGÍA INICIAL: El nivel tecnológico de los sectores económicos se calcula como el monto invertido por los sectores industriales en innovación tecnológica (DANE, 2008; Observatorio Colombiano de ciencia y Tecnología, 2006).

Tabla 5. Nivel tecnológico inicial.

2004 Millones\$	Participación inversión inicial Antioquia	Participación inversión inicial Valle de Aburra
SECTOR ECONÓMICO	16.50%	67%
ALIMENTOS	2,863	1,918
TEXTIL	2,562	1,716

Esta información se calibra para el Valle de Aburrá, teniendo en cuenta el porcentaje de participación de la inversión en I+D para el departamento de Antioquia para el año 2004 es del 16.5%, y el Valle de Aburrá posee un 67% aproximadamente de este valor (DANE, Departamento Nacional de Planeación y Instituto Colombiano para el desarrollo de ciencia y tecnología, 2005) (ACI y Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2006).



- PORCENTAJE A INVERTIR EN I+D: El porcentaje de dinero invertido en investigación y desarrollo es un indicador del nivel de intensidad tecnológica de los sectores económicos. Se convierte así en una variable a cambiar con escenarios, en función del porcentaje de gasto deseado por las firmas para generar más tecnología.

Sin embargo, se toma como base el indicador de intensidad tecnológica obtenido por el DANE, en sus indicadores de competitividad, para el departamento de Antioquia, con un valor promedio para todos los sectores con actividades medias de conocimiento, entre los que se incluye el sector alimenticio y textil, cómo se aprecia en la ecuación (6).

$$(6). \quad \text{Nivel de intensidad tecnológica} = \frac{\text{Gasto en tecnología}}{\text{Producción bruta}} = 1.455\%$$

### 5.3.3. *Parámetros que representan la intensidad de capital.*

- CAPITAL INICIAL: El sector textil presenta, para los periodos 1991-2000, según estudio banco república, las tasas más bajas de crecimiento de capital (-0.87% a nivel nacional)(Iregui, Ana Maria et al., 2006)

Tasa crecimiento a nivel nacional		Promedio 1991-2000		
SECTOR	Sector CIU	Valor agregado(VA)	Capital (K)	Trabajo (L)
ALIMENTOS	311	4.07	2.95	3.41
	312	0.88	5.13	5.85
	313	-0.9	5.94	0.13
TEXTIL	321	-3.64	-3.17	0.93
	322	5.22	2.5	3.46
	324	-7.64	-2.88	-4.43

El sector textil presenta crecimiento promedio negativo de capital y trabajo. Así, el sector alimenticio es más intensivo en capital. De este parámetro no hay información suficiente, por lo tanto se asumen valores teniendo en cuenta el grado de intensidad del capital de los sectores económicos (20.000 millones para el sector alimentos, 10.000 millones para el sector textil)

- PORCENTAJE DE INVERSIÓN EN CAPITAL: Se asume como el 60% para ambos sectores económicos
- TASA DE DEPRECIACIÓN: Se parte del trabajo realizado por (Pombo, Carlos, 1999), que establece que, la tasa de depreciación económica tiene una relación dual con la eficiencia del equipo

de capital, pues presenta los patrones de la tasa de deterioro físico que el capital experimenta con la edad. Por lo tanto, explica la tasa de depreciación como una función geométrica decreciente de la vida útil, el valor del salvamento y los precios de usados de activos fijos. Obtiene así las tasas de depreciación para cada sector económico a nivel nacional, que se aprecian en la Tabla 6. Obtiene en promedio una depreciación del 5% para maquinaria y del 2% para construcciones no residenciales.

Tabla 6. Tasa de depreciación de capital

Sector	Subsectores CIU	Maquinaria	construcción	eq transporte	eq oficina	tasa de depreciación promedio	Máx. agregado
ALIMENTOS	311	12.1%	4.5%	20%	13.9%	0.12625	0.181
	312	15.3%	5.8%	19.9%	14.7%	0.13925	
	313	16.3%	8.4%	29.6%	18.1%	0.181	
TEXTIL	321	11.8%	3.8%	19.7%	13.9%	0.123	0.123
	322	9.8%	2.6%	14.8%	11.6%	0.097	
	324	11.7%	3.7%	14.2%	14.6%	0.1105	

A continuación se estudia el comportamiento de las principales variables macroeconómicas en el Valle de Aburrá, y la forma del cálculo de los parámetros de entrada de este tipo de variables.

#### 5.4. Análisis de información económica

En esta sección se estudia el estado económico y financiero actual de los sectores económicos estratégicos: alimentos y textiles; con el fin de validar, de acuerdo a su participación en la economía de la región metropolitana, si realmente son estratégicos teniendo en cuenta las siguientes variables macroeconómicas. Además, se definen los parámetros de entrada de determinan el comportamiento económico de estos sectores.

- PIB y VALOR AGREGADO: los sectores económicos más representativos para el Valle de Aburrá, de acuerdo con % en participación en valor agregado del Valle de Aburrá son:

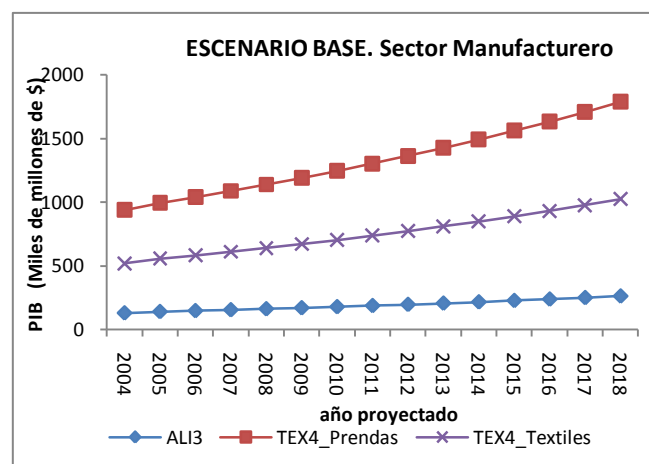
Tabla 7. Valor Agregado de Sectores Económicos

Actividades económicas	Valor agregado (millones de pesos)	% Participación en Antioquia
Estab. financieros, seguros, inmuebles y otros	2,291,503	97.47
Electricidad, gas, agua y alcantarillado	427,665	91.20
Industria	2,018,822	77.27
Construcción	433,321	76.00

FUENTE: Departamento Administrativo de Planeación de Antioquia, 2005 (Departamento Administrativo de Planeación de Antioquia, 2005)

Así, en la Tabla 7 se puede apreciar que el sector económico del Valle de Aburrá que más aporta al valor agregado de Antioquia es el sector servicios con una participación del 97%. Esto coincide con el comportamiento que ha tenido el valor agregado (en millones \$) de este sector desde 1996 hasta el 2005. La actividad industrial, a la que pertenecen los sectores de alimentos y textiles ocupan el segundo lugar en el Valor agregado, sin embargo no tienen una participación tan significativa en Antioquia.

Las proyecciones del PIB de ECSIM para el Valle de Aburrá en un escenario base (ECSIM, 2004b), muestran un crecimiento del sector textil muy superior a los demás sectores en el tiempo, sin embargo, el sector alimenticio permanece por debajo de otros sectores como el metalmeccánico.



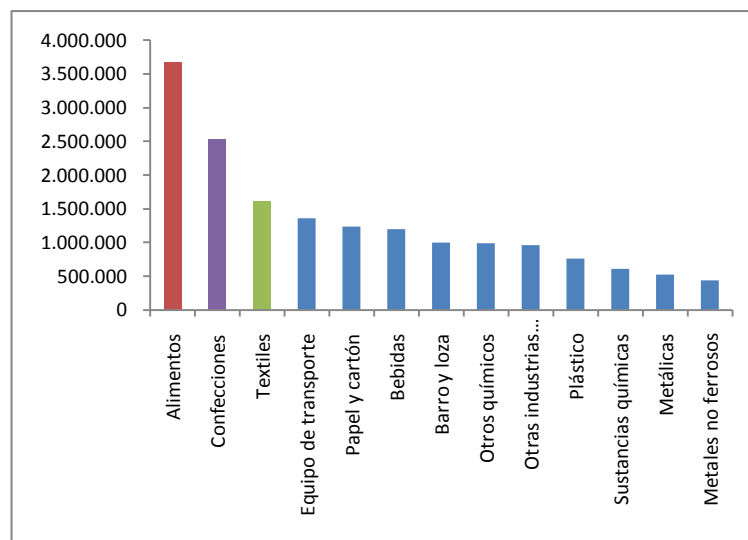
Gráfica 7. Proyecciones PIB de ECSIM (ECSIM, 2004b)

- **ACTIVIDAD MANUFACTURERA:** De acuerdo con la Encuesta Anual Manufacturera del DANE, Las variables más importantes para el análisis de la producción y estructura de la industria son el consumo intermedio y la producción bruta.

La producción bruta mide el valor total de los productos, incluyendo los ingresos por subcontratación industrial, el valor de la energía eléctrica, valor de las existencias de productos en proceso al principio del año (DANE, 2006).

El consumo intermedio mide el valor de los bienes y servicios (sin incluir los bienes de capital fijo) que se consumen para la producción de otros bienes, permitiendo estimar intensidad de la relación entre sectores económicos y que se verá reflejada en la matriz insumo producto para el Valle de Aburrá.

Como se puede apreciar en la Gráfica 8, los sectores más representativos en los niveles de producción en Antioquia son los de Alimentos, confecciones y textiles.



Gráfica 8. Comportamiento Producción Bruta por sector económico (Departamento Administrativo de Planeación de Antioquia, 2005)

En conclusión, los sectores económicos de Alimentos y Textiles son importantes para el desarrollo del Valle de Aburrá, debido a sus importantes participaciones en la producción total de la región y la generación de valor agregado, y pueden considerarse como sectores claves para la economía de la región. Además, siguen patrones de aglomeración más intensos que los demás sectores económicos secundarios. A continuación se ilustran los parámetros macroeconómicos que entran al modelo de dinámica de sistemas.

#### 5.4.1. *Parámetros de entrada al modelo: Proyecciones de crecimiento económico*

Para proyectar el crecimiento total de la economía se desagrega el PIB total de Antioquia para cada sector económico bajo estudio. Se parte de los valores históricos a precios corrientes y sus respectivas tasas de crecimiento a precios constantes con base 2000, la misma utilizada para los cálculos de la matriz de contabilidad social. En la Tabla 8 se aprecia el valor inicial del PIB para Antioquia y los porcentajes de participación por sector económico y para el Valle de Aburrá, permitiéndonos calcular el PIB base para cada sector económico en el Valle de Aburrá (DANE, 2009).

Este valor inicial se proyecta en el tiempo a una tasa constante de crecimiento, con la estructura del Forrester propuesta en la Figura II, a partir del crecimiento tendencial apreciado en el análisis de la serie histórica y validándose con el comportamiento del crecimiento económico a nivel nacional.

Esta información es agregada para Antioquia, pero puede utilizarse para el Valle de Aburrá, pues esta región posee la gran mayoría de producción de la región y representa el 67% del valor agregado de las actividades económicas. (ACI y Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2006)

Tabla 8. Valores de parámetros macroeconómicos

VARIABLE	FUENTE	Valor
PIB Antioquia (millones \$ corrientes para 2005)	DANE. Cuentas departamentales. año 2005	\$ 48,236,100
% Participación sector en el PIB Antioquia	DANE. Cuentas departamentales. Año 2005	ALI = 4.48% TEX = 1.72%
Participación AMVA en PIB Antioquia.	Constante para todos los sectores (67%) (ACI y Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2006)	67%
Tasa crecimiento PIB. Escenario Tendencial	Escenarios propuestos por ECSIM. (ECSIM, 2004b).	5.05%
Rentabilidad esperada	Valor supuesto. Se asume bajo para no incluir sus efectos en el aumento de los ingresos.	30%

A continuación, se validan estos patrones de aglomeración y se ilustra la información utilizada del análisis de las interrelaciones productivas suministrado por la matriz de contabilidad social, realizada en el marco del proyecto de investigación (Universidad Nacional de Colombia, 2009).

### 5.5. Matriz de Contabilidad social

El modelo de insumo producto de Leontief representa la economía de una región en términos de flujos de compra y venta de bienes y servicios de cada sector económico con respecto a los otros sectores. Este modelo permite cuantificar el impacto del cambio de la demanda final de un sector en la producción final de los demás sectores económicos (Camagni, Roberto, 2005; Cordi, Angela, 1999; Rodríguez, María Jose, 2000).

La universidad de los Andes, dentro del marco del proyecto de investigación “Modelo de Apoyo a la toma de decisiones en planificación y ordenamiento territorial para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá” (Universidad Nacional de Colombia, 2009), realizó la matriz de contabilidad social para el Valle de Aburrá, con información base del 2005.

Los resultados de este estudio se analizaron para validar la importancia de los sectores seleccionados: alimentos, textil en la economía. También se analizaron algunas variables para ajustar el modelo.

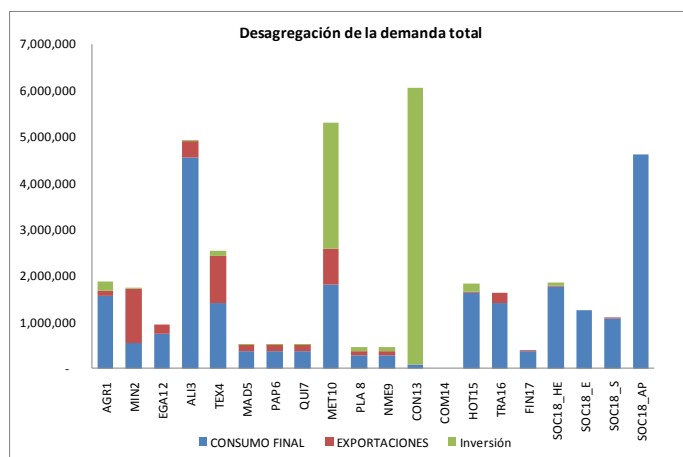
- DEMANDA AGREGADA: Las variables extraídas de la matriz son la demanda total por producto y la oferta total por producto. (Universidad Nacional de Colombia, 2009) Estas miden el valor bruto de la producción en términos monetarios. La oferta por sector económico se iguala con la demanda y representa la demanda total de los productos provenientes de diferentes usuarios de la economía. La demanda se divide en *consumos intermedios*, *consumos finales*, *exportaciones* y *formación bruta de capital*. La demanda agregada, descompuesta en consumo final, formación bruta de capital fijo (FBKF) y exportaciones se ilustra en Gráfica 9.

El sector de alimentos (ALI3) es uno de los sectores con mayor demanda en el Valle de Aburrá, en mayor proporción en consumo final. El sector textil (TEX4) no posee un valor de demanda agregada muy alto, sin embargo es uno de los sectores económicos que posee mayor componente de exportación (Ver Gráfica 9).

- CONSUMOS INTERMEDIOS Y PRODUCCIÓN: El consumo intermedio en la matriz de contabilidad social representa, para cada una de las actividades, cuánto consumieron los sectores económicos en los bienes finales para la producción de sus bienes. Este consumo muestra los encadenamientos de sectores económicos. Por filas representa cuando vendió cada sector económico en los demás y por columnas representa cuanto gastó cada sector económico en los demás.

Así, se extrae el porcentaje de participación de cada cuenta sobre el total por gastos por sector económico, y posteriormente se toman las interrelaciones que tengan un porcentaje mayor del 10%, validando los encadenamientos teóricos de la Tabla 9 definidos por las cadenas productivas teóricas de la Dirección Nacional de Planeación (Dirección Nacional de Planeación, 2004).

Teniendo en cuenta la validación de la importancia de los sectores económicos de alimentos (ALI3) y textiles (TEX4) en la conformación de aglomeraciones económicas y en el desarrollo del Valle de Aburrá, se definen a continuación los parámetros de entrada al modelo general propuesto en la sección 4.



Gráfica 9. Demanda agregada por sector económico obtenida de la SAM (Universidad Nacional de Colombia, 2009)

Tabla 9. Validación SAM Consumo intermedio desde el punto de vista de los gastos

Sector fila: Sector que compra	Sectores Columna: Sector que vende
Agropecuario, silvicultura y pesca	Agropecuario, silvicultura y pesca
	Alimentos, bebidas y productos de tabaco
	Papel, madera y químicos
Alimentos, bebidas y productos de tabaco	Agropecuario, silvicultura y pesca
	Alimentos, bebidas y productos de tabaco
	Papel, madera y químicos
	Metalmecánica, maquinaria y equipo
	Caucho, plásticos, vidrios, muebles y desperdicios
Textiles y cuero	Textiles y cuero
	Papel, madera y químicos
Hoteles, restaurantes y recreación, servicios de reparación	Alimentos, bebidas y productos de tabaco
	Metalmecánica, maquinaria y equipo

### 5.5.1. Parámetros de entrada al modelo: Tasa de participación de la demanda y la inversión

La demanda y la inversión con componentes de la producción total para cada sector económico, por lo tanto, pueden calcularse como un porcentaje del PIB proyectado a partir de la estimación de las participaciones de las componentes en el PIB total de cada sector con la matriz de contabilidad social.

Así, la demanda total está compuesta por la oferta total por producto, que surge de la matriz de contabilidad social para cada sector económico construida para el Valle de Aburrá (Universidad

Nacional de Colombia, 2009). Como la matriz es balanceada, esta oferta por sector económico se iguala con la demanda y representa la demanda total de los productos provenientes de diferentes usuarios de la economía. Se divide en *consumos intermedios, consumos finales, exportaciones y formación bruta de capital*,

La demanda agregada se descompone en consumo final, formación bruta de capital fijo (FBKF) y exportaciones. Se calcula así el porcentaje de participación de cada una de estas componentes en la demanda final de cada sector económico, es decir el PIB total de cada sector económico, como se aprecia en la Tabla 10

Tabla 10. Porcentaje de participación de la demanda y la inversión en el PIB

SECTOR	Demanda	FBKF	% PARTICIPACIÓN CONSUMO FINAL	% PARTICIPACIÓN FBKF
ALIMENTOS	6,487,254	33,612	91.21%	0.63%
TEXTIL	3,792,443	111,995	79.57%	3.66%

COSTO UNITARIO De acuerdo con el comportamiento de la demanda, se asume que el costo unitario del producto no supera los 10.000 \$ (0.01 millones \$) para el sector de alimentos y de 15.000 (0.015 millones\$) para el sector textil.





## 6. VALIDACIÓN

La validación es un proceso de construcción de confianza en el modelo, de tal manera que este genere el aprendizaje y el entendimiento suficiente del sistema real bajo estudio y contribuya a la toma de decisiones y la formulación de políticas. En la validación se consideran el propósito y limitaciones del modelo, así como su utilidad en la implementación de políticas (Sterman, John D., 2000) (Forrester, Jay y Senge, Peter, 1980) (Barlas, Yaman, 1996)

En este capítulo se explican las pruebas realizadas al modelo de dinámica de sistemas propuesto en el capítulo 4 encaminadas a construir esta confianza, teniendo en cuenta que este modelo de simulación pretende analizar el comportamiento de la formación clusters industriales, sus efectos en la generación de externalidades de red y los impactos que esta configuración tiene en el crecimiento económico y la competitividad del Valle de Aburrá.

La validación de los modelos de dinámica de sistemas incluye una serie de procesos que evalúan si la estructura y formulación de las relaciones causales representa adecuadamente el sistema real. Otros procesos de validación se concentran en establecer si el comportamiento obtenido en el modelo reproduce adecuadamente el comportamiento real del sistema (Barlas, Yaman, 1996). Debido a la falta de disponibilidad de datos reales y de modelos de simulación similares, no es posible validar el comportamiento del sistema mediante metodologías estadísticas y predictivas; por lo tanto, nos concentraremos en validar su estructura. La validación de la estructura consiste en comparar las relaciones causales propuestas el modelo real que representa, teniendo en cuenta el conocimiento acerca de las relaciones entre las variables que componen el sistema real.

A continuación se explican las pruebas realizadas para validar la estructura del modelo de dinámica de sistemas propuesto en el capítulo 4. Las pruebas de estructura realizadas son: validación de relaciones causales (Sección 6.1), límites del modelo (Sección 6.2), consistencia dimensional (Sección 6.3), evaluación de parámetros (Sección 6.4) y condiciones extremas (Sección 6.5).

### 6.1. Relaciones causales y matemáticas consistentes con la teoría

En esta sección se analiza si la estructura del modelo de dinámica de sistemas propuesto representa adecuadamente el sistema real y cumple el propósito establecido, teniendo en cuenta los aspectos teóricos considerados en la formulación de relaciones y ecuaciones analizados en las secciones 1 y 2 (Forrester, Jay y Senge, Peter, 1980).

El propósito del modelo de dinámica de sistemas propuesto es estudiar los patrones de formación de externalidades de red a partir de las aglomeraciones económicas, y analizar como estas externalidades de red favorecen la mejora de la productividad y el desarrollo económico.

El modelo general de dinámica de sistemas propuesto en el capítulo 4 es aplicable para cualquier sector económico en cualquier región. Este modelo se basa en los conceptos de economía urbana, geografía económica y crecimiento económico endógeno (ver capítulos 1 y 2) para establecer las relaciones de causalidad entre la formación de economías de aglomeración estudiadas por (Camagni, Roberto, 2005; Krugman, Paul, 1991, 1994, 1998), provenientes de la cercanía de firmas complementarias; y los impactos de estas economías en la formación y transferencia de conocimiento entre las firmas aglomeradas debido a diversos procesos de aprendizaje y transferencia de conocimiento propuestos por (Dangelico, Rosa Maria et al., 2008).

Además, a partir de los conceptos económicos introducidos desde la teoría de crecimiento endógeno, propuesto por Paul Romer (Romer, Paul M., 1990; Sala-I-Martin, Xavier, 1999), y la teoría “*learning by doing*” propuesta por Arrow (Arrow, Kenneth, 1962; Sala-I-Martin, Xavier, 1999), se establecen los impactos del incremento del conocimiento dentro del sector económico en el progreso tecnológico y la productividad del sector de manera agregada.

En el caso de aplicación del Valle de Aburrá se espera que los esfuerzos realizados por las entidades gubernamentales para fomentar los clusters industriales genere efectivamente un incremento de las economías de aglomeración, gracias a la intensificación de vínculos mediante reuniones gremiales, ferias, entre otros eventos. Además, las firmas complementarias, de manera informal, han ido formando nodos de aglomeración a lo largo del territorio para facilitar el acceso a los proveedores, cómo se analizó en la sección 5. Esta configuración puede impulsar estas externalidades positivas y dinamizar la actividad económica de la región.

Así, el modelo propuesto plasma adecuadamente la formación de aglomeraciones económicas y sus posteriores impactos en el desarrollo económico y permite analizar adecuadamente el caso de aplicación el Valle de Aburrá, facilitando la evaluación de políticas encaminadas al fomento de clusters industriales en la región.

A continuación se explica, de acuerdo al propósito del caso de aplicación del Valle de Aburrá (ver sección 5), cual es la delimitación de la estructura del modelo propuesto.

## 6.2. Límites del modelo

Para validar los límites del modelo se analiza si el nivel de agregación de la estructura del modelo y los supuestos establecidos, de acuerdo con el nivel de agregación, son consistentes con el propósito del modelo (Forrester, Jay y Senge, Peter, 1980; Sterman, John D., 2000). A continuación se justifican los supuestos tenidos en cuenta en el proceso de formulación.

El modelo de dinámica de sistemas propuesto busca estudiar la formación de clusters industriales para los sectores económicos estratégicos del Valle de Aburrá. Su principal objetivo es determinar los patrones de aglomeración sin considerar cuántos clusters industriales se pueden formar, permitiendo simular los patrones de los flujos de entrada y de salida del cluster en función de las externalidades. Para el caso del Valle de Aburrá, el principal objetivo es analizar si los sectores económicos estratégicos tienen tendencia a aglomerarse y generar externalidades positivas.

Los impactos de la formación de economías de aglomeración estudiados dentro de este trabajo se concentran sólo en el análisis del crecimiento del conocimiento y la innovación tecnológica, pues son las variables que impactan directamente el desarrollo económico de nuestro interés para el análisis de impactos. Para representar la formación y transferencia de conocimiento, se consideran los procesos internos y externos de aprendizaje propuestos por (Dangelico, Rosa Maria et al., 2008), pues representan los beneficios de la formación de aglomeraciones económicas en esta transferencia de conocimiento a lo largo del cluster, así como el aumento del capital en la generación de experiencia y conocimiento dentro de las firmas.

Se asume que, gracias a la memoria organizacional, el conocimiento adquirido y compartido no se pierde debido a la acumulación en la memoria y la experiencia de los empleados, los sistemas de información y el proceso productivo (Huber, George, 1991).

Al estudiar los impactos de la formación del conocimiento en el desarrollo económico, se consideran sólo aquellos impactos en el aumento de la tecnología y la productividad en términos monetarios, dejando fijas otras variables que impactan el aumento de la capacidad productiva y el aumento de la producción total de la economía.

En conclusión, los supuestos establecidos para la formulación del modelo de dinámica de sistemas son acorde con el propósito del modelo; se limitan a estudiar las dinámicas de formación de aglomeraciones económicas y los impactos en el progreso tecnológico, dejando fuera de alcance otras dinámicas que puedan afectar el desarrollo de la región.

A continuación se evalúa la consistencia dimensional del modelo de dinámica de sistemas propuesto.

### 6.3. Consistencia dimensional

La consistencia dimensional se basa en definir las unidades de medida de cada una de las variables, y validar si las relaciones matemáticas formuladas son consistentes con las unidades de medida definidas en éstas variables (Sterman, John D., 2000).

Para ello se hace la verificación de la consistencia dimensional utilizando la aplicación disponible en el software utilizado, Vensim DDS 5.7. En el anexo A.1, se ilustran las unidades de las variables utilizadas en la formulación de cada módulo propuesto. La verificación realizada muestra que las relaciones formuladas son consistentes dimensionalmente. A continuación se explica la procedencia de los parámetros y su validez para el estudio del caso de aplicación del Valle de Aburrá.

### 6.4. Evaluación de parámetros

La evaluación de parámetros consiste en determinar si los parámetros introducidos en el modelo representan adecuadamente el sistema real, para estar seguros que los resultados obtenidos en la simulación reflejan adecuadamente el comportamiento del sistema bajo estudio (Forrester, Jay y Senge, Peter, 1980; Sterman, John D., 2000).

Para el estudio del caso de aplicación del Valle de Aburrá, propuesto en la sección 5, los parámetros introducidos dan una idea agregada del comportamiento de la población de firmas fuera y dentro del cluster en los años 2005-2006, así como el estado del nivel de conocimiento y tecnología a nivel agregado para los sectores económicos bajo estudio (alimentos, textil), de acuerdo con el comportamiento del sistema de innovación y tecnología del departamento y del país, pues no hay suficiente información asociada a la tecnología y el conocimiento de los sectores a nivel local.

La información obtenida a nivel local parte de la investigación realizada en el proyecto de investigación *Modelo de Apoyo a la toma de decisiones en planificación y ordenamiento territorial para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá* (Universidad Nacional de Colombia, 2009). La información que no se encuentra a nivel local se puede encontrar a nivel departamental o nacional, especialmente aquella relacionada el nivel de conocimiento, tecnología e intensidad de capital de los sectores económicos. Esta información proviene de fuentes de información como (DANE et al., 2005) y (Observatorio Colombiano de ciencia y Tecnología, 2006) así como diversos estudios encaminados

a cuantificar la intensidad de capital que estiman los parámetros concernientes a la adquisición, depreciación de capital y capacidad de ahorro de los sectores, propuestos por (Iregui, Ana Maria et al., 2006) y (Pombo, Carlos, 1999).

Los demás parámetros, debido a su poca relevancia en el estudio de las dinámicas de formación de clusters industriales y los efectos en el incremento de la productividad, se asumen teniendo en cuenta los análisis cualitativos realizados en el marco del proyecto de investigación y el comportamiento del sistema.

Estos supuestos pueden introducir cierta incertidumbre a los resultados obtenidos, principalmente los rangos de valores, sin embargo, el análisis del comportamiento de las principales variables de estado puede realizarse, pues en estos valores supuestos se tienen en cuenta la diferencia relativa entre sectores económicos y representan las características de la economía de la región.

En la Tabla II se resume la escala geográfica de los parámetros obtenidos para el caso de aplicación del Valle de Aburrá y cuales parámetros quedaron con valores supuestos.

Tabla II. Escala geográfica de parámetros

A NIVEL NACIONAL	PARÁMETROS A NIVEL LOCAL	PARÁMETROS SUPUESTOS
Conocimiento inicial	Población inicial de firmas	Porcentaje potencial
Tecnología inicial	Población inicial del Cluster	Rentabilidad esperada
Tasa de ahorro	Tasa de natalidad	Capital inicial
Tasa de adquisición de capital	Tasa de mortalidad	Costo unitario de la experiencia
Tasa de depreciación de capital	PIB	Ref Firmas
	Tasa de participación de la demanda	Ref conocimiento
	Tasa de participación del capital de trabajo	Ref Tecnología
	Porcentaje a invertir en I+D	Tasa de conocimiento por imitación
		Tasa de conocimiento por interacción
		Porcentaje a invertir en capital

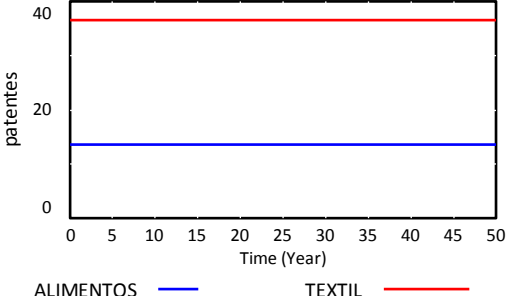
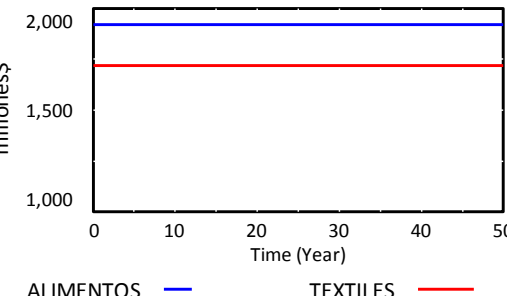
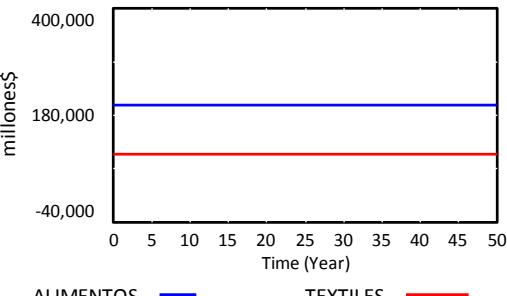
A continuación se evalúa el comportamiento del sistema ante valores extremos de los parámetros.

### 6.5. Condiciones extremas

La evaluación del comportamiento del sistema ante condiciones extremas incluye el análisis de las variables de estado y la comparación con el comportamiento deseado mediante la introducción de valores críticos a los parámetros de entrada (Sterman, John D., 2000)

A continuación, en la Tabla 12, se ilustran las pruebas hechas y los resultados de las variables de estado obtenidas. Los resultados obtenidos en estas pruebas muestran el comportamiento deseado de los niveles del modelo propuesto ante valores extremos de las tasas que determinan los flujos de entrada y salida.

Tabla 12. Condiciones extremas

PARÁMETRO MODIFICADO Y ANÁLISIS	RESULTADOS
<p>Tasa conocimiento por imitación<math>_{sector}=0</math>                      Tasa conocimiento por interacción<math>_{sector}=0</math></p> <p>El conocimiento compartido no se incrementa, permanece constante, e igual al valor inicial, a lo largo de los periodos de simulación</p>	<p style="text-align: center;"><b>Conocimiento Compartido</b></p> 
<p>Tasa de inversión I+D<math>_{sector}=0</math></p> <p>La tecnología no crece, permanece constante e igual al valor inicial para todos los periodos de simulación</p>	<p style="text-align: center;"><b>Tecnología</b></p> 
<p>Tasa de inversión Capital<math>_{sector}=0</math>                      Tasa de depreciación<math>_{sector}=0</math></p> <p>El capital permanece constante e igual al valor inicial para todos los periodos de simulación</p>	<p style="text-align: center;"><b>Capital</b></p> 

## 6.6. Conclusión

Ante las pruebas de validación de estructura realizadas en esta sección, se concluye que el modelo general propuesto representa adecuadamente las dinámicas de formación de aglomeraciones económicas y permite plasmar los impactos en el aumento de la producción de los sectores de manera adecuada.

Sin embargo, debido a los supuestos establecidos y las limitaciones en la definición de parámetros, este modelo no es adecuado para la predicción de valores de las variables de estado; solo puede ser utilizado para el análisis de patrones de comportamiento que faciliten el análisis y entendimiento del sistema y faciliten la toma de decisiones en lo que concierne a la implementación de políticas de fomento de clusters industriales.

A continuación se analizan los resultados obtenidos del modelo propuesto para el caso de aplicación del Valle de Aburrá. Se analizan varios escenarios de intensidad de interacciones entre los clusters y crecimiento económico, mediante la modificación de variables críticas, permitiendo así evaluar los impactos de diversas políticas de la formación de clusters e inversión en el crecimiento económico del Valle de Aburrá.





## 7. SIMULACIÓN CASO DE APLICACIÓN VALLE DE ABURRÁ

En este capítulo se aplica el modelo planteado en la sección 4 a los sectores económicos estratégicos del Valle de Aburrá. El objetivo es evaluar si las políticas de crecimiento económico, propuestas por los distintos agentes gubernamentales, las cuales buscan explotar las economías de aglomeración que surgen de la concentración de firmas complementarias, incrementan el desarrollo económico y la competitividad de la región mediante el progreso tecnológico y el conocimiento

La aplicación al Valle de Aburrá simula la dinámica de la aglomeración en los sectores de Alimentos y Textiles, y los impactos de las economías de aglomeración en la eficiencia de los procesos productivos de dichos sectores y su competitividad a nivel global. De esta manera, se estiman los impactos de las políticas de fomento de clusters industriales propuestas por el AREA Metropolitana del Valle de Aburra, La Alcaldía de Medellín y la Gobernación de Antioquia. Como se discutió previamente, antes que una predicción exacta de las variables económicas, los resultados del modelo estudian la evolución posible del sistema en distintos escenarios relacionados con el incentivo de la formación del conocimiento, la innovación tecnológica y las políticas de inversión.

En la sección 7.1 se evalúa el comportamiento del sistema mediante la introducción de los parámetros propuestos en el anexo A.3 para los sectores económicos estratégicos en el Valle de Aburrá, Alimentos y Textil, permitiendo analizar las dinámicas para este caso de aplicación e identificar las variables claves que pueden intensificar el desarrollo económico de la región.

Posteriormente, en la sección 7.2 se definen dos tipos de escenarios que modifican los parámetros más representativos del sistema y permiten evaluar los impactos de la formación de clusters industriales en la producción y los ingresos de cada sector económico estratégico seleccionado en el Valle de Aburrá.

### 7.1. Caso base

Desde el punto de vista económico, el Valle de Aburrá es la región más representativa del departamento de Antioquia, pues concentra la mayor porción de empleo y actividades económicas debido a su gran proceso de urbanización (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007).

Diversos agentes gubernamentales han promovido la introducción de actividades de alto valor agregado y la intensificación de actividades de investigación y desarrollo mediante la integración de actividades complementarias, con el fin de revitalizar el sector industrial en el Valle de Aburrá e

incrementar los empleos formales que mejoren la calidad de vida de los habitantes (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007; ECSIM, 2004a).

El caso base ilustra la situación actual de las firmas en el Valle de Aburrá, donde aún está en ejecución la propuesta establecida el gobierno encaminada a promover los clusters industriales para incentivar la producción basada en el conocimiento por parte de los sectores económicos estratégicos en la región.

Esta situación se caracteriza por una desarticulación de las actividades complementarias, pues aún no se forman clusters industriales debido a la poca conectividad física de los sectores económicos y su poca interacción con las instituciones educativas (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007). Los resultados del caso base ilustran el comportamiento del sistema si esta situación actual continua a lo largo de los periodos de simulación.

Los parámetros introducidos se ilustran en el anexo A.3. Hay un grupo de parámetros de incertidumbre que requiere establecer supuestos. Estos parámetros de incertidumbre se aprecian en la Tabla 13.

Tabla 13. Valores de los parámetros de incertidumbre en el caso base

PARÁMETROS CON INCERTIDUMBRE	DESCRIPCIÓN	VALOR INTRODUCIDO	
		Alimentos	Textil
<i>Porcentaje potencial</i> <sub>sector</sub>	Se asume un porcentaje potencial bajo debido a las dificultades de concentración de actividades económicas por la falta de espacio	30%	30%
<i>Rentabilidad esperada</i> <sub>sector</sub>	Se asume una rentabilidad baja, con el fin de evaluar los impactos de los clusters en los ingresos, obviando los posibles efectos de la rentabilidad.	30%	30%
<i>Capital inicial</i> <sub>sector</sub>	El sector de alimentos es más intensivo en capital que el sector textil	200.000 millones\$	100.000 millones\$
<i>Costo unitario de la experiencia</i> <sub>sector</sub>	Representa cuanto se requiere incrementar la tecnología y el capital para incrementar en 1% el incremento del aprendizaje gracias a la experiencia.	10.000.000 millones\$	20.000.000 millones\$
<i>Tasa de conocimiento por imitación</i> <sub>sector</sub>	El sector textil es más intensivo en conocimiento en el valle de Aburrá, y hay un cluster consolidado que facilita la interacción entre las firmas que lo componen	0.5%	0.8%
<i>Tasa de conocimiento por interacción</i> <sub>sector</sub>		0.5%	0.8%
<i>Tasa de inversión en capital</i> <sub>sector</sub>	Se asume que ambos sectores invierten el mismo porcentaje de dinero en capital. Este porcentaje es alto, pues la mayoría de la firmas gastan su dinero en incrementar la maquinaria, equipo y personal disponible para la ejecución de los procesos	60%	60%

Para normalizar las relaciones cualitativas entre variables, formuladas mediante funciones no lineales, se definen valores de referencia de las variables independientes mediante valores máximos que puede tomar la variable para el caso de aplicación. Los valores introducidos en estas variables independientes se aprecian en la Tabla 14

Tabla 14. Valores de referencia

VARIABLES REFERENCIA	VALOR
Ref Firmas	1.600 firmas
Ref demanda	40.000.000 millones\$
Ref conocimiento	1.100 patentes
Ref efectos conocimiento	700 patentes
Ref Tecnología	15.000 millones\$

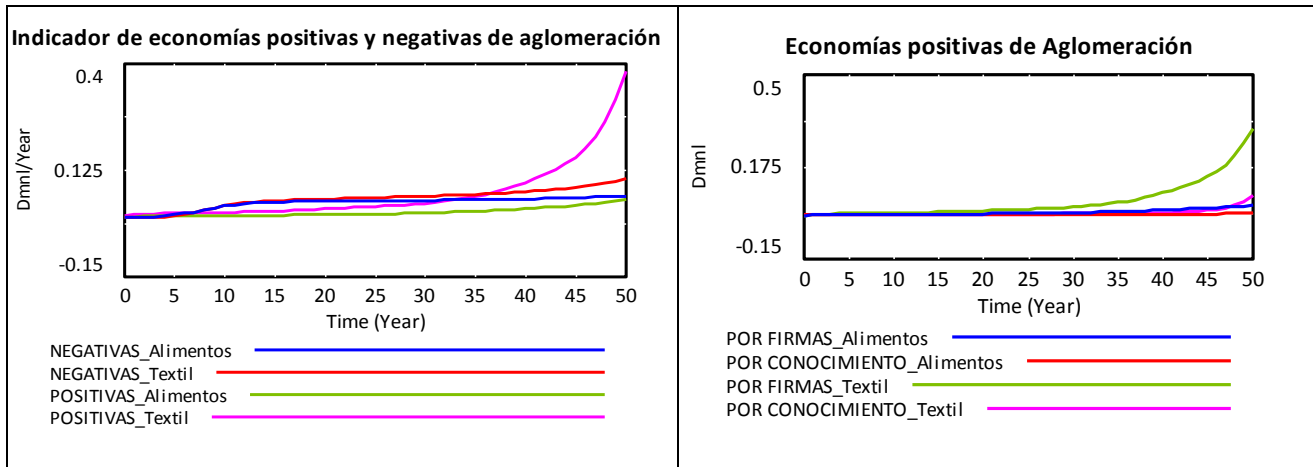
El análisis de las dinámicas se desagrega en dos grandes grupos de variables: Aquellas que representan la formación de clusters industriales a partir de las economías positivas y negativas de aglomeración (sección 7.1.1); y las variables macroeconómicas que determinan los efectos de estas economías de aglomeración en el crecimiento económico del sector (Sección 7.1.2).

### *7.1.1. Formación del cluster industrial*

Las variables que permiten determinar las economías de aglomeración y los impactos en la atracción percibida del cluster son aquellas variables provenientes del módulo de aglomeración económica (sección 4.4) que impactan población firmas del cluster. Los resultados de estas variables se ilustran a continuación

#### *Economías positivas y negativas de aglomeración*

Las economías positivas y negativas de aglomeración ilustran el grado de desarticulación de las actividades económicas complementarias en el Valle de Aburrá, cómo se aprecia en la Gráfica 10. A lo largo del periodo de simulación prevalecen las economías negativas de aglomeración debido a la poca intensidad de las interacciones entre agentes que incrementa las economías positivas, sin embargo estas economías positivas tienden a crecer en el tiempo, gracias a la relación de cooperación informal que hay entre las firmas, incentivado por el gobierno mediante reuniones gremiales, ferias como Colombiamoda, entre otras.



Gráfica 10. Comportamiento del indicador de economías positivas y negativas de aglomeración

Gráfica 11. Indicador de economías positivas de aglomeración

El sector más beneficiado por las interacciones es el sector textil, gracias a que hay una mayor presencia de firmas y aglomeraciones de este sector en el Valle de Aburrá (Ver Figura 13) y es más intensivo en conocimiento que el sector Alimentos, cómo se aprecia en la Gráfica 14 .

En la Gráfica 11 se ilustra una mayor relevancia en las economías de aglomeración debido a los efectos que genera la conectividad entre firmas, el efecto por conocimiento es menor, debido a la poca solicitud de patentes que tienen los sectores económicos en el Valle de Aburrá, cómo se apreció en la sección 5.3.

Este comportamiento se debe además a los patrones que siguen estos sectores económicos en el territorio. Cómo se aprecia en la Figura 13, los sectores económicos textil y alimentos tienen tendencia a aglomerarse, incrementando la intensidad de las relaciones entre firmas, y por lo tanto incrementando el efecto positivo por firmas. Ambos sectores económicos se localizan en el sur del Valle de Aburrá, a lo largo del Río Aburrá, donde se encuentra la Autopista, de tal forma que se puede interconectar con otras regiones con mayor facilidad. El sector textil tiene una mayor presencia en el territorio, con pequeñas aglomeraciones distribuidas a lo largo del corredor del río. El sector alimentos tiene esta misma distribución en el territorio, pero con menor presencia.

Sin embargo, así las firmas estén cerca unas de otras, no generan suficientes interacciones para incrementar las externalidades de red, reflejadas en el bajo conocimiento compartido, cómo se aprecia en Gráfica 14.

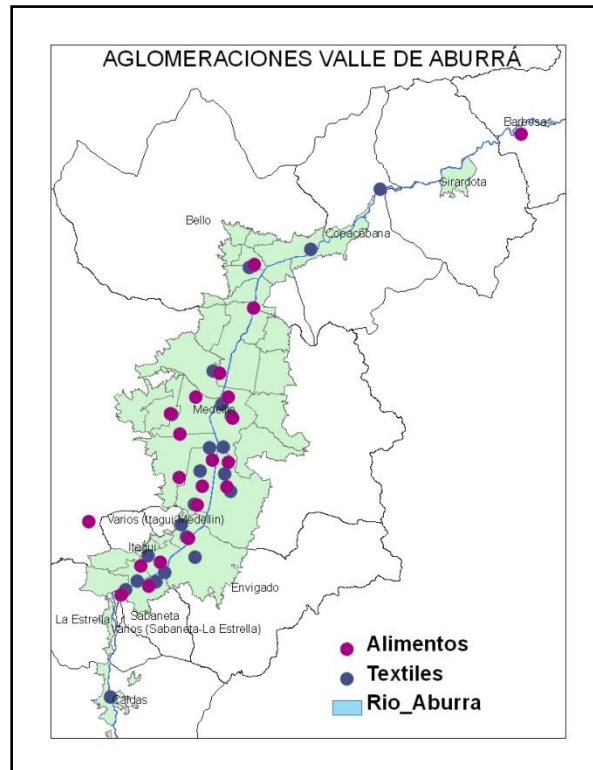


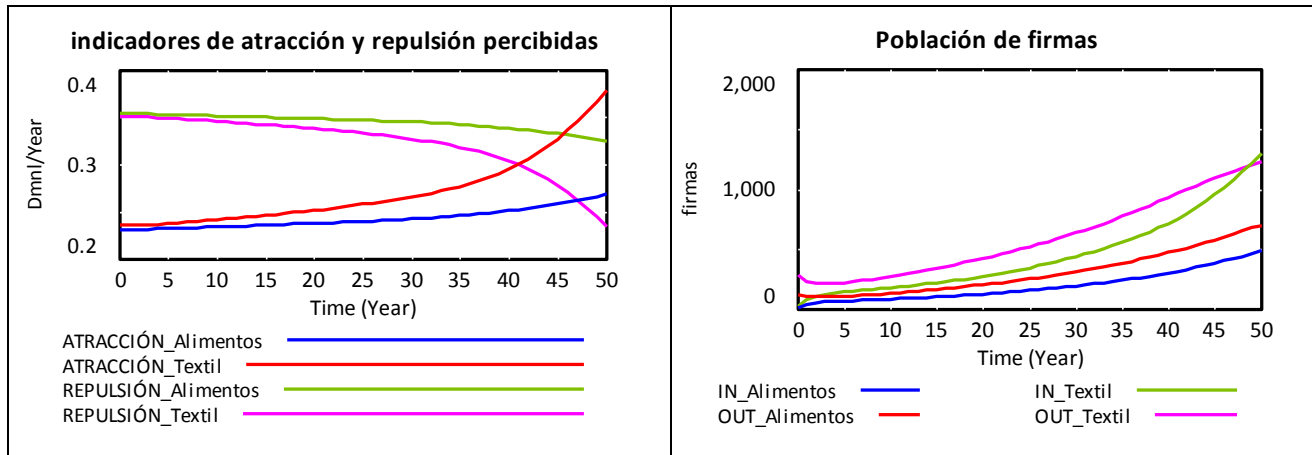
Figura 13. Mapa de aglomeraciones de los sectores Alimentos y textil en el Valle de Aburrá

A continuación se estudia el comportamiento de los factores de atracción y repulsión de firmas afectados por las economías positivas y negativas de aglomeración descritas previamente.

### *Población de firmas*

El crecimiento de la población de firmas dentro del cluster industrial está determinado por la percepción de atracción y repulsión, en función de las ventajas que pueda tener para las firmas hacerse dentro del cluster. En la Gráfica 12 se ilustra el comportamiento de los indicadores de atracción y repulsión y en la Gráfica 13 los efectos en la población de firmas dentro y fuera del cluster.

Para ambos sectores económicos prevalece el indicador de repulsión sobre el de atracción, pues el *porcentaje potencial*<sub>sector</sub>, que determina la *población máxima crítica*<sub>sector</sub> (Ver sección 4.4) se asume bajo para ambos sectores (30% de la población total), limitando considerablemente la entrada de nuevas firmas al cluster de tal manera que siga siendo beneficioso. Este supuesto se debe a las limitaciones de espacio en la región (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007; Universidad Nacional de Colombia, 2009)



Gráfica 12. Indicadores de atracción y repulsión percibida de firmas

Gráfica 13. Población de firmas dentro y fuera del cluster

Así, de acuerdo con el comportamiento de los indicadores de atracción y repulsión donde la atracción para ambos sectores tiene un comportamiento creciente, y la repulsión un comportamiento decreciente; la población de firmas a entrar al cluster aumenta a lo largo de los periodos de simulación.

En el sector textil hay un mayor crecimiento de la población de firmas debido a su mayor tendencia a aglomerarse (hay 22 aglomeraciones, con 12 firmas en promedio, mientras que para el sector alimenticio se identificaron 21 aglomeraciones con 11 firmas en promedio, según la Tabla 2) y debido a la mayor presencia de firmas de este sector en el territorio: En el periodo inicial hay 123 firmas para el sector Alimentos y 274 firmas para el sector textil (Ver Tabla 3) (Supersociedades, 2007)

Este crecimiento de la población de firmas dentro del cluster para el sector textil a lo largo de la simulación, con un máximo de 1.298 firmas, incrementa la saturación del cluster, generando mayores economías negativas de aglomeración, como se aprecia en la Gráfica 10.

A continuación, en la sección 7.1.2, se evalúan los impactos de la aglomeración de firmas en la formación de conocimiento y el desarrollo económico del Valle de Aburrá, teniendo en cuenta la continuidad de las condiciones económicas actuales a lo largo de los 50 años de simulación.

### 7.1.2. Impactos en el crecimiento económico

En esta sección se analiza el comportamiento de la formación y transferencia de conocimiento y sus impactos en el crecimiento económico del Valle de Aburrá. Este análisis permite identificar el

potencial de los sectores económicos de alimentos y textiles en el desarrollo de la región, y los efectos que generan la tendencia a aglomerarse de estos sectores económicos en la formación de conocimiento y de innovaciones tecnológicas.

### *Tecnología y productividad*

Para el caso de aplicación del Valle de Aburrá, el sector económico con mayor intensidad de conocimiento total (adquirido + compartido) es el sector textil. Este sector económico concentra toda la atención de entidades públicas y privadas, debido a su importancia en el desarrollo económico de la región, pues ha abierto las puertas del mundo con la producción de prendas de vestir de alta calidad y mediante procesos innovadores (ACI, Alcaldía de Medellín y Medellín, Cámara de Comercio de, 2006).

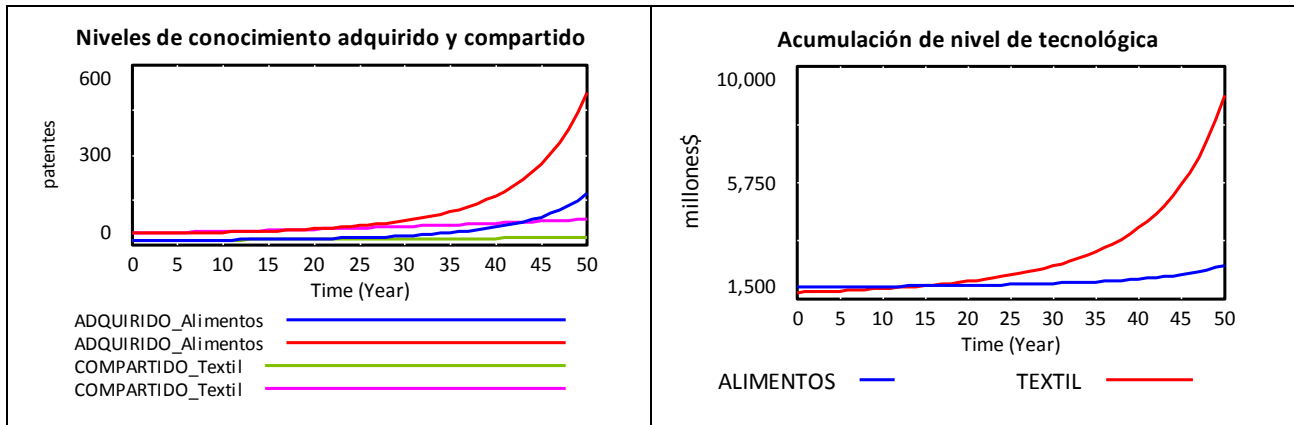
En la Gráfica 14 se aprecia una mayor solicitud de patentes gracias a procesos internos de aprendizaje (nivel de conocimiento adquirido) y externos de aprendizaje (conocimiento compartido) para el sector de Alimentos. Sin embargo, los procesos de aprendizaje externo, como se ilustra en la Gráfica 10 de la sección anterior, son más intensos en el sector textil que en el sector alimentos, dando como resultado un mayor incremento de conocimiento compartido. Los procesos de aprendizaje interno se benefician de la capacidad de inversión en tecnología y capital, más alta también para el sector textil, como se ilustra más adelante; esto beneficia el nivel de conocimiento adquirido para el sector textil.

- El nivel de conocimiento adquirido para el sector textil tiene un máximo de 378 patentes solicitadas y para el sector de alimentos un máximo de 111 patentes a lo largo de la simulación.
- El nivel de conocimiento compartido tiene un máximo de 87 patentes para el sector textil, y un máximo de 22 patentes para el sector alimentos a lo largo de la simulación.

La mayor intensidad del conocimiento está relacionada con la mayor presencia del sector textil en el Valle de Aburrá y la mayor concentración de las entidades públicas y privadas de mejorar las condiciones productivas de este sector con miras a competir globalmente. Esto lo refleja el informe de la Agencia de Cooperación internacional sobre la competitividad del sector textil:

*“Actualmente la Alcaldía de Medellín con apoyo de Inexmoda, la Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia – CCMA-, y la Agencia de Cooperación Internacional de Medellín –ACI-, viene implementando estrategias orientadas a modernizar el tejido empresarial del sector y fortalecer sus vínculos productivos, comerciales y tecnológicos, con miras al mercado nacional e internacional” (ACI et al., 2006)*





Gráfica 14. Niveles de conocimiento adquirido y compartido

Gráfica 15. Nivel de tecnología

Esta intensidad del conocimiento facilita la implementación de nuevas tecnologías en el proceso productivo, incrementando así el valor monetario de las innovaciones tecnológicas efectivas dentro de éste sector económico, cómo se aprecia en la Gráfica 15. El desarrollo de innovaciones tecnológicas está relacionado además, con la capacidad de inversión del sector en investigación y desarrollo.

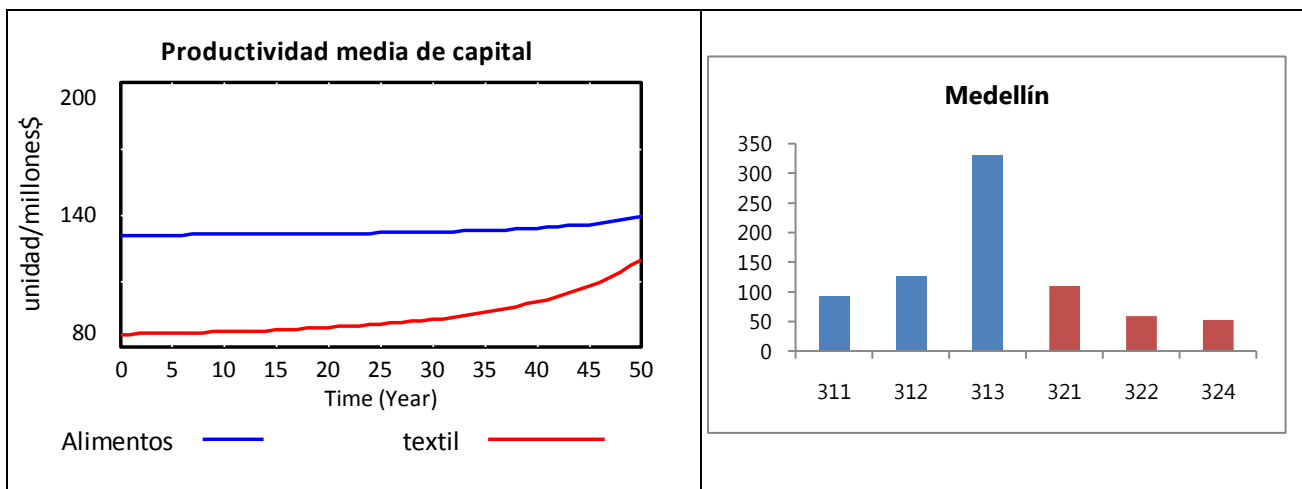
La inversión proyectada total es un porcentaje del producto total de la economía (*PIB Proyectado*), en el caso de aplicación este porcentaje es igual a 0.63% para el sector alimentos, 3.66% para el sector textil. Y ambos sectores son considerados de nivel de conocimiento medio, y según el DANE invierten el 1.455% en desarrollos tecnológicos (DANE, 2009).

En conclusión, el sector textil tiene una marcada tendencia a invertir mucho más, que conlleva a una mayor especialización productiva, superando al sector de alimentos y el sector de productos químicos en cuanto al dinamismo industrial en el Valle de Aburrá (Alcaldía de Medellín, ACI y Cámara de Comercio, 2006).

Esta tendencia se refleja en el incremento de la productividad media del capital para ambos sectores económicos. En la Gráfica 16 se aprecia el comportamiento de la productividad media del capital. El sector de alimentos tiene mayor productividad debido que el costo de producción unitario es menor en este sector, cómo se aprecia en la sección 4.6. Estos costos son estimados como función inversa de la demanda sectorial proyectada, mayor para el sector alimentos que para el sector textil (el valor máximo a lo largo de la simulación de la demanda proyectada es de 16.290.000.000 millones\$ para el sector alimenticio y 5.456.000.000 millones \$ para el sector textil).

Sin embargo, el sector textil tiene más incremento de la productividad media de capital que el sector alimentos debido a que tiene mayor intensidad en el desarrollo tecnológico. En promedio, en cada periodo de simulación la productividad del sector alimentos aumenta un 0.121% y la del sector textil aumenta un 0.674%. En conclusión, la mayor especialización productiva del sector textil, reflejada en el aumento del nivel de tecnología, incrementa el uso eficiente del capital disponible para la producción.

Este comportamiento coincide con el estudio realizado por (Iregui, Ana Maria et al., 2006), donde obtiene la productividad media del capital para los sectores económicos en la ciudad de Medellín, donde, según la Gráfica 17, los subsectores del alimentos (311, 312, 313) obtienen una mayor productividad que los subsectores de textil (321, 322, 324), debido a que posee menores costos de producción y cubre mayor demanda.



Gráfica 16. Productividad media del capital

Gráfica 17. Productividad media de capital propuesta por (Iregui, Ana Maria et al., 2006)

A continuación se analizan los impactos del aumento de la productividad media del capital en el aumento de la producción, los ingresos y la capacidad de inversión de los sectores económicos estratégicos en el Valle de Aburrá.

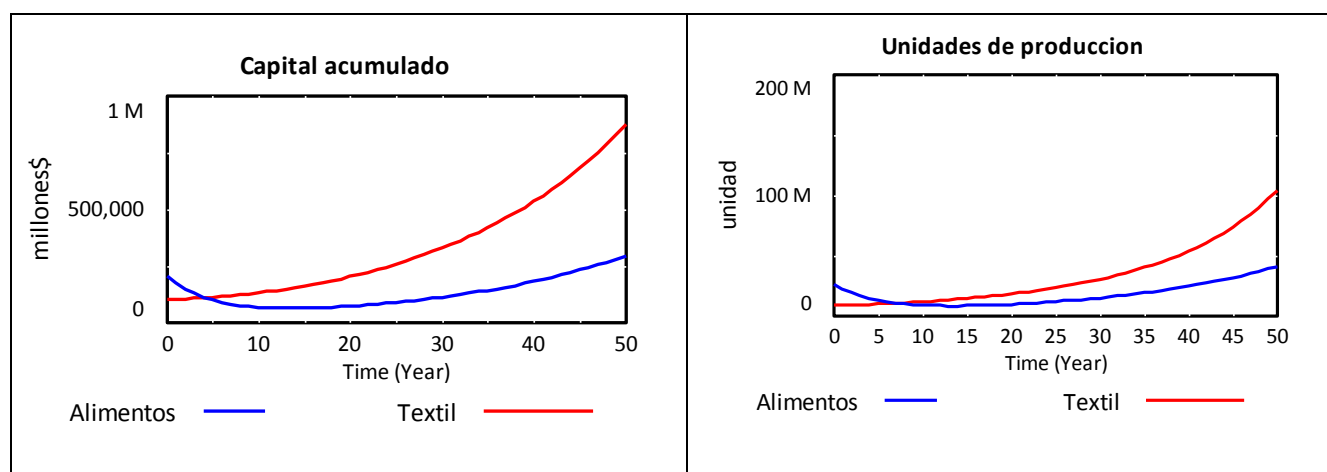
### *Producción, ingresos y capacidad de inversión*

La capacidad productiva permite a las firmas cubrir una mayor porción de la demanda e incrementar sus ingresos. Esta capacidad productiva está directamente relacionada con el nivel de capital disponible para el proceso productivo.

Las energías de las entidades públicas y privadas están encaminadas a consolidar el sector textil como sector principal para competir a nivel global. Esto se refleja en la inversión proyectada, calculada como porcentaje del producto total de la economía (*PIB Proyectado*), igual a 0.63% para el sector alimentos, 3.66% para el sector textil.

Por lo tanto, hay una mayor entrada de capital para el sector textil debido a que hay mayor dinero disponible para invertir, incrementando la maquinaria y el personal disponible para la producción, cómo se aprecia en la Gráfica 18. Este incremento se refleja igualmente en el comportamiento de la capacidad productiva el sector, cómo se aprecia en la Gráfica 19, beneficiada además por los incrementos generados por la productividad media del capital.

Este comportamiento se debe a que, según el estudio de (Iregui, Ana Maria et al., 2006), el sector alimentos es más intensivo en capital, de acuerdo con las tasas de adquisición: 6% para el sector alimentos, 3.46% para el sector textil. Por lo tanto, se asume que en el periodo inicial el capital del sector alimentos es mayor que el capital del sector textil, según los valores supuestos en la Tabla 13.



Gráfica 18. Nivel de capital

Gráfica 19. Unidades de producción

### 7.1.3. Síntesis

En conclusión, la formación economías positivas y negativas de aglomeración proveniente de los clusters industriales son determinantes para la formación del conocimiento y el progreso tecnológico, favoreciendo la productividad y la capacidad productiva del sector económico, aumentando así la eficiencia en el uso del capital.

Para el caso de aplicación del Valle de Aburrá estas economías de aglomeración surgen de la intensidad de actividades económicas en el territorio, no de su cooperación para la formación de

conocimiento. Este resultado refleja la falta de implementación de políticas más claras por parte de las entidades públicas que integren las instituciones educativas en la interacción con el sector privado.

El sector textil tiene más tendencia a formar externalidades positivas de la formación de aglomeraciones industriales, gracias a su relevancia en el Valle de Aburrá para generar más competitividad a nivel global. Estas externalidades positivas incrementan su nivel de tecnología, haciendo más eficiente el uso del capital disponible para la producción.

Este sector genera grandes dinámicas de exportación a nivel nacional, *“el eslabón de la confección generó casi 70% del valor total de las ventas externas de la cadena: más de US\$ 414 millones, en promedio anual durante los últimos tres años”*. Además, este sector es reconocido por las mejoras tecnológicas implementadas en su proceso productivo y se ha convertido en un sector económico clave para la región en términos de atracción de inversión extranjera y generación de conocimiento. (ACI et al., 2006).

El sector alimenticio, debido a su mayor participación en la demanda en la región y sus menores costos de producción, tiene un mayor indicador de productividad media del capital, sin embargo, no genera incrementos representativos de este indicador como consecuencia de menores economías positivas de aglomeración y formación de conocimiento.

Gracias a la formación intensa de externalidades positivas, Los efectos del incremento de la productividad en la capacidad productiva del sector textil es más intensa. Este incremento está directamente relacionado con intensidad de atracción de inversión extranjera del sector textil, este tiene más capacidad de inversión, que beneficia el nivel de capital y tecnología disponibles. Estos niveles impactan el crecimiento de la capacidad productiva.

En conclusión, si no se generan inyecciones de dinero constantes a las mejoras tecnológicas y la adquisición de capital, las ventajas obtenidas de la formación de aglomeraciones económicas no se reflejan en el proceso productivo y la competitividad de las firmas, cómo sucede con el sector de alimentos.

A continuación, en la sección 7.2, se evalúa el comportamiento del sistema para el Valle de Aburrá ante distintos escenarios, teniendo en cuenta el comportamiento obtenido en esta sección en lo que respecta a las dinámicas de la formación de clusters industriales y las variables macroeconómicas más representativas.

## 7.2. Definición de escenarios a partir de la formulación de políticas

De acuerdo con lo establecido en los resultados del caso base para el Valle de Aburrá (sección 7.1), hay tres resultados claves que determinan el comportamiento la formación de clusters industriales y sus posteriores impactos en el desarrollo económico para el caso de aplicación del Valle de Aburrá:

- Intensidad en las interrelaciones de las firmas que componen el cluster
- Capacidad de inversión de los sectores económicos.
- Comportamiento de la demanda y participación de los sectores en la producción total de la economía de la región.

Así, de acuerdo a estos resultados se proponen dos grupos de escenarios, donde se afectan diversos parámetros mediante la definición de políticas por parte del gobierno municipal y departamental. Esta definición de escenarios facilita el análisis de los impactos de los cambios en las decisiones del gobierno en la formación de clusters industriales y el desarrollo económico.

Los escenarios propuestos evalúan dos enfoques a las políticas económicas de consolidación de los sectores económicos estratégicos, que, según los resultados obtenidos en la sección 7.1, son necesarios para aprovechar adecuadamente las ventajas que trae la formación de aglomeraciones económicas en el Valle de Aburrá:

- Fomento de mecanismos de cooperación entre firmas para la transferencia eficiente de conocimiento, mediante la integración de firmas en diversas configuraciones de clusters industriales
- Atracción de la inversión extranjera para intensificar los niveles de tecnología y capital y favorecer la capacidad productiva y la competitividad de los sectores económicos claves.

Ambos enfoques se evalúan ante escenarios de crecimiento económico alto y bajo, con el fin de evaluar los impactos de las dos políticas económicas propuestas ante escenarios de crecimiento económico alto y bajo.

A continuación, en la sección 7.2.1 se definen los parámetros de entrada de los dos escenarios y en la sección 7.2.2 se analizan los resultados obtenidos para cada uno de los escenarios.

### *7.2.1. Definición de parámetros de entrada para los escenarios*

En esta sección se define el marco teórico considerado y la definición de los parámetros de los dos grupos de escenarios a evaluar, teniendo en cuenta los parámetros del modelo de dinámica de sistemas, ilustrados para el caso base en el anexo A.3, que son modificados para representar el enfoque de las dos políticas públicas que se desea estudiar: Fomento a mecanismos de cooperación entre firmas y atracción de inversión extranjera.

#### *Mecanismos de cooperación entre firmas*

Dentro del modelo de dinámica de sistemas propuesto en la sección 4, la intensidad de las relaciones entre firmas depende del comportamiento de las tasas de conocimiento compartido. Para estudiar la intensidad de estas interrelaciones y sus efectos en las economías de aglomeración, (Mccan, Philip y Iammarino, Simona, 2006) proponen una clasificación de clusters industriales de acuerdo a la intensidad de concentración:

- **PURAS AGLOMERACIONES:** Se caracteriza por tener relaciones débiles y pasajeras. Los clusters con este grado de proximidad no tienen poder en el mercado y cambian constantemente sus relaciones con otras firmas y consumidores en función de las oportunidades que proporciona el mercado de forma local. En este tipo de clusters prima la tasa de conocimiento compartido por imitación sobre la tasa de conocimiento compartido por interacción. Ambas tasas se asumen bajas
- **REDES SOCIALES:** Relaciones de mutuo acuerdo entre agentes claves en la toma de decisiones de las diferentes organizaciones. Estas redes no consideran el espacio, sin embargo, una proximidad entre ellas facilita las relaciones a más largo plazo, es necesaria más no suficiente para hacer parte de la red. Así, debido a la intensidad de las relaciones de mutuo acuerdo, la tasa de conocimiento compartido por interacción se beneficia más que la tasa de conocimiento compartido por imitación.
- **COMPLEJOS INDUSTRIALES:** Se caracterizan por relaciones más fuertes y estables y a largo plazo entre las firmas del clúster y con las instituciones educativas, involucrando transacciones frecuentes. Este tipo de clusters industriales posee así altas tasas de conocimiento compartido por imitación e interacción, y debido a su estabilidad en las relaciones entre firmas, pueden considerarse igual

En el Valle de Aburra, la Cámara de Comercio ha impulsado la estrategia “Comunidad Cluster<sup>2</sup>”, encaminada a “construir tejido empresarial mediante la conformación de redes de negocio para la identificación de oportunidades de mercado (...)Esta iniciativa público-privada, cuenta con la voluntad política y la participación decidida de los gobiernos local, departamental y nacional, haciéndose evidente gracias a la inclusión del modelo Cluster en la política nacional y en el Plan de Desarrollo de Medellín, 2008-20011, a partir del cual se firmaron los primeros convenios de competitividad para el desarrollo de los clusters.” (Cámara de Comercio, 2007)

Esta estrategia busca intensificar los vínculos entre las firmas complementarias. Dentro del modelo de dinámica de sistemas, el grado de intensidad de estos vínculos se representa mediante las tasas de conocimiento compartido (por imitación y por interacción). Por lo tanto, se asumen valores de estas tasas para cada uno de los tipos de clusters, como se aprecia en la Tabla 15. Se asume mayor para el sector textil en todos los tipos de concentración, debido a que este sector es más intensivo en conocimiento que el sector alimentos, resultado obtenido en la Gráfica 14 de la sección 7.1.

Tabla 15. Tasas de adquisición de conocimiento

Tipo de concentración	Tasa de conocimiento por interacción		Tasa de conocimiento por imitación	
	ALIMENTOS	TEXTIL	ALIMENTOS	TEXTIL
Complejos industriales	10%	10%	10%	10%
Redes Sociales	4%	8%	2%	4%
Puras aglomeraciones	0.5%	1%	1%	2%

Ambas políticas se evalúan ante el caso base de crecimiento económico, con una tasa de crecimiento del PIB del 5,05% (en las gráficas se distingue por “escenario crecimiento base”); y el caso de expansión de la economía, con una tasa de crecimiento del PIB del 10% (en las gráficas se distingue por “escenario crecimiento alto”).

A continuación se definen los parámetros a modificar para estudiar los efectos de una política enfocada en atracción de la inversión extranjera.

#### *Atracción de inversión extranjera*

La inversión en investigación y desarrollo para las firmas y los entes gubernamentales no ha sido una prioridad en este país. En los últimos años la franja del porcentaje de inversión en ciencia y

<sup>2</sup> La Comunidad Cluster de Medellín y Antioquia es una potente estrategia de desarrollo que permite construir tejido empresarial por medio de la conformación de redes de negocios y la identificación de oportunidades de mercado

tecnología ha estado de manera constante en el 0.2% del PIB nacional. La meta para Colombia, según la Visión Colombia para el Segundo Centenario de la Independencia, es incrementar ese porcentaje a 1.5% con una participación privada del 50%. Países desarrollados, como Estados Unidos por ejemplo, tienen gasto en ciencia y tecnología de alrededor del 2.5%. Estas cifras nos muestran un muy bajo dinamismo de la inversión en ciencia y tecnología en nuestro país, y el Valle de Aburrá no es la excepción (Observatorio Colombiano de ciencia y Tecnología, 2006).

Como concluimos en la sección 7.1.3, el fortalecimiento de los sectores económicos estratégicos para mejorar las condiciones económicas de la región e incrementar la competitividad de las firmas a nivel global requiere del incremento inversión local y extranjera enfocada en investigación y desarrollo, encaminada a mejorar las condiciones tecnológicas de las firmas, y enfocar la producción a la generación de valor agregado y diferenciación (ACI et al., 2006).

Para ello se han creado entidades como la Agencia de Cooperación Internacional. Esta entidad nació en el 2003 por iniciativa de entidades como el AREA Metropolitana del Valle de Aburrá, la Alcaldía de Medellín, Empresas Públicas de Medellín y Empresas Varias. Su principal objetivo es facilitar el proceso de internacionalización de la región, mostrando la mejor cara de la ciudad y los avances de los sectores económicos en términos de consolidación de clusters industriales y de generación de productos de valor agregado, con el fin de atraer la inversión extranjera y generar mecanismos de cooperación que faciliten la formación de conocimiento y la competitividad a nivel mundial de los sectores económicos estratégicos del Valle de Aburrá (ACI et al., 2006).

Así, en este grupo de escenarios se le introducen cambios en los parámetros están asociados con el porcentaje de dinero a invertir en investigación y desarrollo y en capital, así como la intensificación de la inversión total de los sectores económicos representada por la participación de la inversión en el PIB proyectado (Ver Tabla 16).

Se definen escenarios: Altos niveles de inversión y bajos niveles de inversión, que determinan los patrones de comportamiento de las variables asociadas con la formación del cluster industrial y el incremento de la tecnología. Para definir los parámetros es importante tener en cuenta que el sector económico textil posee más dinámicas en cuanto a inversión pues recibe mayores inyecciones de dinero, y por lo tanto posee más dinero disponible para invertir en investigación y desarrollo y en capital.

El escenario de altos niveles de inversión muestra resultados en los cuales las políticas de incentivar la inversión extranjera y facilitar la adquisición de nuevas tecnologías. El escenario de bajos niveles



de inversión muestra los efectos del decremento de la capacidad de inversión de las firmas, causado por pocas políticas de atracción de inversión extranjera.

Tabla 16. Escenarios de niveles de inversión

	original		ALTOS NIVELES DE INVERSIÓN		BAJOS NIVELES DE INVERSIÓN	
	ALIMENTOS	TEXTIL	ALIMENTOS	TEXTIL	ALIMENTOS	TEXTIL
% Participación inversión en PIB	0.63%	3.66%	30%	50%	0.2%	0.5%
Tasa de inversión en capital	60%	60%	70%	70%	20%	20%
Tasa de inversión en I+D	1.455%	1.455%	20%	30%	0.05%	1%

A continuación se analizan los resultados obtenidos en las corridas de ambos tipos de escenarios, permitiendo evaluar las propuestas que pretenden intensificar los vínculos entre firmas y la inversión extranjera en el Valle de Aburrá.

### 7.2.2. *Análisis de resultados*

En esta sección se evalúan los resultados del modelo de dinámica de sistemas ante cambios en los parámetros de entrada de acuerdo a los dos enfoques de políticas de crecimiento económico para el Valle de Aburrá propuestos en la sección anterior.

Las principales variables analizadas en estos resultados son:

- N° firmas dentro del cluster
- Capacidad tecnológica
- Capital, particularmente en el grupo de escenarios de atracción de la inversión extranjera
- Unidades de producción

Los resultados de estas variables se encuentran en los anexos A.4, para el análisis de los resultados de la política que incentiva los mecanismos de cooperación entre firmas, mediante los distintos tipos de concentraciones; y A.5 para el análisis de los resultados de la política que incentiva la inversión extranjera.

A continuación se analizan los resultados obtenidos para ambos enfoques de política pública.

### *Mecanismos de cooperación entre firmas*

Las políticas públicas, enfocadas a incentivar la interacción de las firmas para la generación de progreso tecnológico, se evalúan teniendo en cuenta distintos grados de concentración de las firmas, cómo se explicó en la sección 7.2.1. Los resultados obtenidos en el anexo A.4 muestran un comportamiento creciente de todas las variables evaluadas para los sectores económicos estratégicos de alimentos y textiles:

La población de firmas dentro del cluster se incrementa cuando hay una mayor intensidad en las interacciones, característica fundamental de los complejos industriales y las redes sociales. Cómo se ilustra en las gráficas, estos dos tipos de concentraciones son los únicos que generan un incremento considerable en la población de firmas dentro del cluster, bajo el escenario de crecimiento económico base. Este incremento es más notable para los complejos industriales que para las redes sociales, para ambos sectores económicos.

Así, la propuesta establecida por la Cámara de Comercio (“Comunidad Cluster”), en conclusión, favorece la interacción de las firmas, pues cumple con las características de las redes sociales. Sin embargo, la política sería mucho más efectiva si se promueve la concentración física de las firmas, y se incluyen las instituciones educativas en esta concentración; característica fundamental de los complejos industriales.

Ahora, si la economía se expande, las economías positivas de aglomeración pueden ser mucho mayores, al punto de incrementar la atracción del cluster y por lo tanto la entrada de firmas, incluyendo el tipo de concentración en puras aglomeraciones. Sin embargo, el crecimiento de la población de firmas no es muy notable, particularmente en los tipos de concentraciones de complejos industriales y redes sociales, debido a los efectos de la saturación del cluster, que a su vez incrementa la repulsión percibida del cluster.

Con respecto a los impactos de la formulación de este tipo de políticas en el Valle de Aburrá, se evalúan los incrementos en el progreso tecnológico y la capacidad productiva de los sectores económicos. Los resultados de estas variables ilustran un mayor crecimiento nivel de tecnología para la configuración de firmas en distritos industriales y redes sociales, que a su vez se traduce en un incremento de la capacidad productiva, gracias al aumento de la productividad del capital.

Este crecimiento es mucho más intenso ante escenarios de expansión de la economía, que favorece el incremento de la demanda y la capacidad de inversión de los sectores económicos, facilitando la

adquisición de maquinaria y tecnología para mejorar el proceso productivo, incluso para el tipo de concentración en puras aglomeraciones.

En conclusión, se requiere una mayor interacción de firmas para consolidar los spillovers de conocimiento y traducirlos en avances tecnológicos considerables ante escenarios de estabilización y expansión de la economía. Los tipos de clusters industriales de complejos industriales y redes sociales intensifican estas interacciones e incrementan la capacidad de innovación tecnológica y de producción de los sectores estratégicos en el Valle de Aburrá.

A continuación se evalúan las políticas encaminadas a atraer inversión, mediante el análisis del comportamiento de las variables de estado que representan la formación del cluster industrial y la el incremento de tecnología y capital.

### *Atracción de inversión extranjera*

La atracción de la inversión en investigación y desarrollo y capital se ha convertido en una de las principales políticas del gobierno nacional y departamental para el fortalecimiento de la actividad industrial en el país. La creación de la Agencia de Cooperación Internacional ha sido una de las estrategias mas concisas de la administración municipal para la atracción de inversión y la competitividad de los sectores en el Valle de Aburrá.

Los resultados, descritos en el anexo A.5, ilustran un incremento considerable en los niveles de tecnología y capital para ambos sectores económicos, que es mucho más notable ante escenarios de expansión de la economía local. Este incremento en la capacidad tecnológica y la adquisición de capital, genera considerables mejoras en los procesos productivos, traduciéndose en un incremento en la capacidad productiva.

El aumento de los niveles de inversión favorece la adquisición de conocimiento dentro de las firmas, gracias a los procesos internos de aprendizaje, activados por el incremento en la tecnología y el capital. Este aumento en la adquisición de conocimiento favorece la formación de economías positivas de aglomeración y aumenta la población de firmas,

Cuando se plantea el escenario de bajos niveles de inversión, donde se disminuyen los porcentajes de inversión en capital y en investigación y desarrollo, se genera un deterioro de la capacidad productiva de las firmas, debido a la poca accesibilidad a nuevas tecnologías que faciliten la ejecución de las actividades. Ante el escenario de expansión económica, se incrementa un poco los niveles de las variables evaluadas, sin embargo, sigue siendo más bajo que el valor original.

Sin embargo, no hay beneficios tan notables para la formación de clusters industriales ante el decrecimiento del nivel de inversión de los sectores económicos, bajo ninguna de las condiciones evaluadas de la economía. Esto se debe a que hay una menor dinámica en la formación de aglomeraciones económicas, debido principalmente al poco conocimiento adquirido por las firmas a partir de la experiencia.

En conclusión, una política encaminada a fomentar la inversión extranjera, mecanismos de cooperación con otras firmas a nivel mundial y el apoyo del gobierno departamental y nacional en la adquisición de nueva tecnología generan un impacto considerable en la competitividad de los sectores a nivel mundial, pues se incrementa la eficiencia en los procesos productivos, permitiendo competir por cantidad y calidad en los productos.

### 7.3. Síntesis

La formación de economías de aglomeración está directamente relacionada con la intensidad de las interacciones entre las firmas complementarias. Esta intensidad se evalúa mediante las tipologías de cluster propuestas en la sección. La evaluación de las dinámicas de formación del cluster industrial y los efectos en el crecimiento económico nos permiten concluir que para fomentar realmente crecimiento económico se hace necesario incentivar las interacciones entre las firmas mediante una mayor proximidad geográfica (complejos industriales) o intensificar las redes sociales. La interacción de firmas mediante la configuración de puras aglomeraciones no es beneficiosa, pues se requieren grandes cambios en el conocimiento al nivel interno de la firma para formar economías de aglomeración.

Así, la estrategia lanzada por la Cámara de Comercio “Comunidad Cluster”(Cámara de Comercio, 2007), encaminada a intensificar los vínculos mediante redes sociales de firmas complementarias, va bien encaminada, pues permite intensificar los derrames de conocimiento y el progreso tecnológico de los sectores en los que se concentra (Energía eléctrica, construcción, textil y turismo).

El sector textil es el más beneficiado con las economías de aglomeración, pues las políticas públicas y privadas están encaminadas en fortalecer este sector económico y hacerlo más competitivo globalmente. El sector alimentos se puede beneficiar también de estas economías de aglomeración si se intensifican adecuadamente las interacciones entre las firmas y se genera más conocimiento compartido.

El incremento de las economías de aglomeración genera grandes beneficios para los sectores económicos en el Valle de Aburrá. Con la configuración de clusters industriales se puede

intensificar el conocimiento y el progreso tecnológico en los sectores económicos estratégicos, facilitando la generación de productos de alto valor agregado y los procesos basados en innovación y desarrollo.

Finalmente, al evaluar los impactos de las políticas que fomentan la inversión extranjera y los mecanismos de cooperación internacional, se obtiene un incremento considerable en el progreso tecnológico de los sectores estratégicos estudiados, pues facilita la formación y adquisición de conocimiento mediante procesos de aprendizaje intra organizacional, pues se beneficia con la adquisición de capital y tecnología y el aumento de la experiencia de los empleados.

En conclusión, una política de fomento de la inversión, combinada con los incentivos para la formación de aglomeraciones económicas puede generar impactos considerables en el desarrollo económico y la competitividad del Valle de Aburrá, si se intensifican adecuadamente las interconexiones entre firmas complementarias y se encaminan a la formación de conocimiento y la generación de productos de alto valor agregado.

## CONCLUSIONES

El modelo de dinámica de sistemas propuesto en este trabajo permite analizar los patrones de localización y aglomeración de forma sistémica, teniendo en cuenta los factores complejos generados por la interacción de los agentes económicos en el territorio y sus posteriores efectos en el crecimiento económico y la competitividad.

Las relaciones causales se basan en los conceptos de economía urbana y geografía económica para estudiar las dinámicas de la formación de clusters industriales. Posteriormente, mediante las teorías de crecimiento endógeno, se estiman los efectos de las fuerzas de aglomeración provenientes de clusters industriales en el incremento de la capacidad de innovación en los sectores económicos.

Estas relaciones causales ayudan a estudiar las dinámicas de formación de aglomeraciones económicas y como esto contribuye al desarrollo económico del Valle de Aburrá. El entendimiento de estas causalidades permite a los entes gubernamentales evaluar el impacto de las políticas públicas en el crecimiento económico de la región en el mediano y largo plazo. Este trabajo permite además identificar los factores críticos a impulsar dentro estas políticas para incrementar la competitividad de los sectores económicos evaluados y encaminarlas adecuadamente.

Así, en este trabajo se evalúan dos políticas: “Estrategia: Comunidad cluster”, fomentada por la Cámara de Comercio y encaminada a fomentar redes de negocio de los sectores económicos estratégicos; y las labores de la Agencia de Cooperación Internacional encaminadas a la atracción de inversión extranjera, con el apoyo de la Alcaldía de Medellín y el AREA Metropolitana del Valle de Aburrá.

Los resultados de la evaluación de estas políticas nos permiten concluir que pueden incrementar el progreso tecnológico y la generación de valor agregado de dos de los sectores económicos más representativos de la economía del Valle de Aburrá: Alimentos y Textiles.

En estos resultados, el sector textil muestra una dinámica mucho más notable en cuanto a la formación de externalidades positivas y generación de conocimiento, debido a la configuración de clusters industriales, lo que le permite incrementar mucho más sus niveles de productividad y ser más competitivo globalmente. La importancia de este sector radica en su participación en los niveles de exportación y se ha convertido en un sector económico clave para la región en términos de atracción de inversión extranjera y generación de conocimiento.

Al analizar los resultados de los escenarios donde se evalúa la política “Comunidad Cluster”, se puede concluir que ésta va bien encaminada, pues favorece la interacción entre firmas y la formación de

conocimiento e innovación dentro de los sectores económicos estratégicos. Sin embargo, puede ser más efectiva si se incentiva la cercanía geográfica entre firmas complementarias y se incluye en las interacciones a las instituciones educativas, características básicas de los complejos industriales.

En cuanto a la evaluación de las políticas encaminadas a atraer inversión extranjera, estas políticas pueden generar un incremento considerable en el progreso tecnológico y la productividad del capital de los sectores económicos alimentos y textiles. Este incremento se debe a los efectos de la adquisición de nueva maquinaria y la inversión en investigación y desarrollo, que favorece el aprendizaje intra organizacional, la formación del conocimiento y la generación de externalidades positivas que atraen nuevas firmas al cluster industrial.

Estas políticas combinadas pueden generar impactos considerables en el desarrollo económico y la competitividad del Valle de Aburrá, si se intensifican adecuadamente las interconexiones entre firmas complementarias y se incrementa la inversión hacia la investigación y el desarrollo. Este desarrollo económico puede generar bienestar a los habitantes de la región mediante la formación de nuevos empleos de buena calidad.

## TRABAJO FUTURO

En el futuro, se pretende incluir entre las externalidades de red que determinan la formación de los clusters industriales aquellos aspectos territoriales, asociados con la accesibilidad de proveedores y clientes, la disponibilidad de servicios y equipamientos, la renta del suelo, entre otros factores que impactan la atracción de firmas al cluster y la formación de economías de aglomeración. Al incluir estos aspectos los agentes públicos pueden además evaluar políticas de ordenamiento territorial y de expansión física de la ciudad.

Además, se pueden incluir los efectos de la estructura interna de las firmas en la formación de conocimiento, para ello se incluyen las dinámicas de la evolución de las firmas a lo largo de su ciclo de vida, representando las etapas mediante los tamaños económicos característicos de las firmas (micro, pequeña, mediana y grande), y teniendo en cuenta los procesos de nacimiento, crecimiento, cambio de tamaño económico y muerte.

Desde el punto de vista de crecimiento económico, este trabajo sólo considera los efectos de los clusters industriales en el incremento de la tecnología y la productividad de los sectores económicos. Para un análisis más profundo, puede incluirse la intensidad de las interacciones de los sectores económicos con el mundo, el aumento del valor de las exportaciones y el grado de competitividad con respecto a las demás firmas a nivel global.

Este tipo de modelos facilita a los agentes públicos aprender sobre los impactos que pueden tener las políticas de atracción de inversión y fomento de clusters industriales en el desarrollo económico del Valle de Aburrá.





## BIBLIOGRAFÍA

ACI, Alcaldía de Medellín y Medellín, Camara de Comercio de, (2006). Manual para invertir en Medellín en el sector Textil-Confección, Agencia de Cooperación Internacional, Medellín.

ACI y Área Metropolitana del Valle de Aburrá, (2006). ¿Por qué el Valle de aburra? Convenio interadministrativo N°653 30 de diciembre de 2005. Caracterización Económica del Valle de Aburrá, Agencia de Cooperación Internacional, Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Medellín. <http://www.metropol.gov.co/siata/Caracterizacion%20economica%20Barbosa.pdf>.

Alcaldía de Medellín, (2004). Plan de desarrollo 2004-2007 "Medellín, compromiso de toda la ciudadanía", Municipio de Medellín, Medellín.

Alcaldía de Medellín, (2007). Cultura E. Definición de clusters estratégicos, (*Acceso: Enero, 2008*). <http://www.culturaemedellin.gov.co/>.

Alcaldía de Medellín, ACI y Cámara de Comercio, (2006). Manual para invertir en Medellín en el sector textil confección, Alcaldía de Medellín, Medellín. [www.acimedellin.org/](http://www.acimedellin.org/).

Área Metropolitana del Valle de Aburrá, (2007). Plan Integral de Desarrollo Metropolitano Metropoli 2008-2020, AREA Metropolitana del Valle de Aburrá,, Medellín,.

Arrow, Kenneth, (1962). The economic implications of learning by doing. The review of economic studies, Vol. 29(N°3), pp. 155-173.

Audretsch, David, (1995). agglomeration and the location of innovative activity. oxford review of economic policy, Vol 4(N°2).

Barlas, Yaman, (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. System dynamics review, Vol. 12(N°3), pp 183-206.

Betancur, Maria Soledad, (2001). Globalización: Cadenas productivas y redes de acción colectiva: Reconfiguración territorial y nuevas formas de pobreza y riqueza en Medellín y el Valle de Aburrá, Bogotá. <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/colombia/ipc/betancur/Cap1.pdf>.

Brenner, Thomas y Weigelt, Niels, (2000). The evolution of industrial cluster - simulating spatial dynamics, (Acceso: Enero, 2008). <http://fmwww.bc.edu/cef00/papers/paper284.pdf>.

Camagni, Roberto, (2005). Economía Urbana. Universidad Autónoma de Barcelona, España, Barcelona.

Cámara de Comercio, (2007). Comunidad Cluster Medellín y Antioquia, Camara de Comercio de Medellín, Medellín. <http://www.camaramed.org.co:8080/cluster/quees.jsp?idquees=1>.

Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia y ECSIM, (1995). Creando Ventaja competitiva de Medellín, Cámara de Comercio de Medellín, Medellín.

Congreso de la República de Colombia, (1995). LEY No. 222. (20 de diciembre de 1995) "Por la cual se modifica el libro II del código de comercio, se expide un nuevo régimen de procesos concursales., Congreso de Colombia,, Bogotá. <http://www.supersociedades.gov.co/ss/drvisapi.dll?MIval=sec&dir=47&id=742&m=td&a=td&d=depend>.

Cordi, Angela, (1999). Primera Aproximación a la construcción de SAM social regional en Colombia, vol. Documento 121, Bogotá. <http://www.dnp.gov.co/PortalWeb/EstudiosEconomicos/ArchivosdeEconom%C3%ADa/1999/tabid/455/Default.aspx>.

DANE, (2002). Preguntas frecuentes\_ PIB, (Acceso: Agosto, 2007). [http://www.dane.gov.co/files/faqs/faq\\_pib.pdf](http://www.dane.gov.co/files/faqs/faq_pib.pdf).

DANE, (2006). Glosario Encuesta Anual Manufacturera, Departamento Administrativo Nacional de Estadística, (Acceso: Abril, 2008). [http://www.dane.gov.co/index.php?option=com\\_content&task=category&sectionid=17&id=359&Itemid=844](http://www.dane.gov.co/index.php?option=com_content&task=category&sectionid=17&id=359&Itemid=844).

DANE, (2008). Boletín de Prensa: principales indicadores del mercado laboral. Informalidad. Trimestre móvil marzo-mayo 2008, Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Bogotá D.C. [www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ech/ech\\_informalidad/bolet\\_ech\\_informalidad\\_feb\\_abr2008.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ech/ech_informalidad/bolet_ech_informalidad_feb_abr2008.pdf).

DANE, (2009). Cuentas departamentales, Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Bogotá.

DANE, Departamento Nacional de Planeación y Instituto Colombiano para el desarrollo de ciencia y tecnología, (2005). innovación y desarrollo tecnológico en la industria manufacturera 2003-2004, Bogotá. <http://www.ocyt.org.co>.

Dangelico, Rosa María, Garavelli, Achille Claudio y Petruzzelli, Antonio Messeni, (2008). Knowledge creation and transfer in local and global technology networks: a system dynamic perspective. International Journal of Globalisation and Small Business, Vol 2.(N°3), pp. 300 - 324. <http://www.inderscience.com/storage/f212381051114769.pdf>.

Departamento Administrativo de Planeación de Antioquia, (2004). Anuario Estadístico de Antioquia 2004, Gobernación de Antioquia. <http://planeacion.gobant.gov.co/estadisticas/estadisticas.html>.

Departamento Administrativo de Planeación de Antioquia, (2005). Anuario Estadístico de Antioquia 2005, Gobernación de Antioquia. <http://planeacion.gobant.gov.co/estadisticas/estadisticas.html>.

Departamento Administrativo de Planeación de Antioquia, (2006). Anuario Estadístico de Antioquia 2006, Gobernación de Antioquia. <http://planeacion.gobant.gov.co/estadisticas/estadisticas.html>.

Departamento Administrativo de Planeación de Antioquia, (2007). Anuario Estadístico de Antioquia 2007, Gobernación de Antioquia. <http://planeacion.antioquia.gov.co/anuario-2007/index.htm>.

Dirección Nacional de Planeación, (2004). Análisis de cadenas productivas, (Acceso: <http://www.dnp.gov.co/PortalWeb/Programas/DesarrolloEmpresarial/Competitividad/Estadisticas/tabid/234/Default.aspx>).

ECSIM, (2004a). Agenda de Innovación y desarrollo científico y tecnológico para Medellín y Antioquia, Centro de Estudios de Economía Sistemica, Medellín.

ECSIM, (2004b). Convenio 434 de 2004: Propuesta de Modelo Integral de Planeación y Simulación para la gestión social del desarrollo en el Área Metropolitana y determinación de impactos ambientales, urbanos y de movilidad., Centro de Estudios de Economía Sistemica, Medellín.

Forrester, Jay y Senge, Peter, (1980). Test for building confidence in system dynamics models. *TIMS Studies on the management sciences*, Vol 14, pp 209-228.

Fritsch, Michael, (2002). Measuring the quality of regional innovation systems: A knowledge production function approach. *International Regional science review*, Vol 25(1), pp 86-101. <http://irx.sagepub.com/cgi/content/abstract/25/1/86>.

González, isabel, LaCalle, Maria Cruz, Simon, Jesus y Romero, Domí, (2004). *Economía Para ingenieros*, Madrid, España.

Hernández, Julia, (2006). *La Ciudad y su Análisis Intra-Urbano: La Localización de Actividades Económicas y el Futuro de los Centros*, Universidad Autónoma de Chihuahua, (Acceso: Abril, 2007). <http://www.eumed.net/ce/2006/jha-ciu.htm>.

Huber, George, (1991). Organizational learning: The contributing processes and the literatures. *Organization Science*, Vol. 2(Nº1. Especial Issue: Organizational Learning: Papers in honor of James G. March), pp 88-115.

Iregui, Ana Maria, Melo, Luis Fernando y Ramírez, Maria Teresa, (2006). Productividad Regional y sectorial en Colombia: Un análisis utilizando datos de panel. *Ensayos sobre Política Económica*, Vol 25(Nº53), pp 18-65.

Isbasoiu, George Marian, (2007). Industrial clusters and regional development. The case of timosoara and montebelluna. ERIK Network conference(RTN Urban Europe Program). [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1022310](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1022310).

Jaffe, Adam, Trajtenberg, Manuel y Henderson, Rebecca, (1993). Geographic localization of knowledge spillovers as evidenced by patent citations. *The quarterly journal of economics*, Vol 108(Nº3), 577-598.

Joutz, Frederick y Abdih, Yasser, (2004). Relating the knowledge production function to total factor productivity: an endogenous growth puzzle, George Washington University.

Kendrick, John, (1979). Increasing productivity. *Proceedings of the academy of political science*, Vol. 33(Nº3), 190-202.

Krugman, Paul, (1991). Increasing Returns and Economic Geography. *The Journal of Political Economy*, 99(3), 483-499.

Krugman, Paul, (1994). Complex Landscapes in Economic Geography. *The American Economic Review*, 84.

Krugman, Paul, (1998) of Conference. The role of geography in development. Annual World Bank conference on development economics., Washington D.C,

Krugman, Paul, Fujita, Masahisa y Venables, Anthony, (1999). *The spatial economy*. books.google.com.co.

Lin, Chin-Huang, Tung, Chiu-Mei y Huang, Chih-Tai, (2006). Elucidating the industrial cluster effect from a system dynamics perspective., Chung Hua University, Taiwan.

Lotero, Jorge, Botero, Hernan, Giraldo, Yudy y Moreno, Ana Isabel, (2005). *Desarrollo y competitividad de la Industria de Antioquia en un contexto de integración económica*. Grupo de Estudios Regionales, Universidad de Antioquia.

Mccan, Philip y Iammarino, Simona, (2006). The structure and evolution of industrial clusters: transactions, technology and knowledge spillovers. *Research policy*, 35.

Moncayo, Edgar, (2007). *Modelos de Desarrollo Regional: Teorías y Factores determinantes*. <http://www.sogeocol.com.co/documentos/0mode.pdf>.

Navarro, Mikel, (1997a). Definiciones importantes sobre clústers industriales. [www.ucm.es/BUCM/cee/iaif/27/27.pdf](http://www.ucm.es/BUCM/cee/iaif/27/27.pdf).

Navarro, Mikel, (1997b). El análisis y la política de clústers., (*Acceso: Diciembre, 2007*). [www.ucm.es/BUCM/cee/iaif/27/27.pdf](http://www.ucm.es/BUCM/cee/iaif/27/27.pdf).

Nicholson, Walter, (2001). *Microeconomic theory, basic principles and extensions*, vol. 8°, Estados Unidos.

Observatorio Colombiano de ciencia y Tecnología, (2006). *Colombia: Indicadores de ciencia y tecnología*. <http://www.ocyte.org.co>.

Organization for economic cooperation and development, (2001). *Innovative Clusters. Drivers of national innovation systems*, Paris. Francia.

Pombo, Carlos, (1999). Productividad industrial en Colombia: Una aplicación de números índices. *Revista de Economía*. Universidad del Rosario, Vol 11, pp. 107-139.

Porter, Michael, (1998). Clusters and the new economics of competition. Harvard Business Review, Vol. 76(Issue 6), 77.

Rodríguez, Maria Jose, (2000). Modelos Socio demográficos: Modelos Socio - Espaciales. Universidad de Alicante, España.

Romer, Paul, (1994). The origins of endogenous growth. The Journal of Economic Perspectives, Vol 8(Nº1), pp 3-22.

Romer, Paul M., (1990). Endogenous Technological Change. Journal of Political Economy, 98(s5), S71. <http://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/261725>.

Sala-I-Martin, Xavier, (1999). Apuntes de Crecimiento económico, Barcelona, España.

Solow, Robert, (1956). A contribution to the theory of economic growth. The quarterly journal of economics, 70(Nº1), pp 65-94.

Sterman, John D., (2000). Business Dynamics. Systems thinking and modeling for a complex world. Massachusetts Institute of Technology, Boston.

Supersociedades, (2007). Boletín Estadístico, Estados financieros. Años 2003-2006, Superintendencia de Sociedades, (Acceso: Agosto, 2007). <http://www.supersociedades.gov.co/ss/drvisapi.dll?MIval=sec&dir=329>.

Universidad Nacional de Colombia, (2009). Modelo de apoyo a la toma de decisiones en planificación y ordenamiento territorial para el Valle de Aburrá. Convenio 297 de 2006. Documentos de avance técnico, Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Medellín.

Ventura, H y perdo, J, (2009). La evolución de los factores de localización de actividades.

Vila, L., Cabrer, B. y Pavía, J, (2007). A knowledge based model of regional growth. XVI Jornadas de la asociación de economía de la educación. [www.congresos.ulpgc.es/aeet\\_aede/.../Vila-Cabrer-Pavia.pdf](http://www.congresos.ulpgc.es/aeet_aede/.../Vila-Cabrer-Pavia.pdf).

Villamil, Jesus Alberto, (2003). Productividad y cambio tecnológico en la industria colombiana. Economía Y desarrollo, Vol2(Nº1).

## A. ANEXOS

### A.1. Algunos ejemplos de Clusters Industriales en el mundo

(Organization for economic cooperation and development, 2001)

PAIS	SECTOR ECONÓMICO AL QUE PERTENECE	DESCRIPCIÓN DEL CLUSTER
California, Estados Unidos	Informática	Silicon Valley. Se concentra en la fabricación de semiconductores, computadoras y programas de computación. Esta red ha sido sumamente exitosa debido al desarrollo de una estructura social muy sólida y con múltiples vínculos entre firmas
San Diego, Estados Unidos	Bioteología	En esta región surge una red social que concentra firmas especializadas en bioteología, generando gran movilidad de mano de obra y firmas (p.e Hybritech) y crecimiento del sector.
Finlandia, Irlanda, Dinamarca	ICT (Information and communication technology)	El cluster se concentra en la fabricación de equipos de telecomunicaciones. Se integra con las universidades para soportar el desarrollo del cluster.
España	Telecomunicaciones	Se concentra en la fabricación y consumo de equipos electrónicos y de telecomunicaciones mediante la promoción de actividades de I+D y la integración de diferentes industrias del cluster
Noruega	Producción agrícola de alimentos	Es la actividad predominante en este país, representando el 10% del PIB total del país y el 10% del empleo doméstico. Se concentra en la producción de productos intermedios y finales usados en la producción de alimentos.
Dinamarca, Suiza	Construcción	Incluye todas las actividades relacionadas con la producción de elementos necesarios para la construcción y su integración con grandes constructoras, contribuyendo de forma integrada a la construcción, mantenimiento y demolición de edificios.

### A.2. Lista de variables endógenas

#### *Modulo de aglomeración económica*

Nombre	unidades	tipo de variable	formulación
firmas in	firma	nivel	INTEG(entrada cluster + nacimientos in-muertes in-Salida cluster)



Nombre	unidades	tipo de variable	formulación
			Valor inicial=Población inicial Clúster
firmas out	firma	nivel	INTEG(nacimientos out + Salida cluster-entrada cluster-muertes out) Valor inicial=Población Firmas
Entrada Cluster	firma/año	Flujo	firmas in x potencial de entrada
Salida Cluster	firma/año	Flujo	firmas out x potencial de salida
nacimientos out	firma/año	Flujo	firmas out x tasa natalidad
muertes out	firma/año	Flujo	firmas out x tasa mortalidad
nacimientos in	firma/año	Flujo	firmas in x tasa natalidad
muertes in	firma/año	Flujo	firmas in x tasa mortalidad
potencial de salida	1/año	auxiliar	repulsión percibida + efecto negativo cluster
potencial de entrada	1/año	auxiliar	atracción percibida
repulsión percibida	1/año	auxiliar	SMOOTH(Repulsión, tiempo formación expectativas rent )
atracción percibida	1/año	auxiliar	SMOOTH(Atracción, tiempo formación expectativas rent )
repulsión	1/año	LOOKUP	Diferencia rentabilidades LOOKUP: ([[(-1,0)-(1,1)],(-1,0.6),(-0.864253,0.59736),(-0.728507,0.587459),(-0.588235,0.567657),(-0.484163,0.544554),(-0.334842,0.49835),(-0.208145,0.442244),(-0.0904977,0.372937),(0,0.3),(0.0678733,0.240924),(0.153846,0.184818),(0.266968,0.132013),(0.38914,0.099099),(0.502262,0.0660066),(0.647059,0.039604),(0.769231,0.0231023),(0.886878,0.00660066),(1,0) )
atracción	1/año	LOOKUP	Diferencia rentabilidades LOOKUP: ([[(-1,0)-(1,1)],(-1,0),(-0.78733,0.00990099),(-0.61086,0.0231023),(-0.484163,0.0363036),(-0.330317,0.0924092),(-0.19457,0.155116),(-0.0723982,0.224422),(0,0.3),(0.0769231,0.379538),(0.176471,0.448845),(0.352941,0.514852),(0.502262,0.554455),(0.674208,0.577558),(0.859729,0.594059),(1,0.6) )
diferencia rentabilidades	Dmnl	auxiliar	IF THEN ELSE( Rentabilidad percibida in- rentabilidad percibida out>1 , 1 , Rentabilidad percibida in- rentabilidad percibida out)
efecto cluster negativo	1/año	LOOKUP	Saturación percibida LOOKUP: ([[0,0)(3,0.8)],(0,0),(0.41629,0),(0.714932,0.00528053),(1,0.0158416),(1.27602,0.0475248),(1.52036,0.089769),(1.77376,0.142574),(1.99095,0.2033),(2.13575,0.253465),(2.36199,0.335314),(2.57014,0.427723),(2.75113,0.530693),(2.88688,0.615182),(3,0.7) )
Saturación percibida	Dmnl	auxiliar	SMOOTH(porcentaje saturación, tiempo formación expectativas rent)
porcentaje saturación	Dmnl	auxiliar	firmas in/población máxima crítica
población máxima crítica	firma	auxiliar	población firmas x porcentaje potencial
población firmas	firma	auxiliar	firmas in+firmas out
Rentabilidad percibida in	Dmnl	auxiliar	SMOOTH(Rentabilidad in, tiempo formación expectativas rent )

Nombre	unidades	tipo de variable	formulación
Rentabilidad percibida out	Dmnl	auxiliar	SMOOTH(Rentabilidad out, tiempo formación expectativas rent )
rentabilidad in	Dmnl	auxiliar	(ingresos in- costos in)/ingresos in
rentabilidad out	Dmnl	auxiliar	(ingresos out- costos out)/ingresos out
costos out	millones\$	auxiliar	costos por firma x firmas out
costos in	millones\$	auxiliar	costos por firma in x firmas in
ingresos out	millones\$	auxiliar	firmas out x ingresos por firma
ingresos in	millones\$	auxiliar	firmas in x ingresos por firma in
ingresos por firma in	millones\$/firma	auxiliar	ingresos por firma x (1+economías de aglomeración
costos por firma in	millones\$/firma	auxiliar	costos por firma x (1- economías de aglomeración)
ingresos por firma	millones\$/firma	auxiliar	ingresos/poblacion firmas
costos por firma	millones\$/firma	auxiliar	costos totales/poblacion firmas
efecto cluster por firmas	Dmnl	LOOKUP	firmas in/ref firmas LOOKUP: ((0,0)- (1,1)],(0,0),(0.11086,0.00990099),(0.199095,0.0217822),(0.276018,0.0316832),(0.364253,0.0514852),(0.44796 4,0.0811881),(0.533937,0.112871),(0.613122,0.144554),(0.696833,0.19604),(0.764706,0.257426),(0.830317,0.328 713),(0.88914,0.4),(0.947964,0.49901),(1,0.6) )
economías de aglomeración	Dmnl	auxiliar	efecto cluster por conocimiento+efecto cluster por firmas

### *Módulo de formación y transferencia de conocimiento*

Nombre	unidades	tipo de variable	formulación
tasa de conocimiento compartido	l/year	auxiliar	(tasa conocimiento por imitación + tasa conocimiento por interacción)*(1+economías de aglomeración)
spillover conocimiento	patentes/year	flujo	conocimiento compartido x tasa conocimiento compartido
conocimiento compartido	patentes	nivel	INTEG(spillover de conocimiento) valor inicial = conocimiento inicial por sector/2
curva de aprendizaje	l/year	LOOKUP	Time LOOKUP: ((0,0)- (51,0.1)],(0,0.0001),(4.73077,0.00264026),(9.34615,0.00660066),(14.1923,0.0122112),(19.3846,0.0191419 ) ,(24.4615,0.0264026),(29.4231,0.0349835),(34.0385,0.0438944),(37.3846,0.0518152),(40.8462,0.06105 61),(43.6154,0.069637),(46.6154,0.079868),(48.6923,0.0891089),(51,0.1) )
tasa de aprendizaje	l/year	auxiliar	curva aprendizaje + incremento por experiencia

Nombre	unidades	tipo de variable	formulación
incremento por experiencia	l/year	auxiliar	DELAY3(conversión capital en experiencia, tiempo de adquisición de experiencia )
conversión capital en experiencia	l/year	auxiliar	(incremento tecnología + adquisición capital)*elasticidad experiencia capital
elasticidad experiencia capital	l/millones\$	auxiliar	l/costo unitario experiencia
aprendizaje	patentes/year	flujo	conocimiento adquirido*tasa de aprendizaje
conocimiento adquirido	patentes	nivel	INTEG(aprendizaje) valor inicial = conocimiento inicial por sector/2
conocimiento total	patentes	auxiliar	conocimiento compartido + conocimiento adquirido
Efecto total normalizado	dmnl	auxiliar	conocimiento total/ref conocimiento total
efecto cluster por conocimiento	dmnl	LOOKUP	Efecto total normalizado LOOKUP: ((0,0)- (1,0.5)),(0,0),(0.0837104,0.00495049),(0.171946,0.00990099),(0.251131,0.0132013),(0.350679,0.0231023 ) ,(0.445701,0.039604),(0.533937,0.0676568),(0.617647,0.0990099),(0.701357,0.140264),(0.785068,0.18 9769),(0.846154,0.234323),(0.900452,0.277228),(0.943439,0.316832),(0.979638,0.356436),(1,0.4) )

### Módulo de crecimiento económico

Nombre	unidades	tipo de variable	formulación
PIB Sectorial Antioquia	millones\$	auxiliar	PIB Antioquia x Participación PIB sectorial antioquia
PIB Base AMVA	millones\$	auxiliar	participación AMVA en PIB Antioquia x PIB Sectorial Antioquia
PIB Proyectado	millones\$	auxiliar	PIB Proyectado anterior x (1+Tasa crecimiento PIB)
PIB proyectado anterior	millones\$	auxiliar	DELAY FIXED ( PIB proyectado , 1 , PIB Base AMVA)
demanda proyectada	millones\$	auxiliar	PIB proyectado x Porcentaje de participación demanda en PIB
Inversión proyectada	millones\$	auxiliar	PIB proyectado x Porcentaje de participación inversión en PIB
capital inicial de trabajo	millones\$	auxiliar	PIB proyectado x porcentaje participación inversión en PIB
Demanda esperada	millones\$	auxiliar	SMOOTH(demanda proyectada, tiempo formación de expectativas )
producción deseada	unidad	auxiliar	demanda esperada/precio unitario
producción	unidad	auxiliar	MIN(producción deseada, capacidad productiva)
ingresos	millones\$	auxiliar	producción x precio unitario
inversión capital	millones\$/year	flujo	Inversión proyectada x porcentaje a invertir en capital
inversión i+d	millones\$/year	flujo	Inversión proyectada x porcentaje a invertir en ID
demanda normalizada	Dmnl	auxiliar	demanda proyectada/ref demanda
Función de Demanda	millones\$/unidad	LOOKUP	demanda normalizada x (1+efecto tecnología)

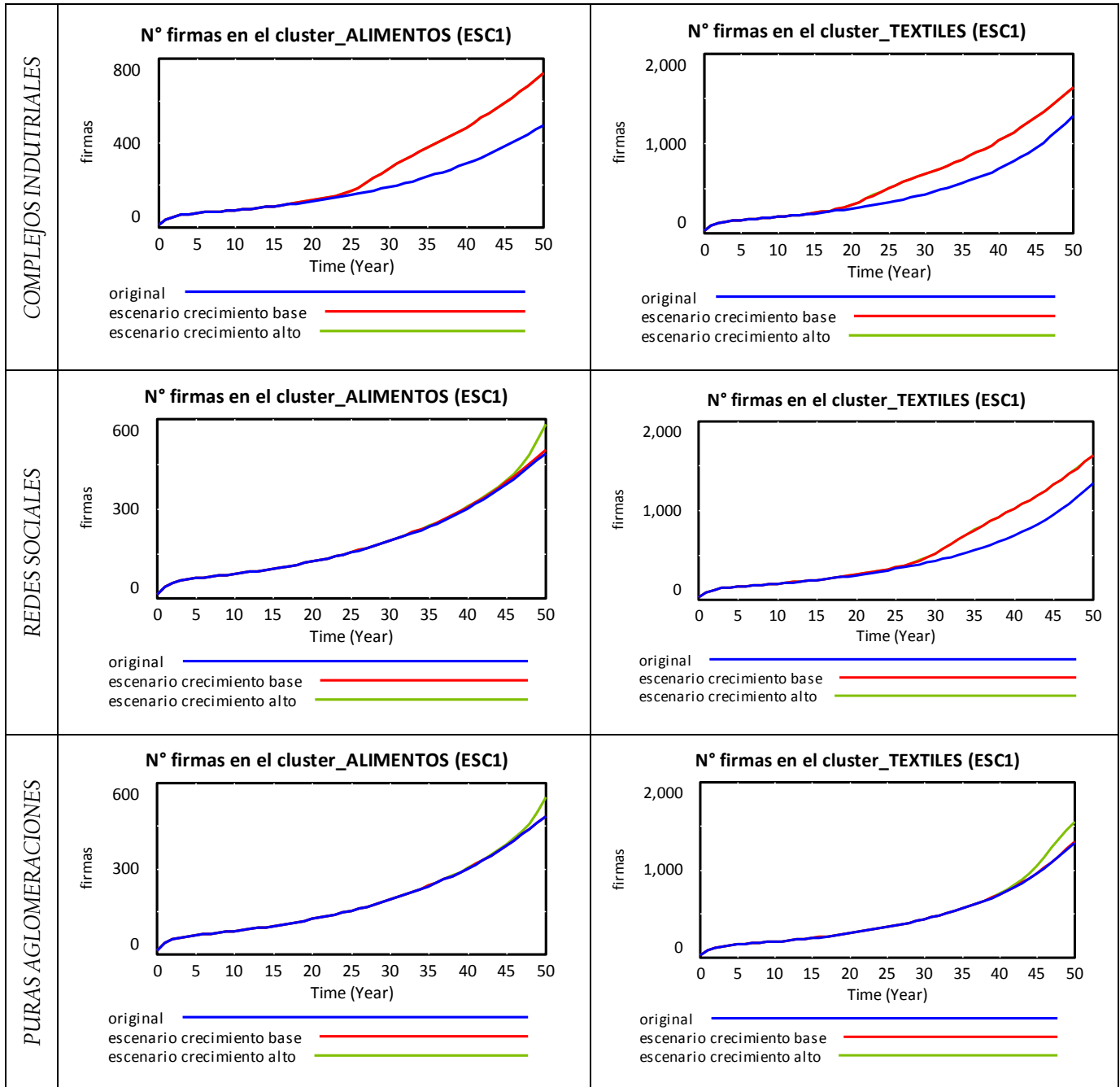
Nombre	unidades	tipo de variable	formulación
			LOOKUP: ([ (0,0) - (1,0.01) ], (1e-005,0.01), (0.0180995,0.0090429), (0.0452489,0.0079868), (0.0791855,0.00709571), (0.11991,0.00617162), (0.183258,0.00511551), (0.251131,0.00419142), (0.309955,0.00353135), (0.38914,0.00290429), (0.475113,0.00240924), (0.552036,0.0019802), (0.631222,0.00168317), (0.710407,0.00141914), (0.809955,0.00115512), (0.904977,0.000957096), (1,0.0008) )
precio unitario	millones\$/unidad	auxiliar	Función de demanda x (1+rentabilidad deseada)
costos totales	millones\$	auxiliar	Función de demanda x producción
productividad capital	unidad/millones\$	auxiliar	1/Función de demanda + (1+ Efecto Tecnología)
capacidad productiva	unidad	auxiliar	capital x (1+productividad capital)
adquisición de capital	millones\$/year	flujo	inversión capital
depreciación capital	millones\$/year	flujo	tasa depreciación x capital
capital	millones\$	nivel	INTEG(adquisición capital - depreciación capital) VALOR INICIAL=Capital inicial
efectos conocimiento	patentes	auxiliar	DELAY3(conocimiento total, tiempo de retardo )
conocimiento normalizado	Dmnl	auxiliar	efectos conocimiento/ref efectos conocimiento
capacidad de innovación	Dmnl	LOOKUP	conocimiento normalizado LOOKUP: ([ (0,0) - (1,1) ], (0,0), (0.0791855,0.0231023), (0.178733,0.0660066), (0.269231,0.112211), (0.352941,0.155116), (0.429864,0.211221), (0.522624,0.280528), (0.604072,0.353135), (0.680995,0.429043), (0.760181,0.531353), (0.825792,0.627063), (0.875566,0.719472), (0.923077,0.815181), (0.970588,0.920792), (1,1) )
tasa incremento tecnología	Dmnl	auxiliar	capacidad de innovación
incremento tecnología	millones\$/year	flujo	inversión I D x tasa incremento tecnología
tecnología	millones\$	nivel	INTEG(incremento tecnología) Valor inicial= tecnología inicial
efecto tecnología	Dmnl	LOOKUP	Tecnología LOOKUP: ([ (0,0) - (1,1) ], (0,0), (0.0135747,0.0726073), (0.040724,0.148515), (0.0882353,0.237624), (0.149321,0.339934), (0.21267,0.429043), (0.273756,0.504951), (0.350679,0.584158), (0.432127,0.660066), (0.513575,0.729373), (0.608597,0.80198), (0.714932,0.874587), (0.809955,0.927393), (0.909502,0.973597), (1,1) )

## A.3. Lista de variables exógenas

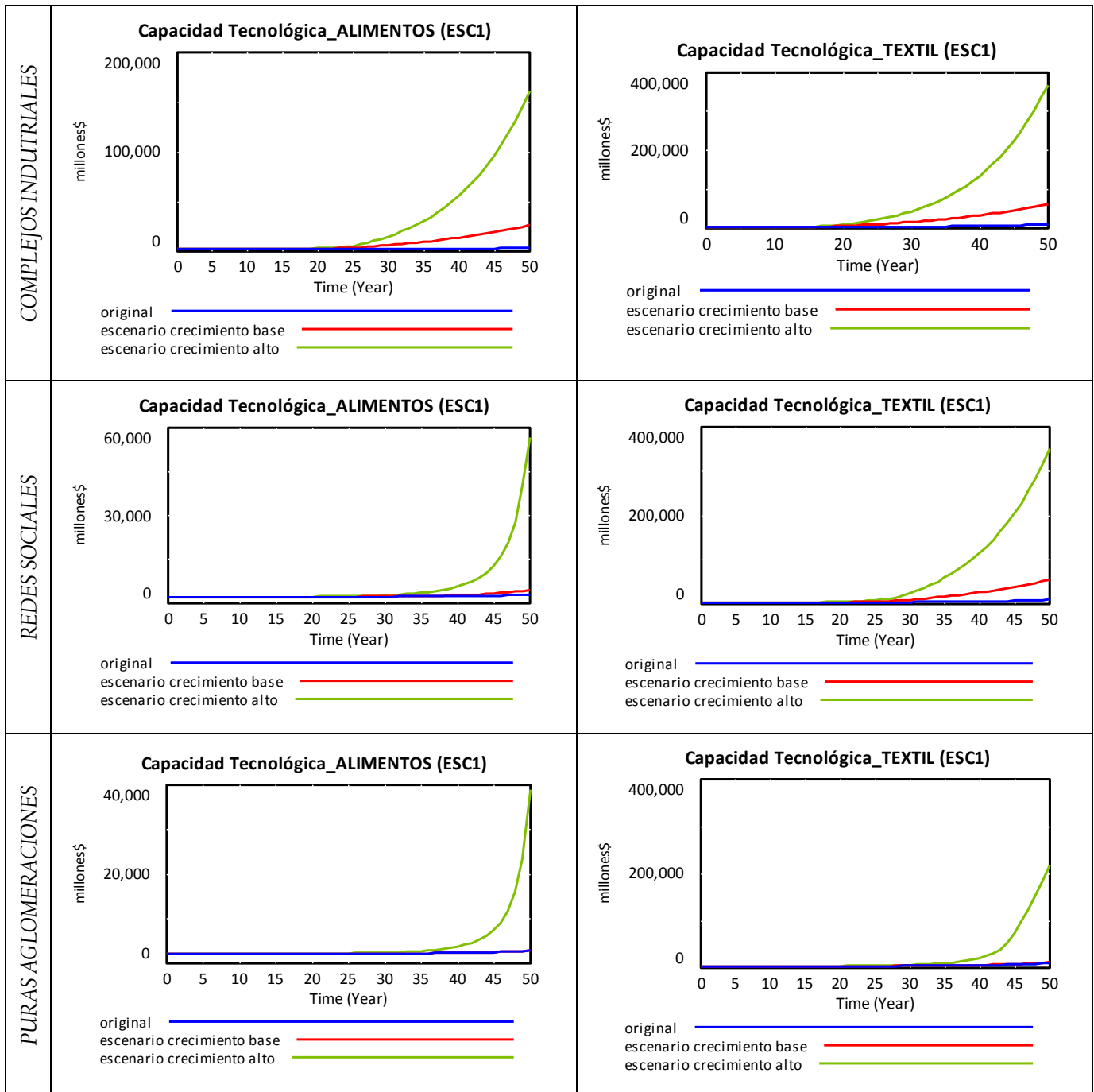
Nombre	unidades	tipo de variable	formulación
Población inicial Firmas	firma	parámetro	123;274
Población inicial clúster	firma	parámetro	12;15
porcentaje potencial	Dmnl	parámetro	0.3; 0.3
Tasa Natalidad	l/año	parámetro	0.05961;0.05961
Tasa Mortalidad	l/año	parámetro	0.01528;0.01528
tiempo de formación de expectativas rent	año	parámetro	5
ref firmas	firma	parámetro	1.600
Tasa conocimiento por imitación	l/year	parámetro	0.005;0.008
Tasa conocimiento por interacción	l/year	parámetro	0.005;0.008
Conocimiento inicial por sector	patentes	parámetro	27, 73
costo unitario experiencia	millones\$	parámetro	1e+006,2e+006
tiempo de adquisición de experiencia	year	parámetro	4
Ref conocimiento total	Patentes	Parámetro	1100
PIB Antioquia	millones\$	parámetro	48,236,100
Participación PIB Antioquia	l/year	parámetro	0.0448, 0.0172
Participación AMVA en PIB Antioquia	Dmnl	parámetro	0.67
Tasa crecimiento PIB	Dmnl	parámetro	0.0505
Porcentaje participación de la demanda en PIB	Dmnl	parámetro	0.912072, 0.79572
Porcentaje participación de la inversión en PIB	Dmnl	parámetro	0.0063, 0.0365
capital inicial	millones\$	parámetro	20000;10000
tasa de depreciación de capital	Dmnl	parámetro	0.181, 0.123
Rentabilidad deseada	Dmnl	parámetro	0.3, 0.3
porcentaje a invertir en I+D	Dmnl	parámetro	0.01455, 0.01455
Porcentaje a invertir en capital	Dmnl	parámetro	0.6,0.6
Ref efectos conocimiento	patentes	parámetro	700
tiempo de formación de expectativas	year	parámetro	4
ref demanda	millones\$	parámetro	4e+007
tiempo retardo conocimiento	year	parámetro	4
tecnología inicial	millones\$	parámetro	11624;10402

### A.4. Resultados de escenarios de cooperación entre firmas

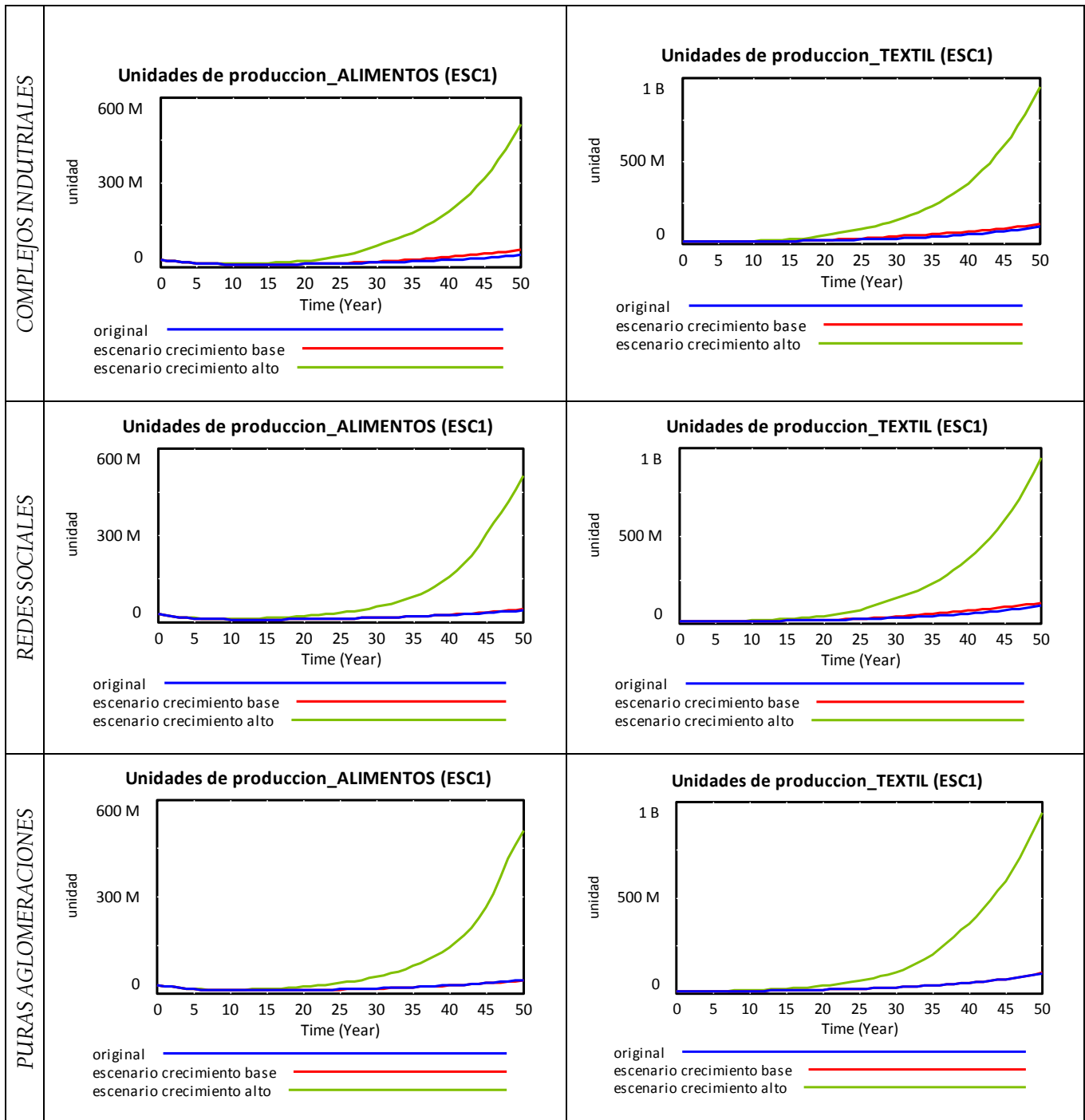
*Firmas in*



Capacidad tecnológica



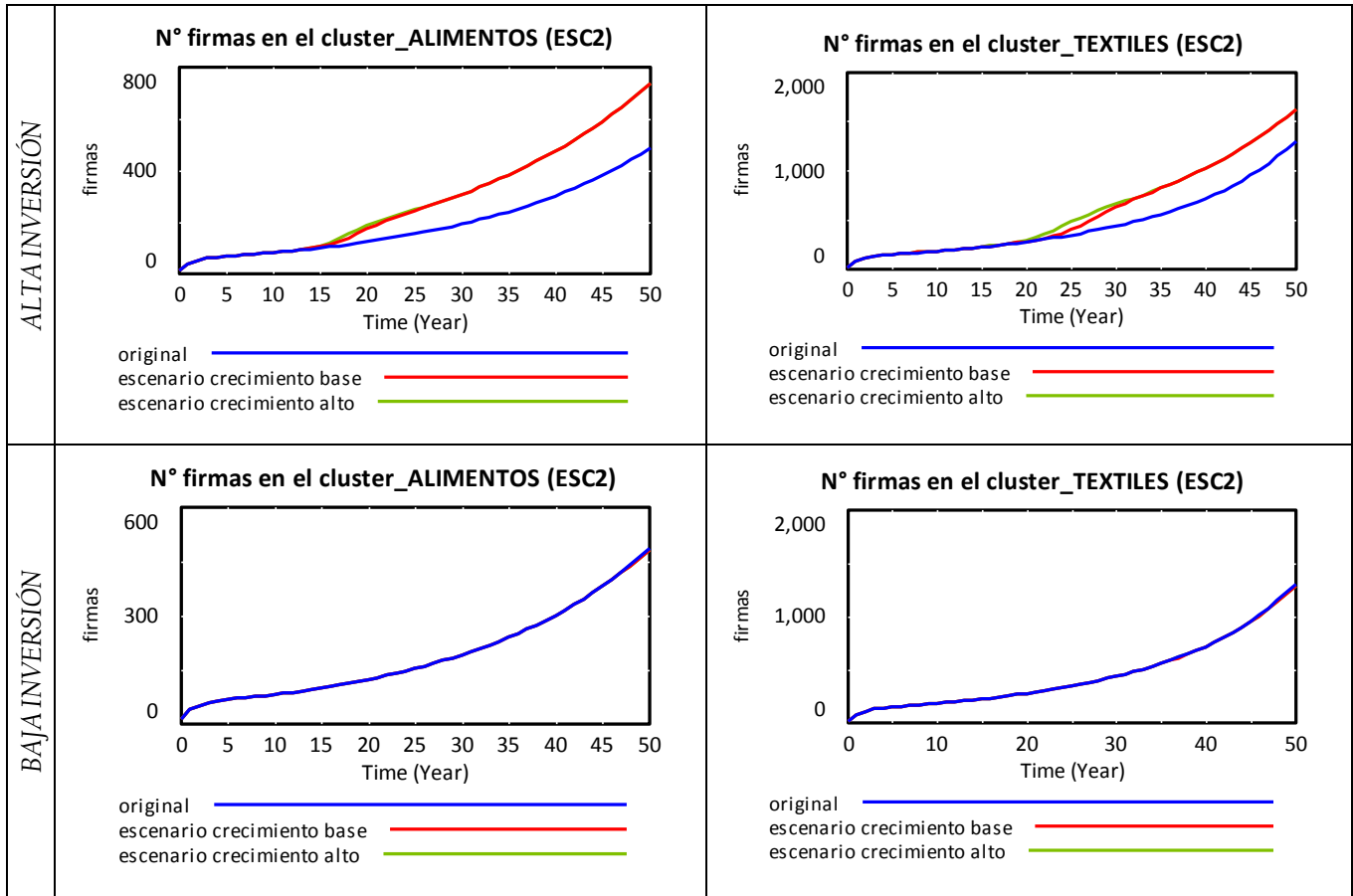
*Unidades de producción*



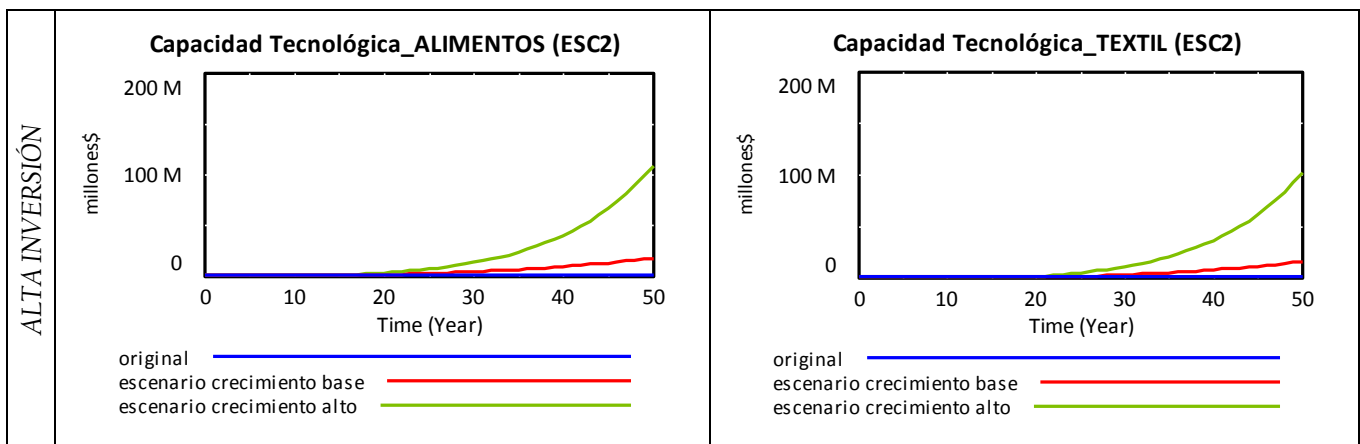


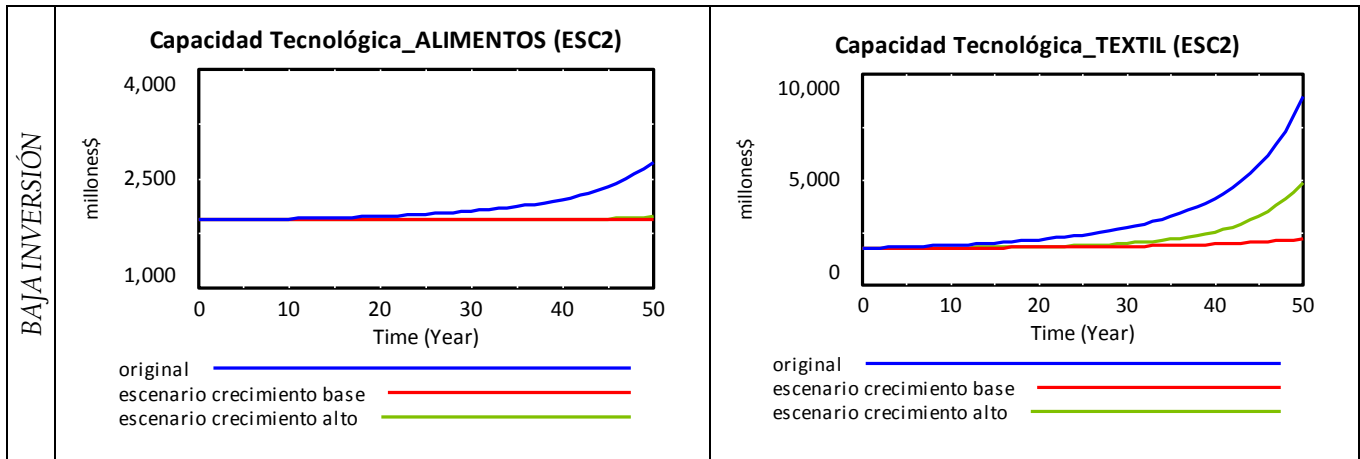
### A.5. Resultados de escenarios de atracción de inversión extranjera

#### Firmas in

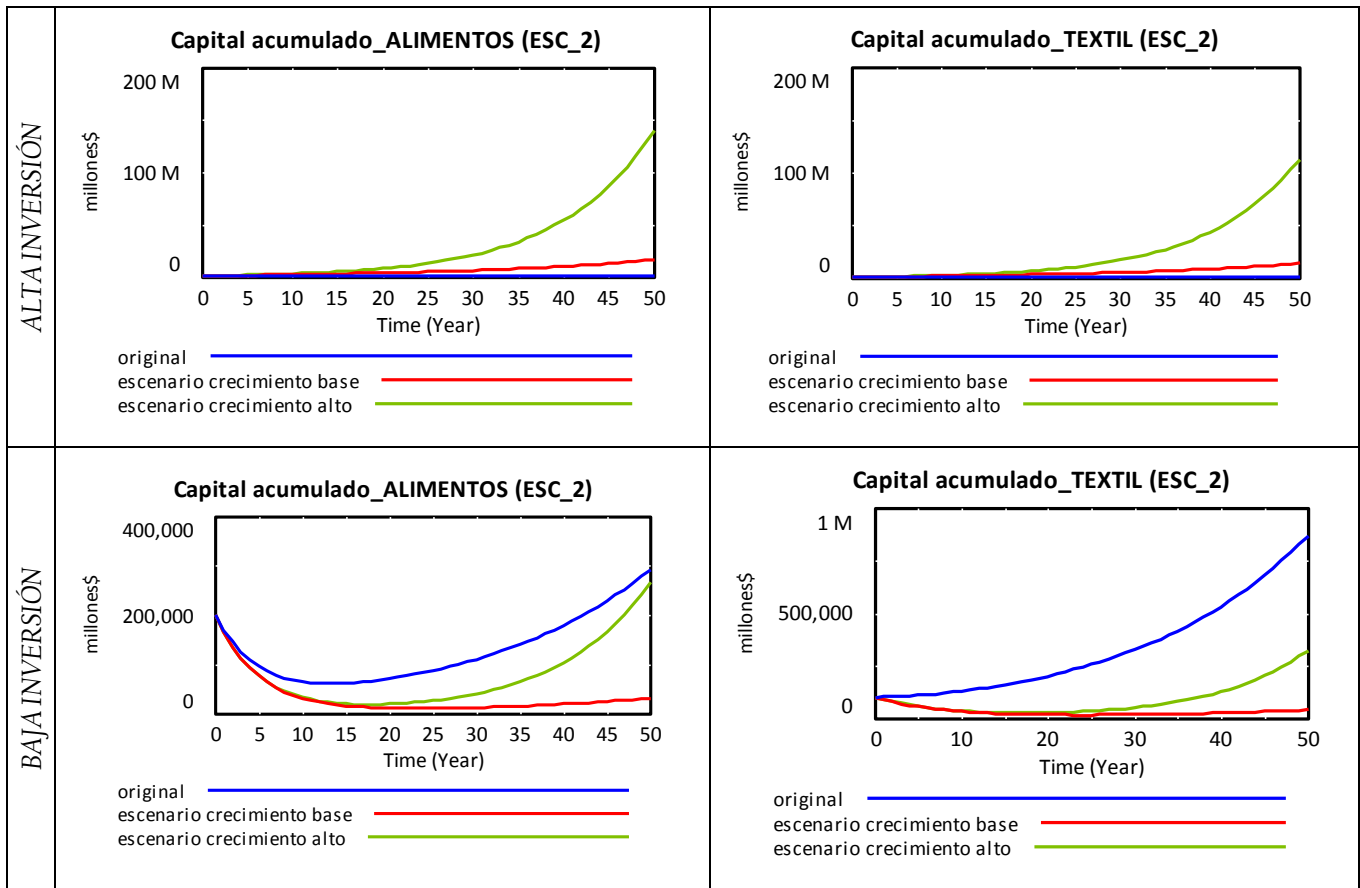


#### Capacidad tecnológica





*Capital*



*Unidades de producción*

