



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY



Facultad de  
**Ciencias Económicas  
y de Administración**  
Universidad de la República

# INNOVACIÓN, COLABORACIÓN Y POLÍTICAS PÚBLICAS

Un enfoque basado en los agentes

Sergio Daniel Palomeque Perez

Programa de Maestría en Economía de la Facultad de Ciencias  
Económicas, Universidad de la República.

Montevideo - Uruguay

Noviembre de 2016



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY



Facultad de  
**Ciencias Económicas  
y de Administración**  
Universidad de la República

# INNOVACIÓN, COLABORACIÓN Y POLÍTICAS PÚBLICAS

Un enfoque basado en los agentes

Sergio Daniel Palomeque Perez

Tesis de Maestría presentada al Programa de Maestría en Economía de la Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de la República, como parte de los requisitos para la obtención del título de Magíster en Economía.

Director de tesis:

Profesor Titular Dr. Juan Gabriel Brida

Codirector de tesis:

Profesor Asociado Dr. Nicolás Garrido

Director académico:

Profesor Titular Dr. Juan Gabriel Brida

Montevideo - Uruguay

Noviembre de 2016



# INTEGRANTES DEL TRIBUNAL DE DEFENSA DE TESIS

---

Profesor Adjunto Dr. Carlos Bianchi

---

Profesor Adjunto Dr. Pablo Galaso

---

Dr. Viktoriya Semeshenko

Montevideo - Uruguay

Noviembre de 2016

*Dedicado a mis tíos, Eli y Elio.*

## Agradecimientos

A mi Tutor, Gabriel Brida, por apoyarme en la búsqueda de mi rumbo académico.

A mi Cotutor, Nicolás Garrido, por enderezar el rumbo de este trabajo.

A mis compañeros del GIDE, por escuchar mis presentaciones y darme valiosos comentarios.

A los estudiantes y el cuerpo docente del programa, por el intercambio y las ideas.

A esos pilares que son mis amigos.

A muchos otros anónimos.

*“...la conciencia de la complejidad nos hace comprender que no podremos escapar jamás a la incertidumbre y que jamás podremos tener un saber total: la totalidad es la no verdad....”*

Edgar Morin

## *Resumen*

*El presente trabajo desarrolla un Modelo Basado en Agentes con el cual se busca estudiar la red de innovación de un sector económico intensivo en recursos humanos altamente capacitados, caracterizado por agentes que enfrentan una restricción a la incorporación de nuevo capital y tienen la posibilidad de elegir que proporción de su capital disponible dedica a cada uno de los dos bienes. Estos agentes disponen de un menú de tres estrategias para buscar innovar, y de esa forma incrementar su productividad. El ajuste de estas estrategias se realiza de forma endógena y deriva en un proceso que determina la estructura de la red de innovación. La consideración de las políticas públicas en el sistema lleva a concluir que el efecto de las políticas depende fuertemente de la población específica a la que se dirijan. Estos resultados se manifiestan tanto en el desempeño del sistema, como en la estructura de red que emerge de la evolución del mismo.*

## *Palabras clave*

*Modelos Basados en Agentes; Red; Innovación; Sistemas Complejos;  
Enfoque Evolucionista; Políticas Públicas*

*Clasificación JEL: Y40, B52, C63, O33, O38*

## *Abstract*

*This work develops an Agent Based Model which seeks to study the innovation network of an economic sector intensive in highly trained human resources. This sector is composed by agents that face a restriction to the incorporation of new capital, and have the possibility to choose the proportion of its available capital devoted to each of the two goods. These agents have a menu of three strategies to seek to innovate, and thus increase their productivity. The adjustment of these strategies is done endogenously and results in a process that determines the structure of the innovation network. The consideration of public policies in the system leads to the conclusion that the effect of policies depends heavily on the specific population to which they are directed. These results are manifested both in the performance of the system and in the network structure that emerges from the evolution of the system.*

## *Keywords*

*Agent Based Models; Network; Innovation; Complex Systems; Evolutionist Approach; Public Policies*

*JEL Codes: Y40, B52, C63, O33, O38*

## *Tabla de Contenido*

<b>Introducción</b> _____	<b>1</b>
Formulación del Problema y Objetivos .....	2
Principales Resultados Obtenidos .....	3
Estructura del Contenido .....	4
<b>Fundamentos Teóricos</b> _____	<b>5</b>
Antecedentes y Justificación .....	5
Marco Teórico.....	9
Hipótesis .....	15
<b>Estrategia de Análisis</b> _____	<b>17</b>
El Modelo de Análisis .....	17
<b>Resultados de las Simulaciones</b> _____	<b>28</b>
Análisis del Proceso de Producción .....	28
Análisis del Proceso de Actualización de las Estrategias .....	40
Estudio de las Hipótesis .....	47
<b>Conclusiones</b> _____	<b>65</b>
Conclusiones Generales .....	65
Un Potencial Ejemplo de Aplicación.....	69
<b>Referencias Bibliográficas</b> _____	<b>71</b>

## Introducción

El presente trabajo investiga los efectos que pueden tener ciertas políticas públicas en la estructura de una red de innovación y el desempeño del sector que la conforma. Para ello se realiza una adaptación y generalización de un Modelo Basado en Agentes (MBA) utilizado en Tedeschi, Vitali y Gallegati (2014), que considera distintas estrategias de innovación por parte de las empresas, las cuales son elegidas de forma endógena por las firmas y representan el elemento determinante en la evolución de la estructura de la red de innovación, la cual juega un papel clave en la creación y difusión de conocimiento (Phelps, Heidl, Wadhwa, 2012). Dicho modelo forma parte de una línea de investigaciones (Vitali, Tedeschi, Gallegati, 2013; Gallegati y Kirman, 2012; Gatti, Gaffeo y Gallegati, 2010; Kirman, 2010) que analizan los fenómenos económicos asumiendo que los mismos suceden dentro de sistemas complejos, lo cuál conlleva la necesidad de abordarlos mediante el uso de herramientas computacionales que permiten su estudio por medio de simulaciones.

Esta perspectiva se encuentra en línea con los postulados del enfoque evolucionista (Nelson y Winter, 1973, 1977 y 1982; Dosi y Nelson, 2010), donde se busca abandonar el estudio basado en la física newtoniana que caracteriza a la economía neoclásica, para abordar los fenómenos económicos desde una perspectiva más cercana a la biología darwiniana. Este enfoque es capaz de estudiar los sistemas económicos mediante la caracterización del comportamiento de los agentes, permitiendo la interacción entre ellos y a su vez con el entorno. Todo esto conduce a un proceso evolutivo, que va determinando un comportamiento macro que no es posible identificar precisamente con el comportamiento de ningún agente de forma aislada. El interés de este enfoque, por comprender dicho proceso evolutivo, lo lleva a la necesidad de ampliar su estudio más allá del entorno, o las condiciones, donde se consigue un equilibrio.

Esto permite estudiar la dinámica de los sistemas, sin restringir sus características debido a la aplicación de condiciones que permitan alcanzar el equilibrio, sino que poniendo el foco en la caracterización del agente y permitiendo que la interacción a nivel micro determine las características macro, mediante un proceso evolutivo.

El citado modelo es modificado para que contemple la posibilidad de que existan dos tipos de bienes y que además las empresas enfrenten restricciones en la incorporación de nuevo capital. De esta manera se pretenden analizar los efectos que las políticas públicas elegidas pueden tener a

nivel del desempeño y la estructura de red que conforma un sector económico con dichas características. Por lo tanto, se considera que las empresas pueden producir dos tipos de bienes que implican distintos niveles de complejidad a la hora de conseguir procesos de innovación exitosos en cada uno de ellos. Esta diferencia lleva a que tanto el precio medio que la empresa recibe por cada uno de ellos, como el costo variable de producirlos sean distintos. Además a diferencia del trabajo de Tedeschi et al, (2014), en el modelo que se propone, la cantidad de capital que la empresa puede incorporar en cada momento del tiempo está limitada por una tasa de crecimiento constante, que es diferente entre los dos tipos de capital considerados.

De esta manera, en base a un enfoque evolucionista y concibiendo la mencionada red de innovación como un sistema complejo, se espera aportar tanto al conocimiento del comportamiento de las redes de innovación en sectores con estas características, así como a la discusión de las posibilidades que ofrece la política pública en este aspecto.

### Formulación del Problema y Objetivos

En línea con lo expuesto en el apartado anterior, esta investigación analiza el impacto que las políticas de incentivo a la inversión aplicadas a un sector intensivo en el uso de capital humano pueden tener en los niveles de Investigación y Desarrollo (I+D), así como también en la estructura de red en la que interactúan los distintos agentes. A su vez se plantea que dicho efecto sobre la estructura de red conlleva implicancias en el potencial innovador del sector, al afectar la prevalencia de las distintas estrategias consideraras. En base a esto la pregunta general que se plantea estudiar es:

- ¿Qué efectos podemos esperar en el desempeño económico y la estructura de red de un sector que se estructura mediante una red de innovación, en un mercado con restricciones a la incorporación de su principal tipo de capital, los recursos humanos, de la aplicación de distintas políticas públicas que busquen estimular la innovación dentro del mismo?

Específicamente se buscará investigar qué respuestas aporta el modelo a desarrollar, a dos preguntas operativas:

- ¿Cuáles pueden ser los efectos de aplicar una tasa de impuesto a las ganancias del sector, que luego sea redistribuida para apoyar a agentes que sigan una determinada estrategia de innovación?

- ¿Y si este subsidio favorece a las empresas que optan por enfocarse, en mayor medida, en uno de los dos mercados considerados?

La estrategia de trabajo y modelización planteados para abordar el problema identificado consisten en implementar un MBA que, sea capaz de reproducir los hechos estilizados que surgen de la literatura en materia de redes de innovación (Cowan y Jonard, 2003 y 2008; Roijakkers y Hagedoorn, 2006; Czarnitzki, Ebersberger y Fier, 2007; Fleming y Koen, 2007; Hanaki, Nakajima y Ogura, 2010; König, Battiston, Napoletano y Schweitzer, 2011). Luego, haciendo uso de esta herramienta, se generarán simulaciones de las distintas políticas públicas que se pretenden estudiar, a los efectos de observar cómo evoluciona el sector y su estructura de red a medida que los agentes interactúan, buscando identificar patrones agregados que sean consistentes en las distintas simulaciones.

### Principales Resultados Obtenidos

Mediante simulaciones para distintos valores de los parámetros relevantes, el modelo desarrollado es testado para observar que su comportamiento se ajuste a las especificaciones planteadas, y que a su vez logre reproducir algunos de los rasgos que caracterizan el tipo de sistemas bajo estudio. Como resultado se obtiene un modelo computacional capaz de analizar la dinámica del proceso productivo de un sector con características como las mencionadas, así como también permitir a los agentes ajustar sus estrategias de forma endógena. En las pruebas de los valores extremos de los parámetros, el modelo muestra su corrección respecto de los objetivos de esta investigación. Además, al analizar los resultados que el mismo arroja en valores intermedios del espacio paramétrico considerado para cada uno de los parámetros, se observa un alto nivel de adecuación de los resultados a las características observables en este tipo de redes de innovación.

La consideración de las políticas públicas en el sistema, buscando brindar respuesta a las preguntas operativas planteadas, lleva a analizar un conjunto de indicadores y a estimar parámetros que permiten estudiar los efectos de dichas políticas. En este proceso se llega a concluir que el efecto de las políticas depende fuertemente de la población específica a la que se dirija el subsidio. Estos resultados se manifiestan tanto en el desempeño del sistema, como en la estructura de red que emerge de la evolución del mismo.

Finalmente se proponen posibles respuestas a los comportamientos que se observan en la aplicación del modelo, así como también se identifican posibles líneas de investigación futuras que

permitan profundizar en el entendimiento del fenómeno estudiado y en la adecuación del modelo a algún sector económico en particular.

### Estructura del Contenido

El resto del trabajo se organiza de la siguiente manera. En el primer capítulo se exponen los fundamentos teóricos que guiaron la investigación, para lo cual se presentan antecedentes y justificación, para luego plantear el marco teórico y las hipótesis de investigación. El segundo capítulo se centra en la estrategia de análisis, exponiendo el modelo construido para el estudio de las hipótesis. Posteriormente, en el tercer capítulo, se pone en funcionamiento el modelo para analizar primero su pertinencia con el fin de abordar el objeto de estudio de esta investigación, para luego aplicarlo en el análisis de las hipótesis de trabajo. En el cuarto capítulo se presentan las conclusiones donde se sintetizan algunos aspectos destacables de los resultados obtenidos y se proponen líneas de trabajo para profundizar en la comprensión del fenómeno estudiado, y en la mejora del modelo desarrollado.

## Fundamentos Teóricos

El presente capítulo expone los aspectos teóricos y conceptuales que resultan relevantes para fundamentar la investigación realizada. Para ello se articulará el mismo en tres apartados, donde el primero revisa los antecedentes relevantes para la presente investigación, así como su justificación. Luego, en el segundo apartado, se plantea el marco teórico que respalda la presente investigación. Finalmente en el tercer apartado se proponen las hipótesis a ser evaluadas mediante la estrategia de análisis.

### Antecedentes y Justificación

Al hablar de redes de innovación, en este trabajo se está haciendo referencia a redes de firmas que intercambian conocimiento para producir innovación. El estudio de este tipo de redes de conocimiento ha crecido considerablemente en las últimas tres décadas<sup>1</sup> y el mismo ha sido abordado, según señala Pippel (2013), principalmente desde dos perspectivas. El estudio de la red a partir de un enfoque desde la firma y el enfoque regional, donde ambos abordajes buscan comprender los efectos, de la inversión en I+D y la colaboración, sobre el desempeño de las firmas y el sector en su conjunto en materia de innovación. En la presente investigación no se considera la dimensión regional (algunos ejemplos de esta línea son Fleming, King III y Juda, 2007; Lobo y Strumsky, 2008; Breschi y Lissoni, 2009; Breschi y Lenzi, 2016), sino que se pretende seguir la línea de los trabajos que abordan el fenómeno desde la perspectiva de la firma y el proceso de toma de decisiones que determina la estructura de la red de innovación.

Algunos de estos trabajos han realizado estudios empíricos dentro de distintos sectores, estudiando los efectos que la red puede tener sobre el desempeño innovador de la firma y del sector, aportando de esta manera una importante base de hechos estilizados al respecto de este fenómeno. En esta línea encontramos, por ejemplo, el trabajo de Ahuja (2000) quien realiza un estudio longitudinal, a nivel internacional, de firmas líderes en la industria química donde observa la relevancia de los distintos tipos de vínculos que pueden existir entre ellas. Concretamente se analiza la relación entre el número de vínculos directos e indirectos y el nivel de innovación de las firmas.

---

<sup>1</sup> En este sentido el trabajo de Phelps et al (2012) muestra la evolución del uso del término “Knowledge” en el título de artículos académico, a la vez que compara esta evolución con la correspondiente al término “Knowledge Network Study”. En dicho artículo se puede apreciar el crecimiento mencionado desde inicio de la década de los noventa.

Este trabajo también investiga el efecto de los “agujeros estructurales” en dicho desempeño innovador. Este último concepto se refiere al efecto que puede tener el grado de conectividad de la red, dado que en distintas secciones de la estructura puede estar circulando distinto tipo de información. El trabajo concluye que los vínculos directos tiene un efecto positivo en el desempeño innovador, al igual que los indirectos, salvo que el efecto de estos últimos está condicionado por el número de los primeros. Por su parte, el efecto de los “agujeros estructurales” es ambiguo.

Por otro lado el trabajo de Roijackers y Hagedoorn (2006) estudia, también desde un abordaje longitudinal, los vínculos de colaboración de un amplio número de firmas del sector de la biotecnología. Uno de los aspectos interesantes de este trabajo es que construye una evolución dinámica de la citada red, lo cual le permite observar un patrón de claro crecimiento en los vínculos de cooperación en dicho sector. Por otra parte, la relevancia de este enfoque dinámico se refuerza al observar que la participación relativa entre pequeñas y grandes empresas del sector se modifica a lo largo del tiempo. Este efecto se manifiesta en un importante rol de las compañías de pequeño porte en la primera parte del período estudiado (a partir de 1975), para luego ir perdiendo paulatinamente este peso en favor de las grandes compañías.

Por su parte, el sector de las tecnologías de la información también es objeto de estudio de este tipo de trabajos. En Hanaki, Nakajima y Ogura (2010) se investiga la evolución de la red de innovación que este sector en los Estados Unidos entre 1985 y 1995. En particular este trabajo se enfoca en analizar la expansión de la red, dejando de lado las decisiones de mantenimiento, restablecimiento o ruptura de los links preexistentes. Esto permite a los autores observar cómo la estructura vigente de la red en un momento del tiempo puede afectar la evolución de la misma. A partir de dicho análisis estudian la estructura de red en busca de dos tipos de estructuras particulares. En primer lugar las estructuras cíclicas, que podrían formarse en presencia de altos costos de búsqueda de nuevos integrantes de la red. Esta situación llevaría a la formación de “vecindarios”<sup>2</sup> en las cadenas de colaboración. En segundo lugar los autores prestan especial atención a la formación de estructuras del tipo de “vinculo preferencial”<sup>3</sup>, donde existe un nodo central que genera, sistemáticamente, una mayor atracción de vínculos dada su capacidad de brindar derrames a los nodos que se conectan a él. Los autores encuentran evidencia que respalda la

---

<sup>2</sup> El concepto de “vecindario” es comúnmente utilizado en la literatura acerca de redes (Jackson 2008) y hace referencia al set de nodos que puede ser alcanzado por cualquier nodo perteneciente al vecindario.

<sup>3</sup> Este concepto también es ampliamente referido en teoría de redes y, siguiendo nuevamente a Jackson (2008), se puede explicar como aquellas estructuras donde la probabilidad de recibir más vínculos por parte de un nodo, aumenta a medida que crece la cantidad de vínculos recibidos.

presencia de las dos estructuras mencionadas, dado que los agentes que se encuentran conectados entre si tienden a volverse más interconectados, así como también que los agentes con más vínculos tiende a incrementarlos progresivamente.

Los trabajos mencionados son ejemplos de la literatura en materia de redes de innovación que, con una fuerte base empírica, aportan evidencia de las estructuras y las dinámicas de red que podemos encontrar<sup>4</sup>. La relevancia de esta breve síntesis es que aporta a la presente investigación os elementos necesarios para el análisis de los resultados que surjan del modelo propuesto. Por otra parte, existe también una importante literatura que aborda el fenómeno de las redes de innovación desde una perspectiva teórica, tratando de hacer foco en la interpretación de los hechos estilizados que encuentran trabajos como los analizados. Este segundo grupo de trabajos resultan interesantes a los efectos de este estudio, debido a que sirven tanto de antecedentes al trabajo realizado, como también refuerzan la justificación en cuanto a la relevancia del mismo.

En este último grupo encontramos a Cowan, Jonard y Zimmermann (2007) que realizan un interesante abordaje, de la fenómeno estudiado, al poner en consideración el rol del conocimiento tácito y la confianza. Estos actúan sobre el proceso de recombinación de conocimientos, que conduce a la innovación, como determinantes de la estructura de red que se conforma. Los autores señalan que en muchas industrias, cada vez más, se integran rangos de conocimiento más amplios, así como también experiencia específica, para poder competir en el mercado y desarrollar procesos de innovación exitosos. Esta situación lleva a que la colaboración sea una vía atractiva para incorporar esa variedad de conocimientos y la experiencia requerida. Paradójicamente, la colaboración prolongada podría generar una acercamiento en las capacidades técnicas de los agentes que generen un descenso en el valor aportado por la colaboración. Por su parte, la confianza se convierte en un elemento clave en esta dinámica, ya que la misma refuerza los vínculos existentes. Esto sucede debido a que la información que los agentes recaban acerca de cómo se desarrolla el vínculo permite reducir la percepción de riesgo. Por otro lado, esto conduce a que sea menos atractiva la búsqueda de nuevos participantes en la colaboración. Para obtener resultados del modelo es analizado mediante simulaciones para hallar una solución numérica, De esta manera llegan a observar una fuerte relación entre la estructura de red y la producción de conocimiento, que hace pensar en que no es correcto un abordaje que intente analizar este fenómeno sin considerar las dos dimensiones.

---

<sup>4</sup> Dichos trabajos no buscan ser una lista exhaustiva de esta literatura, la cual es extensa y se encuentra parcialmente detallada en los citados estudios de Phelps et al (2012) y Pippel (2013).

Otro importante trabajo de tipo teórico es el de König et al (2011) donde, al igual que en el caso anterior, firmas heterogéneas buscan innovar mediante la recombinación de sus conocimientos. Pero en cambio, una de las características particulares del modelo propuesto es que el mismo hace énfasis en que establecer vínculos de colaboración implica un costo que opera específicamente sobre la ruptura de dichos vínculos. En particular el citado trabajo busca analizar la posible existencia de redes estables por medio del concepto de “secuencia mejorada”, (Jackson 2008) el cual implica que ante la ruptura o incorporación de vínculos en la red existe una parte de esta que se mantiene estable. Por lo tanto dicho concepto estudia la secuencia de redes que se generan en la dinámica del modelo. Uno de los resultados más relevantes de este trabajo es que el modelo predice la formación de distintos tipos de estructura de red (estables en el sentido señalado) dependiendo del nivel de costos que se consideren para la ruptura de los vínculos. Para el análisis topológico de la red emplean simulaciones numéricas que les permiten observar una región de bajo costo marginal y alto costo de ruptura de los vínculos. Dicha región se relaciona con las estructuras estables consideradas.

Al igual que en los comentarios hechos sobre los trabajos de índole práctico, para los teóricos se buscó brindar ejemplos de enfoques que pueden servir tanto de base como de antecedentes para la investigación que aquí se desarrolla. En este sentido es importante destacar que los trabajos teóricos de Tedeschi et al (2014), Vitali, Tedeschi y Gallegati (2013) o Dosi, Fagiolo y Roventini (2010), no fueron expuestos en este apartado como antecedentes del trabajo debido a que los mismos son parte central del marco teórico a utilizar y por ello se presentan en el siguiente apartado.

Finalmente, resulta útil exponer de forma sintética los hechos estilizados que surgen de la literatura y que se consideran relevantes para esta investigación. Ellos son (i) Las redes de innovación tienden a ser dispersas, lo cual implica que el número total de links es considerablemente menor que el potencial si se tiene en cuenta el número total de nodos presentes en la red estudiada. (ii) Las redes presentan una alta clusterización, pero dichos cluster están solo escasamente conectados. (iii) La distribución de los links en la red se caracteriza por una alta dispersión, la cual lleva a que unas pocas firmas estén altamente conectadas. (iv) La distribución de los recursos entre las firmas, como aproximación a su tamaño, muestra una distribución estable y concentrada. Estos elementos son retomados a lo largo de esta investigación y se articulan con los resultados obtenidos en la misma.

## Marco Teórico

En el presente apartado se procederá a plantear algunos de los fundamentos para el uso de la metodología de investigación a seguir - Modelos Basados en Agentes (MBA) -. En segundo lugar se presentará el sustento teórico a las ideas previas que articulan el trabajo.

Las características del fenómeno estudiado y el enfoque utilizado para esta investigación, hacen que sea conveniente utilizar la metodología de MBA para estudiar las hipótesis planteadas y cumplir con los objetivos. MBA es una potente metodología computacional de simulación que, en las últimas tres décadas, ha ido cobrando relevancia en la investigación científica tanto en el área de las ciencias naturales, como sociales. En economía su uso es promovido por un conjunto amplio de autores que resaltan las virtudes de estos modelos para el análisis de distintos temas económicos, especialmente en el área de la innovación (Ma y Nakamori, 2005; Epstein, 2006; Dawid, 2006; Farmer y Foley, 2009; Squazzoni, 2010; Gatti, Desiderio, Gaffeo et al 2011; Gallegati y Richiardi, 2011; Gomes, 2014; Landini, Gallegati y Stiglitz, 2014). Para el período comprendido entre 1998 y 2008 el trabajo de Heath, Hill y Ciarallo (2009) muestra con detalle el desarrollo mencionado. Mediante MBA es posible crear, analizar y experimentar con estructuras o problemas que incorporan agentes autónomos y heterogéneos que interactúan en un entorno, lo cual permite analizar la dinámica que se produce en dicho entorno así como fenómenos que emergen del mismo y no son esperables a priori.

Las características de esta metodología presentan, según Bonabeau (2002), tres virtudes fundamentales para la investigación en ciencias sociales. Primero la mencionada capacidad de captar fenómenos emergentes, los cuales son producto de la interacción de los agentes individuales y se manifiestan como acontecimientos que no pueden ser explicados por la suma de las acciones individuales ya que exceden a ésta. Es de esperar la aparición de este tipo de fenómenos cuando se puede asumir que el existen no linealidades relevantes en el sistema, presentan memoria en sus decisiones o existen efectos de red relevantes. En segundo lugar decimos que los MBA proporcionan una interesante descripción del sistema, especialmente cuando estamos en presencia de agentes comportamentales. Por último, en tercer lugar, Bonabeau menciona la flexibilidad de los MBA. En ellos es posible incorporar más agentes, modificar sus conductas, su grado de racionalidad, el proceso de aprendizaje o las reglas del entorno en el que interactúan. La flexibilidad también permite variar el grado de agregación de los agentes a medida que el estudio muestra las

características del sistema que por su complejidad no pueden ser vistas al comenzar la investigación.

Como ya se mencionó, estos modelos tienen dos componentes fundamentales, los agentes y el entorno en el que interactúan. Siguiendo a Salgado y Gilbert (2013), las características del agente, en el ámbito de las ciencias sociales, son representaciones computacionales de algún actor social específico capaz de interactuar. Estos pueden ser individuos, organizaciones o naciones. Dichos agentes pueden diferenciarse por sus expectativas, capacidades, conocimiento o roles. Pero siempre deben contar con cuatro características principales. La primera es que deben tener una percepción, lo cual implica que tiene un punto de vista desde el que observan el sistema. Segundo, deben tener un conjunto de conductas o actitudes que pueden llevar adelante en función de su comportamiento. En tercer lugar los agentes deben poseer memoria al menos de sus acciones pasadas. Por último, en cuarto lugar, deben tener una política, esto es, un conjunto de reglas que determinen sus acciones en función de su situación y de los resultados obtenidos con las acciones anteriores. Por su parte el entorno en el que se desarrolla la dinámica del sistema puede ir desde uno completamente neutro para determinar el comportamiento de los agentes hasta uno que por sus características influya en dicho comportamiento y por lo tanto en las interacciones que se producen en el entorno.

En cuanto al desarrollo del modelo existen una serie de pasos que es conveniente seguir. Para comenzar Macal y North (2005) plantean algunas preguntas en cuanto a las características del fenómeno a estudiar, los agentes relevantes en el sistema y el entorno junto con las reglas de interacción del mismo. Este proceso resulta esencial ya que si el diseño del modelo y sus componentes están debidamente detallados, luego la implementación del mismo en cualquier lenguaje de programación será mucho más simple. Después de esta etapa de diseño comienza la implementación del modelo, para lo cual es posible utilizar tanto lenguajes de programación de propósito general, como otros específicos para MBA. En el citado artículo se exponen muchas de las alternativas disponibles desde lo más sencillo en cuanto a los conocimientos requeridos para su programación, que en contrapartida presenta limitaciones en las posibilidades de complejidad del modelo, hasta lo más complejo a la hora de escribir el código del modelo pero que permite explotar al máximo la flexibilidad de los MBA. Por lo tanto en la decisión debe ser tenido en cuenta este trade-off entre complejidad y flexibilidad. El tercer y último paso en el desarrollo del modelo consiste en la selección de los servicios de modelado disponibles. Estos servicios incluyen especificaciones de proyecto, especificaciones de agentes, especificaciones de datos de entrada y almacenamiento, ejecución del modelo, almacenamiento y análisis de resultados, y

empaquetamiento y distribución. Todos estos servicios proveen una gama amplia de posibilidades para el uso de MBA en distintos campos de investigación.

En particular, en esta investigación, para la etapa de implementación, se utiliza el software R, mediante el entorno de desarrollo integrado llamado RStudio. Esta es una plataforma con lógica de “marco y biblioteca” lo que se refiere a que brinda un marco conceptual para organizar y diseñar MBA, así como también provee el conjunto de bibliotecas de software necesarias en el desarrollo.

El análisis realizado hasta aquí muestra cómo esta estrategia de investigación permite abordar los objetivos planteados. La misma es apta para captar fenómenos emergentes en un ámbito que puede ser tomado como un sistema complejo, así como también es capaz de recoger las características de un entorno colaborativo donde interactúan agentes heterogéneos y se presentan efectos de red relevantes. La necesidad de usar esta herramienta radica en la propia complejidad, que ya ha sido expuesta, y que se alinea con la visión de Dosi y Nelson (2010) donde exponen su interpretación de cómo la tecnología evoluciona. En este sentido plantean que el enfoque evolucionista implica considerar que al mismo tiempo en distintos lugares se estén realizando distintos esfuerzos para el avance tecnológico, lo cual conlleva una competencia en la que existirán ganadores y perdedores. La determinación de quién gana y quién pierde en esta competencia esta dada por factores que se revelan ex post. Este proceso se diferencia del biológico, donde el objeto de estudio son células, dado que -al trabajar con agentes económicos que actúan en el proceso tecnológico- el objeto de estudio pasan a ser personas, las cuales incluso sin considerar un determinado tipo de racionalidad, son capaces de adaptar su comportamiento mediante el aprendizaje<sup>5</sup>. Esto diferencia y dificulta el análisis de los procesos de evolución tecnológica. La necesidad de contemplar esta complejidad se plantea cada vez más como un tema urgente en la ciencia económica ya que, como plantean Helbing y Kirman (2013), las pequeñas modificaciones a los supuestos de los modelos convencionales no son suficientes para resolver, sino que todo el cuerpo teórico debe ser revisado, en particular con lo que tiene que ver con los fenómenos macroeconómicos.

Habiendo expuesto las características principales de la metodología de investigación a seguir, corresponde ahora brindar sustento a algunas de las ideas previas manejadas hasta el momento y que servirán para articular el presente trabajo. El primer paso consiste en plantear cuáles

---

<sup>5</sup>Page (1999) reporta la frase del Premio Nobel de Física, Murray Gell-Mann: "Imagine how hard physics would be if atoms could think". Esta expresa claramente el grado de complejidad al que se enfrenta la investigación económica y su diferencia con las ciencias naturales.

pueden ser las estrategias de innovación relevantes a considerar y para ello se utilizará la diferenciación planteada por Tedeschi et al (2014), cuyo artículo fue tomado como pieza central del presente trabajo, donde proponen diferenciar entre tres tipos de estrategia de innovación, estas son: “Innovador Solitario” (IS), “Innovador Colaborativo” (IC) e “Imitador” (II). Esta propuesta también fue usada por Vitali et al (2013), haciendo foco en el impacto de estas en los niveles micro, meso y macro, y a su vez estos adaptan el modelo usado por Dosi et al (2010).

El respaldo a la idea de que el Estado pueda tener interés en fomentar algún tipo de estrategia de innovación en particular viene dado por su objetivo público<sup>6</sup> y por tanto su interés en impulsar aquellas estrategias de innovación que puedan ser de mayor beneficio para la sociedad en su conjunto, teniendo en cuenta los derrames que estas provoquen en el resto del aparato económico. Por citar un ejemplo en este sentido podemos encontrar a Czarnitzki et al (2007) que realizan un estudio comparado de los niveles de cooperación entre las empresas innovadoras de Alemania y Finlandia, el análisis los lleva a encontrar evidencia en favor de los sistemas colaborativos.

El objetivo privado de las empresas será detallado en la sección correspondiente a la estrategia de análisis ya que sus características cobrarán mayor importancia a la hora de mostrar la heterogeneidad de las empresas, y cómo estas ajustan sus estrategias de forma endógena. En cuanto a la clasificación de estas en función de la estrategia elegida, en línea con lo expuesto anteriormente, implica que cada empresa podrá ser clasificada según una estrategia en cada momento del tiempo pero la misma podrá variar y con ello la clasificación de la empresa en las sucesivas iteraciones del modelo.

Siguiendo el modelo de Tedeschi et al (2014) los recursos de la empresa condicionan las posibilidades de acción de la misma en cada momento del tiempo y por tanto la estrategia elegida. Por otro lado, la consideración de la experiencia pasada y el entorno en este modelo tiene en cuenta las características señaladas por Dosi y Nelson (2010) donde revisan gran parte de lo que se ha escrito a nivel académico en cuanto al estudio de los procesos de evolución tecnológica, así como los efectos de estos en el desarrollo de las industrias. Su enfoque plantea que el avance tecnológico

---

<sup>6</sup> Cabe destacar que a los efectos de esta investigación no se discutirá si el objetivo del Estado es efectivamente este, lo cual no implica el desconocimiento de factores relacionados, por ejemplo, con el ciclo electoral que puedan desviar al Estado de su objetivo público. En esta área un interesante trabajo al respecto es Persson y Tabellini (1990)

ocurre mediante un proceso evolutivo<sup>7</sup>. En forma sintética los tres elementos característicos de este enfoque que mencionan son: el reconocimiento a aspectos comportamentales que limitan la posibilidad de asumir una racionalidad perfecta por parte del agente, el énfasis en el desequilibrio dinámico como rasgo de las economías capitalistas y por último el interés por identificar regularidades en los procesos de cambio tecnológico en lugar de perseguir una noción de equilibrio. En particular, en el modelo propuesto, el agente podrá conocer los resultado que obtuvo de las estrategias elegidas, pero solo tendrá información incompleta en cuanto a su entorno. Todo esto sumado al hecho de que, por carecer de una racionalidad perfecta, las empresas podrán caer en errores sistemáticos.

La idea de que las políticas públicas afectan los recursos de las empresas se desprende directamente de la clase de políticas que esta investigación estudia, ya que las mismas proponen gravar las ganancias y aplicar subsidios diferenciados. El propósito de señalarlo es hacer referencia a qué este es el canal propuesto para que el Estado incida en la distribución de los tipos de estrategia de innovación, o los sectores que dividen el mercado, según fueron expuestos. Este es el canal utilizado en los trabajos de Vitali et al (2013) y Tedeschi et al (2014). Por lo tanto se deja de lado la posibilidad de que el Estado incida por otras vías o, visto de otra forma, se busca apreciar el efecto de estas políticas sin considerar otras que puedan aplicarse. Esta simplificación se propone a los efectos de acotar el objeto de estudio.

El sector bajo estudio en esta investigación es visto como una red de innovación, siguiendo a Tedeschi et al (2014). Como tal puede ser caracterizado por una determinada estructura que se modifica a medida que las empresas alteran sus estrategias. Esta evolución puede ser clasificada según el grado de clusterización<sup>8</sup> que vaya mostrando la red, así como otros indicadores que serán expuestos en el siguiente capítulo, y por tanto es posible clasificar la red según la estructura que vaya adoptando.

En el modelo, como se expuso anteriormente, el entorno de la empresa es tenido en cuenta para decidir entre cambiar o mantener la estrategia vigente hasta el momento. Este es uno de los rasgos característicos de los MBA, donde la interacción entre los agentes es afectada por el entorno en que se desarrolla. Esta característica es una de las virtudes que Gallegati y Richiardi (2011)

---

<sup>7</sup>Este enfoque tiene como uno de sus puntos de partida los trabajos de Nelson y Winter (1977 y 1982)

<sup>8</sup> La forma concreta en que se observarán estas características será expuesta en la siguiente sección, pero vale mencionar que el concepto de clusterización al que se hace referencia es tomado de König et al (2011)

resaltan en cuanto a la utilidad de esta herramienta para el abordaje de los fenómenos de tipo económicos, desde la perspectiva de los sistemas complejos. Por tanto, en este trabajo la estructura de la red afectará las elecciones de la empresa en cuanto a su estrategia, por medio del entorno en el que se desenvuelven.

Dado que las estrategias de las empresas determinan los vínculos de la red y a su vez estos marcan la estructura y la clusterización de la misma, podemos decir que por la propia construcción del modelo las estrategias de las empresas determinan la estructura que se observe. Este punto, junto con el anterior, son de gran importancia desde el punto de vista del enfoque planteado ya que este tipo de ida y vuelta generan un nivel de complejidad que para los modelos convencionales resulta imposible de tratar. Dichas características de estos modelos son claramente tratadas por otro de los principales teóricos de esta corriente en Kirman (2010).

La última idea previa que queda por sustentar y explicar, es aquella que se refiere a la relación entre las distintas estructuras de red y los tipos de estrategia de innovación que pueden promover cada una. En el contexto de la investigación que se propone es posible decir que los distintos niveles de clusterización en la red afectan el entorno y por tanto la distribución de los tipos estrategia en la misma. Esta idea sigue, y adapta, la propuesta de Tedeschi et al (2014), donde se plantea que al variar la estructura de la red se deben considerar los dos efectos contrapuestos que esto produce. Por un lado el aprovechamiento de los derrames de conocimiento, que aumenta con la cantidad de links entre los nodos<sup>9</sup>. Y por el otro los costos en materia de coordinación, que juegan un papel central en las empresas que siguen estrategias colaborativas, que también aumentan con el número de links.

Como se puede apreciar a lo largo de este apartado, en base a los trabajos referidos, se han articulado elementos de distintos cuerpos teóricos, principalmente la escuela evolucionista y el enfoque de la complejidad, para dar forma al marco teórico específico de esta investigación. Esto se realizó teniendo en cuenta que dichos elementos fueran compatibles, lo cual se aprecia en los trabajos anteriores que hacen uso de este enfoque combinado. La existencia de estos brinda la posibilidad de tomarlos como referencia para la implementación del marco teórico propuesto para esta investigación, así como también aportan un respaldo académico a las elecciones realizadas en la misma.

---

<sup>9</sup> En el modelo al que se hace referencia los nodos son empresas y los links indican los canales de transmisión de conocimientos y su sentido. Este punto se ampliará en la siguiente sección.

## Hipótesis

En este último apartado del capítulo se presentan las hipótesis a ser evaluadas mediante la estrategia de análisis que se desarrolla en el capítulo siguiente. Para ello, en primer lugar, se reproducen las preguntas operativas planteadas en el primer capítulo y se proponen las hipótesis como respuestas provisionales a las mismas. Luego se exponen los argumentos, tomados del marco teórico, que brindan los indicios para el planteo de las hipótesis, a los efectos de mostrar la adecuación entre estos dos elementos de la investigación.

Las preguntas operativas propuestas son las siguientes:

- ¿Cuáles pueden ser los efectos de aplicar una tasa de impuesto a las ganancias del sector, que luego sea redistribuida para apoyar a agentes que sigan una determinada estrategia de innovación?
  1. La redistribución de los ingresos generados por un impuesto a las ganancias del sector tendrá un efecto positivo provocando un aumento en el número de empresas que siguen la estrategia apoyada. Pero el impulso que esto genere en el nivel de actividad del sector no tendrá un comportamiento monótono creciente sino que, luego de cierto umbral de la tasa de impuesto, comenzará a afectar de forma negativa al nivel de actividad.
- ¿Y si este subsidio favorece a las empresas que optan por enfocarse, en mayor medida, en uno de los dos mercados considerados?
  2. La aplicación de este subsidio a un mercado específico, dentro del sector, tenderá a concentrar la actividad en el mercado favorecido por la política, pero ello a su vez aumentará el nivel de fragilidad de la economía y por esta vía el desempeño agregado en el largo plazo.

La primera hipótesis implica que, dado el objetivo del gobierno en materia de apoyo al sector, la redistribución de los ingresos que genere un impuesto a la ganancia dentro del mismo permitirá cumplir con el objetivo de estimular una estrategia en particular. Pero este efecto, llevado al nivel de actividad, tenderá a decrecer a medida que la tasa del impuesto crece, más allá de cierto umbral. La idea que sustenta esta hipótesis se basa en las características de la innovación como proceso evolutivo en un contexto de red (Dosi y Nelson, 2010), ya que el estímulo a un tipo concreto de estrategia podrá generar un crecimiento en la inversión en I+D dentro de esta. Pero los procesos de innovación en este enfoque no pueden ser sustentados solo con inversión en I+D en un

grupo concreto, ya que la red se nutre de los flujos de conocimiento que circulan en la misma y la presión excesiva puede llevar a su mínima expresión a otros tipos de estrategia. Todo lo cual, en el contexto planteado en este trabajo, implica una pérdida en el conocimiento circulante (Vitali et al, 2013; Tedeschi et al, 2014). Además el propio tipo de estrategia elegida puede perder capacidad de utilizar esos fondos de una manera que impulse la innovación, como puede ser el caso de la estrategia colaborativa, donde el crecimiento de la clusterización facilita el aprovechamiento de externalidades pero también incrementa los costos de coordinación.

La segunda hipótesis parte del sustento teórico aportado para la primera, pero tiene en cuenta otro elemento que puede aportar fragilidad al sistema, como lo es la concentración de la producción en un solo mercado. En Tedeschi et al, 2014 se considera que las empresas producen un solo bien pero, al tener en cuenta la posibilidad de que la empresa elija cuánto de su capital dedica a producir cada uno de los bienes, esto se puede convertir en una estrategia para evitar la exposición excesiva a las condiciones de un solo mercado (Bernard, Redding y Schott, 2010). Por su parte es necesario tener en cuenta la homogeneidad, o mayor concentración en un solo sector, a la que se espera que conduzca la política fiscal propuesta ya que en el marco teórico elegido, la heterogeneidad es un elemento que impulsa la innovación (Axtell, 2001; König et al, 2011; Cowan y Jonard 2004 y Cowan et al, 2007) dado que del intercambio entre agentes diversos es que cada uno puede incorporar características que no le son propias. Esto a su vez está en línea con lo planteado por Antonelli (2005) al proponer el concepto de conocimiento como proceso dinámico y colaborativo. En base a esto es posible pensar que el fortalecimiento de un solo sector puede tener un componente estratégico que busque aportar estabilidad en este sistema compuesto por agentes heterogéneos (Gatti, Guilmi, Gaffeo et al, 2005). Pero esto se logra a costas de una pérdida de diversidad que puede tender a disminuir la capacidad de innovación del sector, y por medio de ella el nivel de actividad del mismo.

## Estrategia de Análisis

Este capítulo expondrán las características más relevantes del modelo que será simulado para estudiar el comportamiento de los agentes que emerge a partir de la interacción de los mismos. Dicho modelo toma como base el propuesto por Tedeschi et al (2014), el cual es modificado para cumplir con los objetivos de la presente investigación.

### El Modelo de Análisis

A los efectos de exponer el modelo que aquí se propone es conveniente dividirlo en dos procesos que se repiten en cada período del tiempo. Estos son el proceso de producción e innovación, y el proceso de actualización de estrategias. En el primero la empresa produce dos tipos de bienes, haciendo uso del capital destinado a cada bien y por medio de una tecnología que se manifiesta en sus niveles de productividad en cada sector. Dicha productividad evoluciona en el tiempo mediante la innovación. En el segundo proceso se analiza la conveniencia y posibilidad de modificar la estrategia de innovación para el siguiente período. Dichas estrategias son “Innovación en Solitario” (IS), “Innovación Colaborativa” (IC) e “Imitación” (II), y las mismas serán explicadas más adelante en este apartado. A continuación se exponen los elementos que caracterizan a estos dos procesos.

Inicialmente, en el momento  $t = 0$ , todas las empresas tienen la misma dotación de capital, la misma productividad en cada sector y la probabilidad de seguir cada una de las tres estrategias de innovación se considera que distribuye uniformemente, con probabilidad de  $1/3$  para cada estrategia<sup>10</sup>. Por otro lado a cada agente se le asigna lo que llamaremos un “referente” el cual es una empresa que sigue el mismo tipo de estrategia que el agente y, en esta investigación, dichos vínculos generan la red que será estudiada. Adicionalmente, a los agentes del tipo II se les asigna un segundo vínculo que apunta a una empresa del tipo IS o IC a la cual el II intenta asemejarse. La interpretación de los vínculos mencionados se desarrollará más adelante.

Partiendo de estas condiciones iniciales los agentes llevan adelante la fase de producción donde el capital es usado para producir los dos tipos de bienes que este modelo considera. A los efectos de este trabajo se llamará “Producto” (P) al primer tipo de bien y “Outsourcing” (O) al

---

<sup>10</sup> Esta configuración general al inicio se repite en todas las configuraciones propuestas del modelo y hace posible independizar los resultados de las condiciones iniciales.

segundo. Entre ambos tipos de bienes la principal diferencia conceptual, desde el punto de vista de su producción, consiste en que el primero requiere de un nivel técnico mayor, lo que en este modelo se expresa como una mayor dificultad para conseguir una innovación exitosa y un cierto grado de rigidez para movilizar el capital de un sector a otro. Esto conduce a plantear que la productividad de una empresa no es la misma entre los dos sectores. Inicialmente se fija la productividad del mercado P mayor que la del mercado O, reflejando la mayor capacidad técnica que el capital destinado a P debe tener, lo cual es la contracara de la rigidez planteada. A continuación se presenta la función de producción, ecuación 1, por sector.

$$Y_t^{i,j} = \phi_t^{i,j} K_t^{i,j} \quad (1)$$

donde:

$i \in [1, 2, \dots, \Omega]$  con  $\Omega$  número de agentes

$j \in [P, O]$  con P y O tipos de producto

$t \in [1, 2, \dots, T]$  con T número de períodos

$\phi$  Productividad

K Capital

Y Producto

En cuanto a la determinación del precio que enfrentan las empresas en cada bien, el modelo sigue la línea de Greenwald y Stiglitz (1990, 1993) donde este es, para cada empresa, una variable aleatoria que tiene como media el precio de mercado y una varianza finita. En particular, siguiendo a Tedeschi et al (2014) se considera una distribución uniforme, y se fijan los extremos de esta en +/- 1/2 del precio de mercado. Por otro lado el costo del capital considera una remuneración media, o de mercado, que se multiplica por la productividad de cada firma para obtener la remuneración de esta al capital. En estas condiciones, el beneficio de cada firma se expresa en la ecuación 2.

$$\pi_t^{i,j} = u_t^{i,j} Y_t^{i,j} - g_t^{i,j} K_t^{i,j} = (u_t^{i,j} \phi_t^{i,j} - g_t^{i,j}) K_t^{i,j} \quad (2)$$

$$\pi_t^i = \pi_t^{i,P} + \pi_t^{i,O} \text{ Beneficio total de la empresa } i$$

$$\text{Donde } g_t^{i,j} = \phi_t^{i,j} g^j$$

$$\pi_t^{i,j} \text{ Beneficio de la firma } i \text{ en el sector } j$$

$$u_t^{i,j} \text{ Precio recibido por la empresa } i \text{ para su producto } j$$

$$u_t^{i,j} \sim U\left(\frac{1}{2}u^j; \frac{3}{2}u^j\right)$$

$$u^j \text{ Precio de mercado del sector } j$$

$$g_t^{i,j} \text{ El costo variable que enfrenta la firma } i \text{ en el sector } j$$

$$g^j \text{ Remuneración de mercado en el sector } j$$

Por otra parte, un componente esencial de este modelo es la reinversión de beneficios para I+D, la cual se supone que ocurre si el beneficio es mayor que cero y a una tasa de  $\sigma$ . Este componente es el nexo entre producción e innovación y viene determinado por la ecuación 3:

$$(I + D)_t^{i,j} = \begin{cases} \sigma \pi_{t-1}^{i,j} \leftrightarrow \pi_{t-1}^{i,j} > 0 \\ 0 \leftrightarrow \pi_{t-1}^{i,j} \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\sigma \in (0,1)$$

Luego de finalizada la etapa de producción y definido el nivel de I+D para cada sector, la empresa se embarca efectivamente en la búsqueda de generar innovaciones que incrementen su productividad. Esta búsqueda es modelada mediante un proceso aleatorio que sigue una distribución de Bernoulli, cuya probabilidad de éxito se incrementa al aumentar la inversión en I+D. Esto hace posible que el modelo recoja uno de los hechos estilizados mencionados en la sección anterior, referente a que la inversión en I+D aumenta la probabilidad de lograr un proceso de innovación exitoso, pero teniendo en cuenta que esta reinversión puede tener distintos niveles de eficiencia en su uso. El parámetro de esta distribución, para cada empresa en cada sector y en cada período, viene dado por la ecuación 4.

$$Z_t^i = 1 - e^{-\gamma^j \mu_t^{i,j}} \quad (4)$$

Donde  $\mu_t^{i,j} = \frac{(I + D)_t^{i,j}}{K_t^{i,j}}$

$\gamma^j \geq 0$  mide la eficiencia del sector  $j$  para generar innovaciones

Resta aún determinar la magnitud del avance que se genera y para ello es necesario distinguir entre los tres tipos de estrategia. Para las empresas que siguen la estrategia IS el incremento de eficiencia, si se logra un éxito en el proceso de innovación, genera un avance que no depende de lo que ocurra en el resto del sector. Esto se debe a que en la red los IS solo mantienen un vínculo de tipo “referente” con otro agente IS que no genera flujos de información que afecten su proceso de innovación directamente. Este avance estará dado por la ecuación 5:

$$\phi_t^{i,j} = (1 + \xi_t^j) \phi_{t-1}^{i,j} \quad (5)$$

Donde  $\xi_t^j \sim U[\delta_1^j, \delta_2^j]$

Con  $\delta_1^j \geq 0$  y  $\delta_2^j \geq 0$  el mínimo y el máximo efecto posible por sector

Por otro lado las empresas que sigan una estrategia IC, para conseguir modificar su productividad, deberán pertenecer a un proyecto en el cual todos los integrantes hayan conseguido un proceso de innovación exitoso en el período anterior. Esta es una característica negativa de las redes de colaboración donde la interdependencia genera un riesgo, ya que el nivel de inversión en I+D que cada empresa define afecta solo su propia probabilidad de innovar y el agente no es capaz de controlar el nivel de I+D del resto de los miembros del proyecto. Pese a esto el modelo propone que, en caso de que todos los miembros del proyecto logren innovar, la colaboración tiene un efecto positivo que se manifiesta en que el incremento de productividad que cada empresa recibe no es solo el que obtuvo en su propio proceso, sino el generado por el proyecto en su totalidad. En este modelo un “proyecto” estará dado por lo que en teoría de redes se conoce como “componente”. Esto implica considerar dentro de un proyecto solo a los miembros de la red colaborativa que conforman un clúster conexo (Jackson, 2008). Estas condiciones se expresan en la ecuación 6:

$$\left. \begin{aligned} \phi_t^{i,j} &= \left( 1 + \sum_{m=1}^M \xi_t^{m,j} \right) \phi_{t-1}^{i,j} \Leftrightarrow \text{todos los miembros de proyecto } m \text{ innovan} \\ \phi_t^{i,j} &= \phi_{t-1}^{i,j} \text{ en otro caso} \end{aligned} \right\} (6)$$

Donde  $m \in [1, 2, \dots, M]$  con  $M$  número total de miembros del proyecto

Finalmente, los agentes que siguen estrategias del tipo II actualizan su productividad si el agente al que están imitando tiene un nivel de productividad mayor que el propio. En ese caso, si el agente consigue un proceso de innovación exitoso, esto se traduce en una mejora de productividad proporcional a la productividad del agente copiado. La expresión algebraica de esta idea se presenta en la ecuación 7.

$$\left. \begin{aligned} \phi_t^{i,j} &= \left[ 1 + (\phi_t^{k,j} - \phi_t^{i,j}) \xi_t^{i,j} \right] \phi_{t-1}^{i,j} = \frac{1 + \phi_t^{k,j} \xi_t^{i,j}}{1 + \phi_{t-1}^{i,j} \xi_t^{i,j}} \phi_{t-1}^{i,j} \Leftrightarrow \phi_t^{k,j} > \phi_t^{i,j} \\ \phi_t^{i,j} &= \phi_{t-1}^{i,j} \text{ en otro caso} \end{aligned} \right\} (7)$$

Con  $\phi_t^{k,j}$  la productividad, en el sector  $j$ , del agente copiado  $k$

De esta manera los agentes utilizan una parte de su beneficio del período en incrementar su productividad, por medio de la inversión en I+D, según la estrategia de innovación elegida. Idealmente el agente, en este modelo, buscaría invertir el resto del beneficio obtenido en cada sector

incrementando su stock de capital en el mismo. Con la intención de considerar la posibilidad de que existan limitaciones en la incorporación de capital, en este modelo se impone una tasa de crecimiento al stock de capital por sector que limita la incorporación de capital por las empresas.

Esta condición genera la posibilidad de que exista acumulación de beneficios de un período a otro. Por lo tanto en cada período el agente buscará incrementar su capital por el monto de beneficio que tiene acumulado del período anterior, sumado al remanente del período presente luego de realizar la inversión en I+D. De igual manera es posible que el beneficio remanente del período sea inferior al capital disponible por parte de la empresa para ser incorporado. En estos casos se genera una masa de capital disponible para el siguiente período, en caso de que los beneficios de la firma sean suficientes para incorporarla. Por último, debemos considerar qué pasa con el número total de empresas a lo largo del tiempo. En este sentido el modelo supone que cuando una empresa llega a un nivel demasiado bajo de capital, la misma deja el mercado y en su lugar entra otra dotada con los recursos de capital disponibles, para cada empresa, y el resto de los parámetros de la firma saliente (Vitali et al, 2013; Tedeschi et al, 2014)<sup>11</sup>. Con lo cual el número total de empresas se mantiene constante. De la misma manera, el modelo supone que, si dentro de una empresa uno de los dos sectores llega a un nivel de capital, por debajo de un determinado umbral, ese capital es absorbido por el otro sector.

Por lo tanto la firma en cada período cuenta con un determinado nivel de capital disponible para ser incorporado, ecuación 8, y un monto de recursos para su contratación, ecuación 9, que llevan a definir el nivel de capital del siguiente período, ecuación 10.

---

<sup>11</sup> Este proceso, por como es modelado, también podría ser visto como una inyección de capital público o privado, pero no como un préstamo u otro tipo de financiamiento ya que el modelo no considera la existencia de un mercado financiero.

$$dispG_t^{i,j} = \frac{\sum_{i=1}^{\Omega} (K_t^{i,j} \eta^j + unEmp_t^{i,j} - newEnt_t^{i,j})}{\Omega} \quad (8)$$

$dispG_t^{i,j}$  Capital disponible para que la empresa  $i$  incorpore en el sector  $j$

$\eta^j \in (0,1)$  Tasa de crecimiento del stock de capital, en el sector  $j$ , de la economía

$unEmp_t^{i,j}$  Capital no incorporado del período anterior, por cada empresa  $i$

$newEnt_t^{i,j}$  Capital destinado a la entrada de nuevas firmas

$$available_t^{i,j} = \pi_t^{i,j} - (I + D)_t^{i,j} + unDist_t^{i,j} \quad (9)$$

$available_t^{i,j}$  Recursos disponibles para la incorporación de capital en el sector  $j$

$unDist_t^{i,j}$  Recursos no utilizados en el período anterior por cada empresa  $i$

$$\left. \begin{aligned} K_{t+1}^{i,j} &= K_t^{i,j} + available_t^{i,j} \Leftrightarrow available_t^{i,j} < dispG_t^{i,j} \\ K_{t+1}^{i,j} &= K_t^{i,j} + dispG_t^{i,j} \Leftrightarrow available_t^{i,j} > dispG_t^{i,j} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

En este punto culmina el proceso de producción e innovación y comienza el segundo proceso estudiado, el de elección de las estrategias. El proceso dinámico por el cual la red va modificando su estructura se realiza haciendo uso de dos elementos. En primer lugar se define para cada empresa un indicador al que Tedeschi et al (2014) denominan “Fitness” y relaciona el nivel de activos, en este caso solo capital, de cada empresa con el de la empresa más rica. Por lo tanto el indicador Fitness se define en la ecuación 11.

$$f_t^i = \frac{K_t^i}{K_t^{\max}} \quad (11)$$

$$K_t^i = K_t^{i,P} + K_t^{i,O}$$

$$K_t^{\max} = \max_{i \in \Omega} (K_t^i)$$

Por otra parte se genera un proceso de búsqueda para la decisión de modificar el vinculo, donde cada firma  $i$ , vinculada hasta ese momento con la firma  $r$  es asignada aleatoriamente a una

firma  $h$ . La disposición de la empresa  $i$  de romper el vínculo con la empresa  $r$ , estableciendo el nuevo vínculo con la empresa  $h$  y copiando su estrategia de innovación, se modela mediante un proceso aleatorio que sigue una distribución de Bernoulli y cuyo parámetro se expresa en la ecuación 12.

$$Pd_t^i = \frac{1}{1 + e^{-\beta^i (f_t^h - f_t^r)}} \quad (12)$$

$\beta^i \geq 0$  Nivel de confianza, del agente  $i$ , en la información de la que dispone

$f_t^r$  Fitness del actual referente

$f_t^h$  Fitness del referente propuesto

A diferencia del modelo planteado por Tedeschi et al (2014), en este trabajo se considera que la empresa, además de estar dispuesta a realizar el cambio de referente, tiene que considerar que es capaz de adaptarse a su nuevo vínculo. Esta condición supone pensar que el agente no solo busca modificar su estrategia de innovación, sino que entiende que la estructura de capital de la firma a la que tomará como referente es relevante. Este cambio responde a la necesidad de tener en cuenta el hecho de que este modelo opera con dos bienes, cuyo capital no necesariamente tiene perfecta movilidad entre ambos sectores. Por lo tanto, si el Fitness es tomado como indicador de relevancia de una firma en el mercado, y a partir de ello un agente considera tomarla o no como referente, este debe también analizar si realmente está en condiciones de adaptar su propia distribución relativa de los tipos de capital. El parámetro de la distribución de Bernoulli que modela este proceso de decisión se expresa en la ecuación 13.

$$Pa_t^i = \frac{1}{1 + \lambda^i |\theta_t^i - \theta_t^h|} \quad (13)$$

$\lambda^i \geq 0$  Nivel de rigidez, del agente  $i$ , para modificar su estructura de capital

$\theta_t^i = \frac{K_t^{i,P}}{K_t^i}$  Ratio que expresa la estructura de capital del agente  $i$

$\theta_t^h$  Ratio que expresa la estructura de capital del referente propuesto

En este modelo ambas condiciones son necesarias para que se establezca un nuevo vínculo, tanto la disposición a cambiar de vínculo como la capacidad de hacerlo. Dado que esto determina la dinámica de la red de innovación, la cual en este trabajo es un elemento relevante para el estudio del sistema, resulta importante discutir el impacto que podemos esperar en la estructura de red ante los

distintos valores que pueden tomar los parámetros que afectan las probabilidades propuestas en las ecuaciones 12 y 13, estos son  $\beta^i$  y  $\lambda^i$  respectivamente.

El parámetro  $\beta^i$  se denomina “Señal de Credibilidad” y representa cuánto cada empresa cree en la información con la que cuenta sobre el desempeño de las demás. Por lo tanto este elemento provee al algoritmo la capacidad de reflejar la información imperfecta que las empresas enfrentan. Al considerar que la decisión será tomada en función de  $\beta^i$  cuando este se encuentra cercano a cero, lo cual implica que la información del parámetro Fitness no es relevante para las empresas, la decisión de estar dispuesto a cambiar tiende a tener probabilidad 1/2, lo que es igual a tirar una moneda. En el otro extremo, cuando este parámetro tiende a infinito, la probabilidad de disposición al cambio tiende a uno y cualquier diferencia en el parámetro Fitness es suficiente para que la empresa cambie su estrategia. Con lo cual, la probabilidad crece con  $\beta^i$  desde el mínimo 1/2 hasta el extremo superior 1. Por lo tanto el algoritmo permite que a medida que la confianza se incrementa en la red la estrategia más eficiente en materia de innovación tenderá a prevalecer sobre las otras. Cabe destacar que otra virtud de este diseño es que la aleatoriedad que se acaba de explicar es central para que el modelo no conduzca a conclusiones triviales, desde el punto de vista de este enfoque, al evitar que sencillamente todas las empresas sigan la estrategia dominante. En este sentido es importante mencionar que la construcción del modelo permite que se realice un cambio de vínculo en favor de una empresa con menor Fitness.

Por su parte el parámetro  $\lambda^i$  se denomina “Rigidez Estructural” y aporta la posibilidad de manejar distintos escenarios, respecto de la viabilidad, para modificar las proporciones de cada tipo de capital con las que cuenta cada empresa. Cuando este parámetro es cero la empresa tiene una absoluta capacidad, probabilidad de uno, de movilizar el capital entre los distintos sectores. Pero a medida que el valor del parámetro crece, esta posibilidad se diluye, llevando a que la probabilidad tienda a cero y en el extremo se vuelva imposible alterar la estructura de capital de la firma. Por lo tanto, la probabilidad decrece en  $\lambda^i$  desde 1 hasta 0. La incorporación de este parámetro, así como también el anteriormente estudiado, hace posible considerar distintos grados de heterogeneidad en el análisis, ya que cada firma puede tener un valor diferente de estos parámetros y por tanto podemos estudiar el efecto de ellos en la trayectoria de la firma y realizar comparaciones para distintos valores del parámetro. En particular, a los efectos de esta investigación resulta relevante observar cómo el espacio paramétrico de  $\beta^i$  y  $\lambda^i$  afecta la estructura de la red de innovación que se estudia.

Una vez que el agente analizó su disposición y su capacidad para efectuar un cambio, de la combinación de ambas surge la decisión efectiva de cambiar, o no, de vínculo. Pero por otro lado, en caso de querer cambiar de vínculo, esta decisión queda sujeta a que la empresa que se pretende tomar como referente mantenga su estrategia de innovación. Esta condición obedece a la idea de que el agente tomó su decisión en base a la información con la que cuenta y por ello, si las condiciones se ven afectadas en el proceso de cambio de estrategias, resulta razonable pensar que el agente no realizará su cambio a menos que la otra firma mantenga la estrategia que tenía.

Considerando todo esto se diseña un algoritmo de cambio de tipo que permite que se realicen los cambios que cumplan con las condiciones expuestas, y resuelve los bloqueos que puedan generarse. Las etapas del mismo son las siguientes:

- 1) Los primeros en resolver son todos aquellos que no están dispuestos a cambiar de referente, sumados a los que se disponen a cambiar dentro del mismo tipo. Estos “informan” que quienes estén dispuestos a tomarlos como referentes pueden hacerlo.
- 2) Luego los agentes dispuestos a tomar como referentes a los del punto 1 concretan su cambio, llevando a que algunos de ellos cambien de tipo y por tanto invaliden las intenciones de ser tomados como referentes por parte de nuevos agentes.
- 3) Por el punto 2, los agentes que perdieron su opción para el cambio de referente “informan” que quienes estén dispuestos a tomarlos como referentes pueden hacerlo.

Los puntos 2 y 3 se repiten hasta que en alguna iteración al llegar al punto 2 no hayan agentes dispuestos a concretar ningún cambio con los agentes objetivo disponibles para ello (lo cual es lo mismo que decir que la cantidad de los que toman una decisión deja de cambiar). Esto puede ocurrir por lo que se expone en el punto 4.

- 4) En este punto puede ocurrir que ya no queden agentes dispuestos a cambiar de referente, en cuyo caso el proceso a terminado, o bien que las intenciones de cambio restantes no puedan ser resultas por esta parte del algoritmo (un bloqueo). Con lo cual, en caso de existir solicitudes de cambio pendientes se procede a otorgar la prioridad al agente con mayor valor en su variable “Fitness”, de los que restan por asignar, a los efectos que que concrete su cambio elegido. Al hacer esto se genera que este cambie su tipo y por tanto invalide la posibilidad de los agentes que decidieran tomarlo como referente. Por lo tanto estos pasan a mantener su tipo y el algoritmo puede

volver a correr desde el punto uno, iterando de 2 a 3. El proceso continúa hasta que ya no queden solicitudes sin resolver.<sup>12</sup>

A medida que los cambios se van realizando se generan rupturas de vínculos, debido que algunos agentes pierden a su referente cuando este cambia de tipo. Ante esta situación, luego de que todos los cambios se hayan realizado, los agentes que hayan perdido su referente tomaran otro del mismo tipo de forma aleatoria, para utilizar como referente en la próxima ronda de cambios.

Como se mencionó anteriormente los agentes que siguen una estrategia II tienen un vínculo adicional al que conforma la red de innovación que aquí se estudia. Este vínculo apunta, no a su referente, sino al agente al cual intentan copiar. Por lo tanto, luego de este proceso de cambio de estrategias, corresponde asignar un agente a imitar a los nuevos II, así como encontrar un nuevo agente a imitar a aquellos II que hayan perdido su agente imitado por este haberse convertido en II. Para resolver estas dos situaciones primero se selecciona de forma aleatoria un agente entre todos los que llevan adelante estrategias del tipo IS o IC. La decisión del agente II al que queremos asignar su agente a imitar, será elegir entre el agente seleccionado aleatoriamente o el agente al cual su referente está siguiendo. En caso de que el Fitness del agente seleccionado aleatoriamente sea inferior al del imitado por el referente del agente en cuestión, automáticamente pasará a copiar al mismo agente que copia su referente. En caso de que esto no sea así la decisión sobre cuál elegir se modela mediante una distribución de Bernoulli cuyo parámetro se expresa en la ecuación 14. Si el resultado es un uno la elección será copiar al agente elegido aleatoriamente y de lo contrario pasar a copiar al agente que copia el referente.

$$Pc_t^i = \frac{1}{1 + e^{\beta^i (f_t^{rc} - f_t^{nc})}} \quad (14)$$

$\beta^i \geq 0$  Nivel de confianza, del agente  $i$ , en la información de la que dispone  
 $f_t^{rc}$  Fitness del agente copiado por el referente de  $i$   
 $f_t^{nc}$  Fitness del agente seleccionado aleatoriamente para ser comparado

Por último, antes de que el sistema vuelva a iniciar el proceso de producción, será necesario que los agente que cambiaron sus vínculos en este período, intenten ajustar su estructura de capital a la del nuevo vínculo. Esto se modela según la distribución que se expone en la ecuación 15.

<sup>12</sup> El algoritmo es capaz de resolver todas las solicitudes dado que la cantidad de bloqueos es finita, debido a que las intenciones de cambio se fijan al inicio y no se modifican luego. Por tanto, dado que ante cada bloqueo el algoritmo activa el punto cuatro para romperlo, en algún punto el número finito de bloqueos se termina.

$$\left. \begin{array}{l} \theta_{t+1}^i \sim U(\theta_t^i, \theta_t^r) \text{ si } \theta_t^i < \theta_t^r \\ \theta_{t+1}^i \sim U(\theta_t^r, \theta_t^i) \text{ si } \theta_t^i > \theta_t^r \end{array} \right\} (15)$$

$\theta_t^r$  Ratio que expresa la estructura de capital del nuevo referente

De esta manera termina el período y el sistema puede volver a comenzar con los nuevos valores y la nueva estructura de red. Ambos procesos se repiten durante  $T$  períodos de tiempo. En cuanto a la configuración inicial de los parámetros, la cual se estudia en el siguiente capítulo, la mayoría de ellos son los usados por Tedeschi et al (2014) excepto en los casos en los que estos no se encuentran especificados y por ello se recurrió a los usados por Vitali et al (2013), así como también a adaptaciones que respondan a los aspectos diferenciales de este modelo. La virtud del uso de estos valores, que ya fueron empleados en trabajos anteriores, radica en la capacidad mostrada en estos trabajos de reproducir los hechos estilizados que se analizan. Por su parte, en el próximo capítulo, cuando se estudien los resultados del presente modelo se podrá ajustar estos valores en la medida que resulte necesario para el presente estudio.

## Resultados de las Simulaciones

Este capítulo se estructura en tres apartados, donde los dos primeros estudian las características del modelo desarrollado y su capacidad de reproducir hechos estilizados relevantes para el objeto de estudio, el primero enfocado en el proceso de producción y el segundo en el ajuste de las estrategias. Tomando como base estos resultados, en el tercer apartado se procede a incorporar las políticas públicas para observar el efecto de estas sobre el sistema y, de esta forma, analizar su respaldo o rechazo a las hipótesis planteadas.

### Análisis del Proceso de Producción

El objetivo de este apartado es estudiar el comportamiento del modelo al variar el valor de ciertos parámetros que, según cómo fue construido, determinan las características y el comportamiento del mismo, mientras los demás se mantienen constantes. Esto se considerará como una validación del modelo al confrontarlo con los hechos estilizados relevantes en el área, a la vez que hará posible concluir en cuanto a los rangos de valores de los parámetros a utilizar en el siguiente apartado. Por otro lado se buscará caracterizar el sistema al observar la posible existencia de una Ley de Potencia, así como el valor del parámetro de esta, antes de la inclusión de las políticas públicas, mediante el estudio de los vínculos entrantes y su distribución. Con el mismo objetivo se medirá el grado de clusterización observable, por medio del conteo de los componentes que se detecten en la red de innovación.

Para comenzar el análisis hace falta definir algunos de los aspectos de cómo opera el modelo. Un primer nivel en cuanto a estas decisiones consiste en definir el número de agentes que participan en el mercado, la cantidad de períodos de cada simulación y el número de simulaciones a considerar para obtener resultados. Para ello se sigue la línea de los trabajos de Dosi et al (2010), Vitali et al (2013) y Tedeschi et al (2014), pero con adaptaciones para ajustarlo al fenómeno estudiado. Por lo tanto se trabajó con 100 simulaciones ( $S = 100$ ), con distintas semillas aleatorias, de 330 períodos ( $T = 330$ ) cada una, teniendo en cuenta para el análisis solo los últimos 300 períodos, y considerando una población de 100 agentes ( $\Omega = 100$ ).

La selección de estos valores implica mantener una relación de 3 a 1 entre los períodos considerados y la cantidad de agentes, lo cual permite que exista la posibilidad de que cada agente haya tomado al menos una vez cada una de las estrategias consideradas. Además, la exclusión del

10% de las primeras observaciones permite centrar el análisis en los efectos del modelo al distanciarse de las condiciones iniciales. Por último, la cantidad de simulaciones responde a la necesidad de plantear un número suficiente de observaciones que permita obtener distribuciones de Montecarlo suficientemente simétricas y unimodales. Esta característica es confirmada por los ejercicios preliminares de los estadísticos bajo estudio.

En segundo lugar corresponde definir las condiciones iniciales que permiten poner a funcionar el modelo. Para ello se propone un conjunto de valores basados en Vitali et al (2013), Tedeschi et al (2014) y adaptaciones, los cuales posteriormente son sometidos a análisis mediante el estudio de su comportamiento en los valores extremos del espacio paramétrico considerado, así como también para valores intermedios del mismo. Esta estrategia, desde el punto de vista metodológico, es reconocida como válida para este tipo de modelos y cuenta con una creciente literatura que la respalda (Fagiolo, Moneta, Windrum, 2007; Pyka, Fagiolo, 2007; Fagiolo, Roventini, 2012).

Los valores utilizados se exponen en la Tabla 1.

Variable / Mercado	P	O
$\phi_0^{i,j}$	0,2	0,15
$K_0^{i,j}$	10	10
$u^j$	1,15	1
$g^j$	1,075	0,975
$(\delta_1^j, \delta_2^j)$	(0,01 ; 0,05)	(0 ; 0,02)
$\gamma^j$	20	30
$\eta^j$	0,05	0,1
$\lambda_0^i$	40	40
$\beta_0^i$	40	40
$\sigma$	0,2	0,2

Tabla 1

En el presente apartado se estudia el comportamiento del modelo ante cambios en algunos parámetros  $(\sigma, \gamma^j, \eta^j, \lambda_0^i, \beta_0^i)$ , Para lo cual, en primer lugar, el modelo se corre para distintos

valores en el parámetro que indica la proporción de reinversión ( $\sigma$ ) de beneficios. Esto permite estudiar la posible existencia de una relación no lineal entre el I+D y el resultado de la empresa que podría respaldar lo expuesto en el capítulo anterior en cuanto al efecto de la I+D después de ciertos niveles. Los valores elegidos para el parámetro (0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1) permiten cumplir además con el estudio de los casos extremos. Concretamente se estudia la evolución temporal del capital y la productividad promedio, entre todos los agentes, para cada sector y en cada uno de los valores asumidos para el parámetro en análisis. Esto hace posible observar los efectos de este sobre la acumulación de capital y, en particular, en los casos extremos cuando ( $\sigma = 0$  y  $\sigma = 1$ ) es esperable un crecimiento exponencial del capital junto con un nivel nulo de crecimiento de productividad en el primero, y un crecimiento bajo del capital en el segundo acompañado por un rápido incremento de la productividad. Por otro lado se analiza la evolución del número de ocurrencias de bancarrota, en relación con los distintos valores del parámetro, donde es de esperar una correlación positiva entre ambos. A continuación se presentan los gráficos de la evolución de las variables consideradas para cada valor del parámetro.

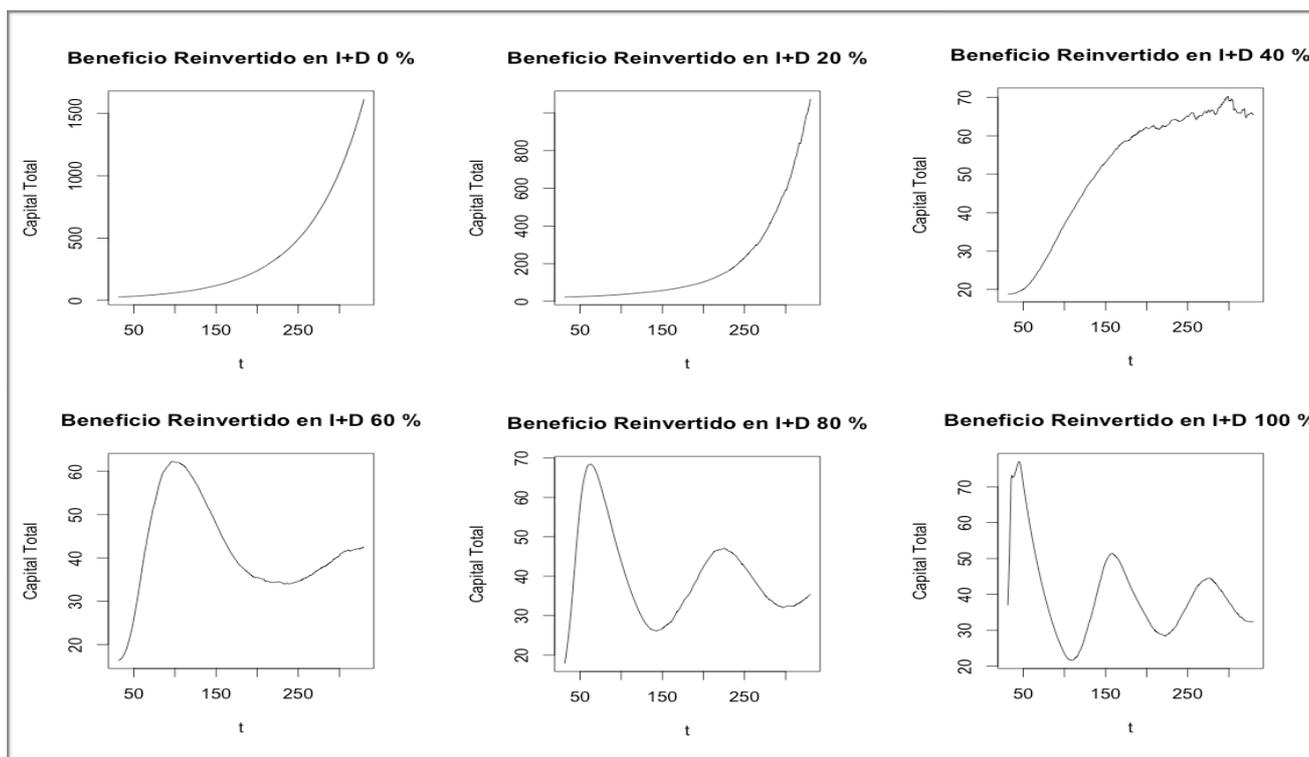


Gráfico 1

En el Gráfico 1 se puede apreciar cómo evoluciona, a lo largo del tiempo, el capital total promediado entre empresas y entre el total de simulaciones, para cada nivel del espacio paramétrico seleccionado para el parámetro que indica la proporción de reinversión ( $\sigma$ ) de beneficios en I+D.

En el mismo es posible ver que el valor de  $\sigma$  condiciona no solo la evolución temporal, sino también los niveles máximos alcanzados por el capital total de las empresas. En particular, como es de esperar, en el caso en que la reinversión es cero el capital total alcanza sus niveles máximos. El comportamiento es similar a un nivel del 20%, pero a partir del gráfico del 40% la serie comienza a cambiar y los niveles de capital que se alcanzan se vuelven considerablemente inferiores a los anteriores. Las fluctuaciones obedecen a la entrada de nuevas empresas como consecuencia de las bancarrotas que se registran en el sistema. Es esperable que sin ellas en el último caso el capital no evolucionara, ya que todo el beneficio se utiliza para I+D. La contrapartida de ello es la evolución de la productividad que se estudia en los siguientes gráficos.

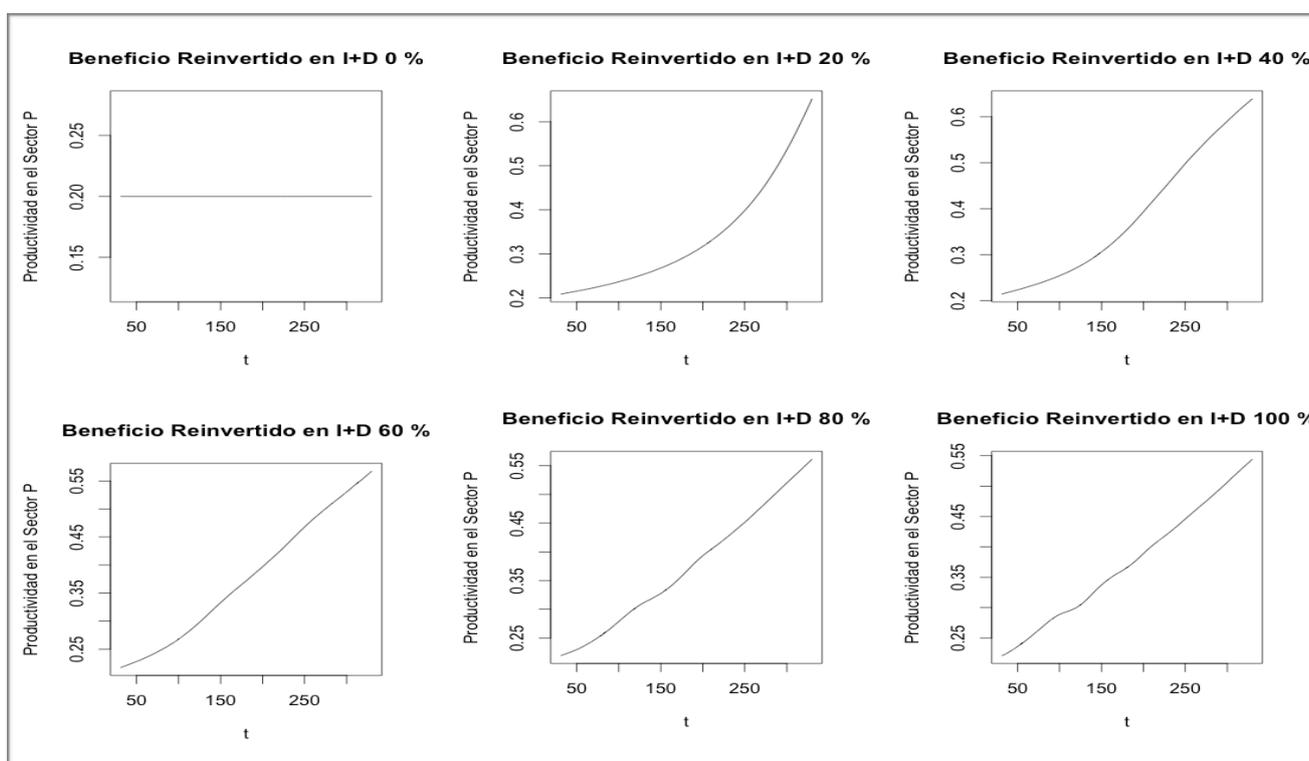


Gráfico 2

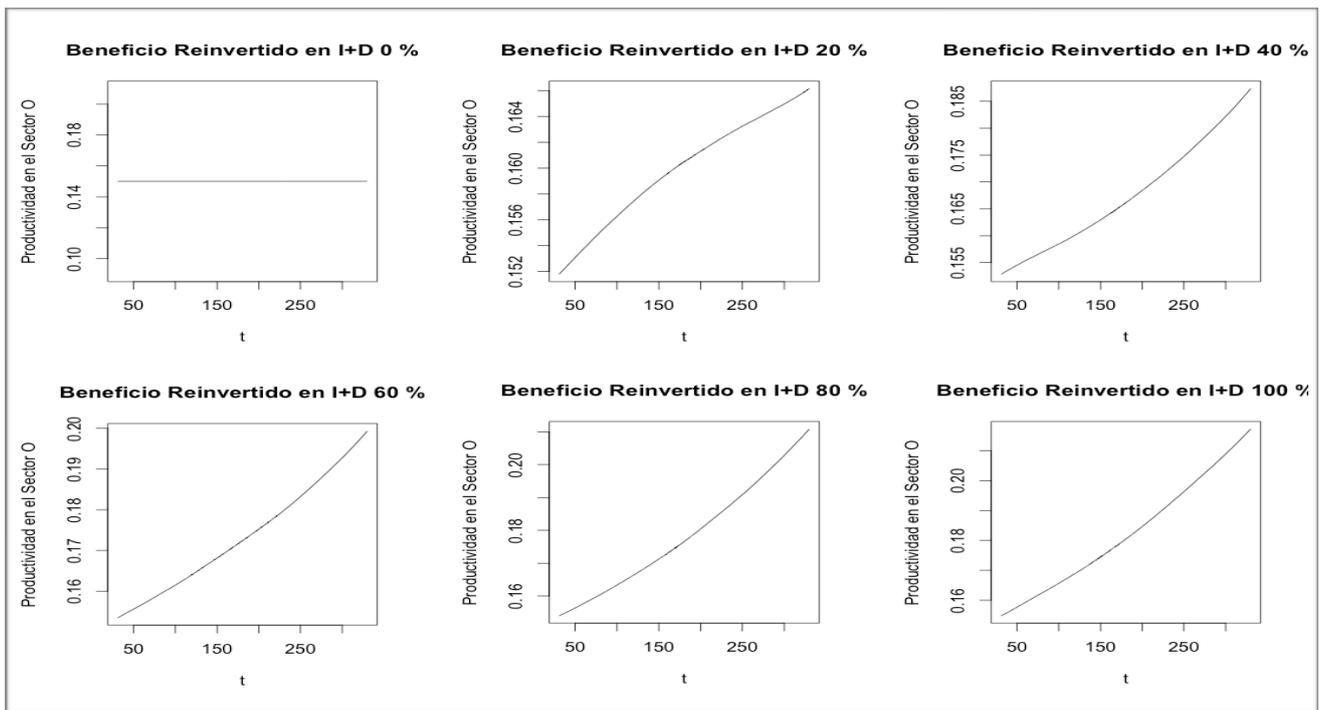


Gráfico 3

Los Gráficos 2 y 3 muestran la evolución de la productividad promedio en cada sector, entre agentes y simulaciones, para cada valor considerado del parámetro referido a la reinversión de beneficios en I+D. La primera observación a destacar de estos gráficos es que para niveles nulos de reinversión la productividad no se modifica, lo cual se corresponde con la construcción del modelo y aporta validez a su funcionamiento. Por otro lado resulta relevante observar que, para niveles superiores a 40% de reinversión, el comportamiento de la productividad en el mercado P prácticamente no se modifica. Algo similar ocurre en el mercado O, pero a partir de valores superiores al 60%. Lo relevante de esta observación es que la misma muestra la capacidad del modelo de replicar el tipo de relación de no linealidad mencionada, entre I+D y los resultados que obtiene la empresa.

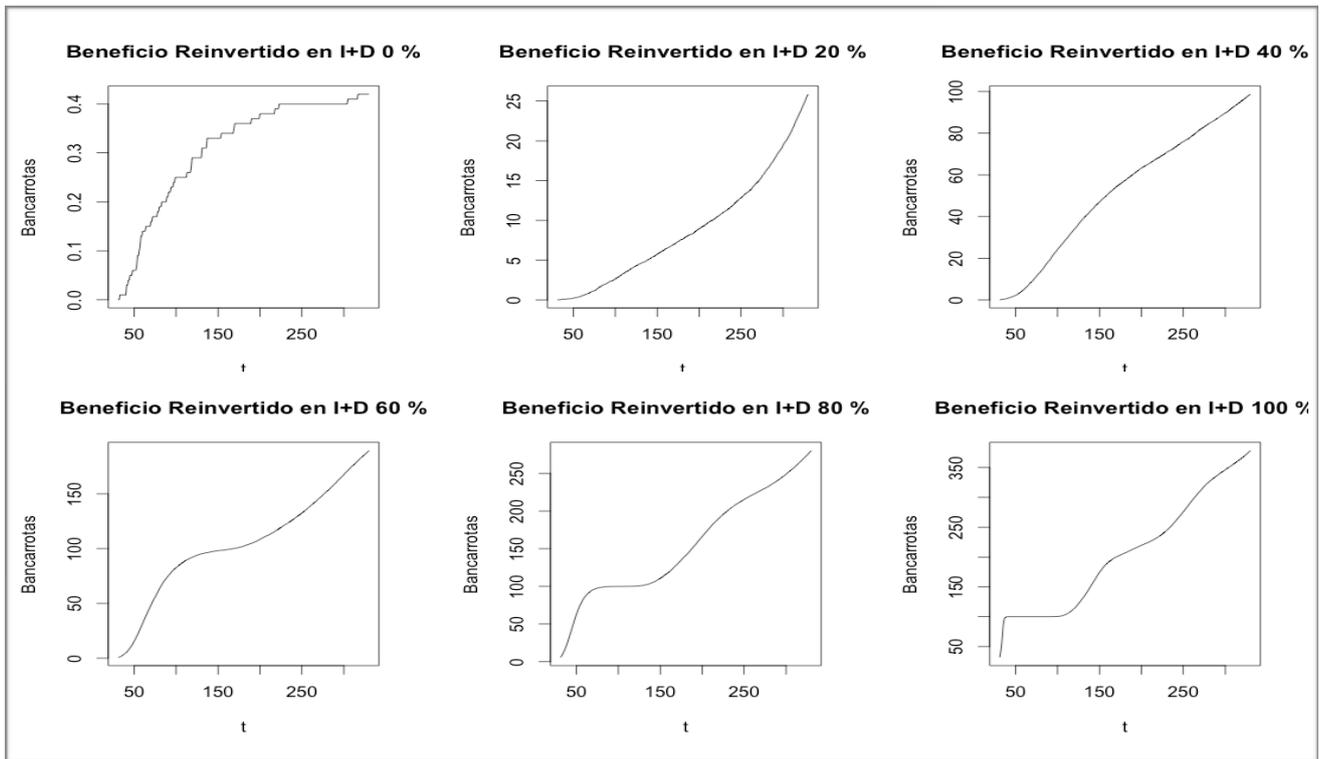


Gráfico 4

Para culminar con el análisis de los efectos de  $\sigma$  en el modelo, corresponde considerar lo que ocurre con la cantidad de empresas que van a la bancarrota, dado que el mismo condiciona la incorporación de nuevo capital y por tanto afecta la fragilidad de la firma. Esto se expone en el Gráfico 4, donde se muestra la cantidad total de bancarrotas a lo largo del tiempo, en el promedio de las simulaciones. Resulta claro el efecto que el nivel de I+D tiene sobre la posibilidad de caer en bancarrota, donde para niveles nulos de reinversión el promedio entre simulaciones es de menos de una ocurrencia para todo el período, mientras que al pasar a un 20% las bancarrotas promedio están en el orden de las 25 al finalizar el período. Es justamente este crecimiento en las bancarrotas el que conduce a las oscilaciones observadas en los niveles de capital total del Gráfico 1.

Como se expuso en la ecuación 4, la probabilidad de conseguir un proceso de innovación exitoso no solo depende del nivel de I+D que la empresa destina para ello, sino también de la eficiencia ( $\gamma^j$ ) con la que lo aplica. Este modelo supone que cada mercado tiene un nivel de eficiencia propio del mismo, según los valores definidos en la Tabla 1, donde podemos apreciar que el mercado O es el que tiene mayor nivel de eficiencia. Esto responde a que el concepto de eficiencia utilizado, en el desarrollo de procesos de innovación exitosos, está asociado a la dificultad técnica de cada uno de los sectores. Por esto es que el mercado más exigente (P), tiene un

menor nivel de eficiencia, dado que requiere mayor inversión en I+D para conseguir la misma cantidad de procesos de innovación exitosos.

En el Gráfico 5 se expone el comportamiento del capital promedio entre empresas y simulaciones, por período de tiempo, donde se puede ver el efecto que los distintos niveles de eficiencia del mercado P tienen sobre esta variable. Los valores considerados para analizar este parámetro son (0, 10, 20, 30, 40, 50, 60), lo cual permite observar el ajuste al comportamiento modelado. En principio, según cómo fue construido el modelo, deberíamos esperar que mayores niveles de eficiencia generen registros más altos de capital promedio dentro del sector. Esto efectivamente ocurre y se aprecia en los niveles que alcanza el capital al final de período, donde pasa de superar apenas los 150, cuando la eficiencia es 0, y llega a más de 1400 cuando este parámetro es 60.

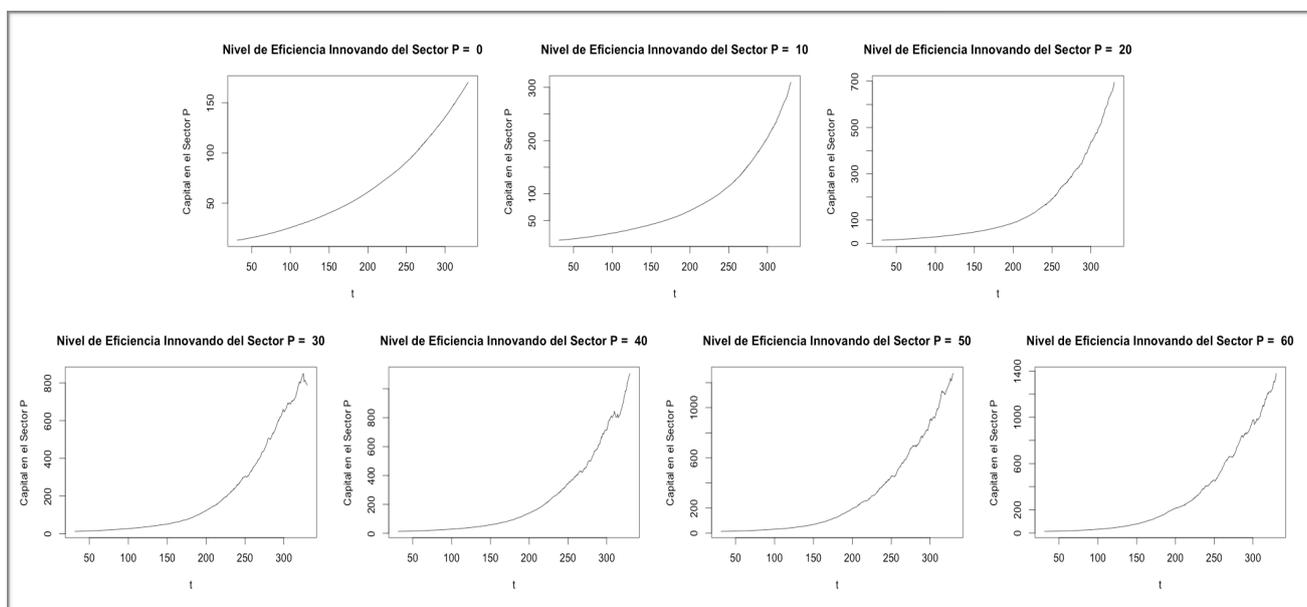


Gráfico 5

El Gráfico 6 muestra otra característica esperable del modelo, en base a su construcción, al resumir el comportamiento de la productividad en el mercado P al variar el parámetro que mide su eficiencia para generar innovación. En particular, cuando el parámetro en estudio es igual a cero, la productividad del mercado P no se modifica en todo el período. A medida que la eficiencia crece, también lo hace el nivel que la productividad puede alcanzar, pero no de manera lineal, apoyando la validez funcional del modelo y reforzando la idea planteada para el parámetro que mide el nivel de reinversión de beneficios invertido en I+D.

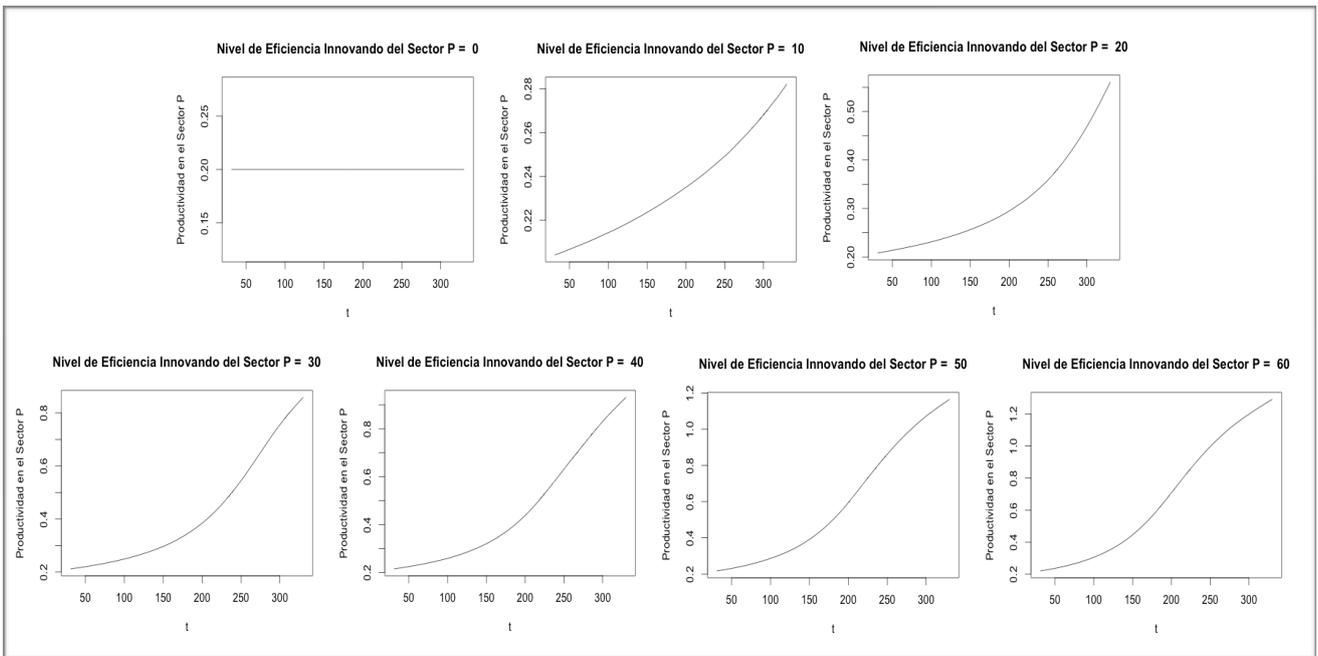


Gráfico 6

Habiendo estudiado el correcto funcionamiento del modelo en lo que respecta al efecto de la eficiencia en innovación de un sector, sobre los niveles promedio de capital y productividad, es posible ahora analizar el efecto de variar este parámetro en un sector, mientras en el otro permanece constante. Para ello el Gráfico 7 muestra la evolución del ratio que expresa la relación entre el capital dedicado al mercado P, sobre el capital total. Nuevamente esto se muestra considerando la media entre agentes y simulaciones, a lo largo del tiempo y para cada valor del parámetro de eficiencia del mercado P.

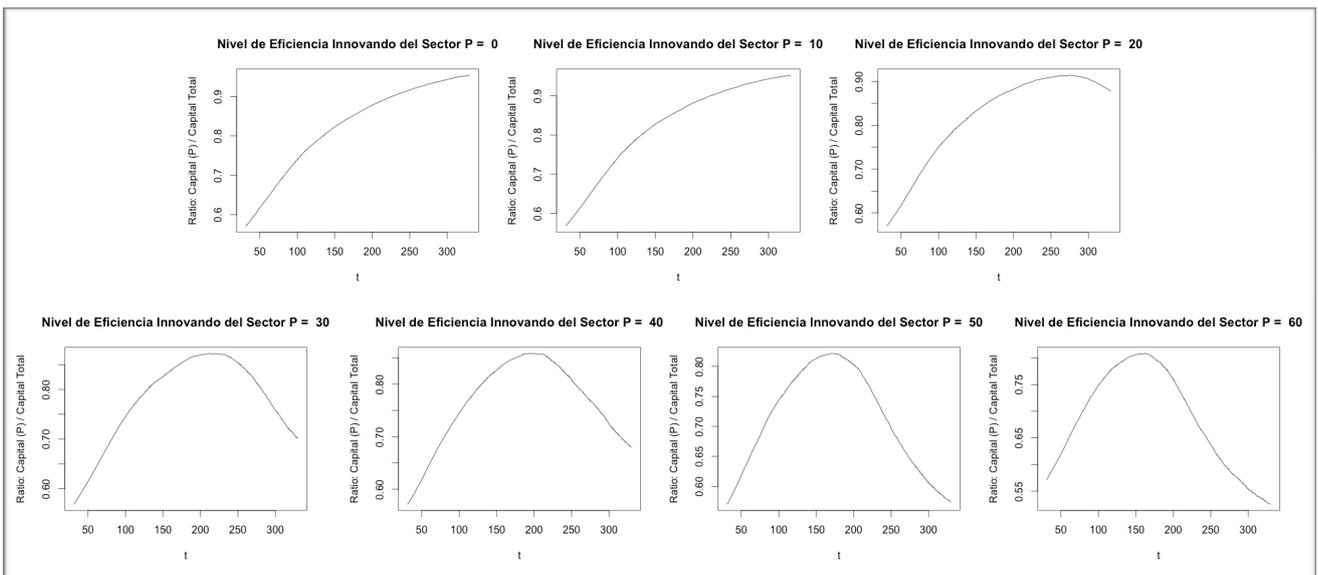


Gráfico 7

A primera vista la evolución del comportamiento de este ratio llama la atención ya que al incrementar la eficiencia del mercado P, y por tanto su brecha con la del mercado O, parecería razonable pensar que el peso del mercado P en el total de capital debería incrementarse. Sin embargo, observamos que el mercado P alcanza su mayor peso en el ratio, al final del período, para los valores de eficiencia menores que la del mercado O, la cual está fija en 30. Además este descenso es más rápido y pronunciado a medida que se incrementa la productividad en el mercado P. Para comprender este resultado es necesario recordar que el costo variable de producción de la firma se compone de un elemento exógeno que es el salario de mercado ( $g^j$ ) multiplicado por la productividad de la firma. Por lo tanto un elevado incremento en la productividad relativa del mercado P frente al O implica por un lado un mayor nivel de producción por unidad de capital, pero por el otro se genera un incremento en el costo variable que enfrenta la firma y en cierto punto vuelve más atractiva la producción del mercado menos eficiente, ya que el mismo enfrenta costos variables relativamente más bajos. Los efectos de variar el parámetro de eficiencia en el mercado O, mientras el del mercado P se mantiene constante, son análogos a los encontrados en este análisis.

Otra de las características particulares, del modelo que se propone, consiste en la existencia de una capacidad limitada de incorporación de capital. Como se explicó en la sección anterior esto implica que las empresas pueden estar dispuestas a incorporar capital, en base a los beneficios obtenidos, pero que ello no sea posible dada la disponibilidad del mismo. Como se explicó oportunamente, este modelo no considera la existencia de un sector financiero y por tanto el crecimiento de las empresas está limitado por el beneficio de estas. Pero aún así, principalmente en países pequeños y con una oferta de capital humano reducida, no es razonable suponer que el único limitante al crecimiento sean los beneficios de la empresa. Para ello el modelo supone que cada empresa enfrenta una restricción, en la incorporación de capital, que se manifiesta en un límite dado por un crecimiento lineal determinado por las tasas de crecimiento del capital de cada sector, según se muestra en la ecuación 8.

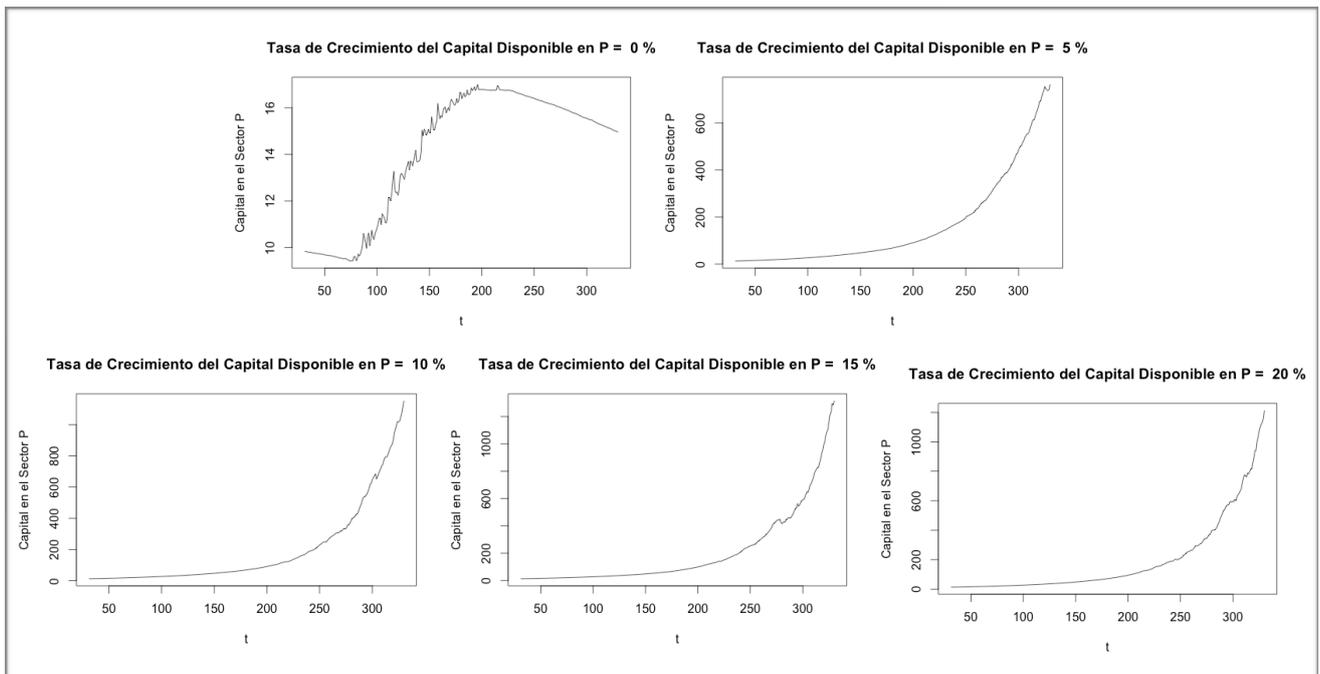


Gráfico 8

En el Gráfico 8 se puede apreciar el efecto de esta tasa de crecimiento sobre el capital promedio, por agentes y por simulaciones, en el mercado P. El mismo muestra cómo, para una tasa nula de crecimiento, este capital alcanza valores inferiores a 16 al final del período, mientras que cuando la tasa es del 20% este supera los 1000. Este comportamiento es el esperado en base a cómo fue construido el modelo y permite validar su funcionamiento en este aspecto.

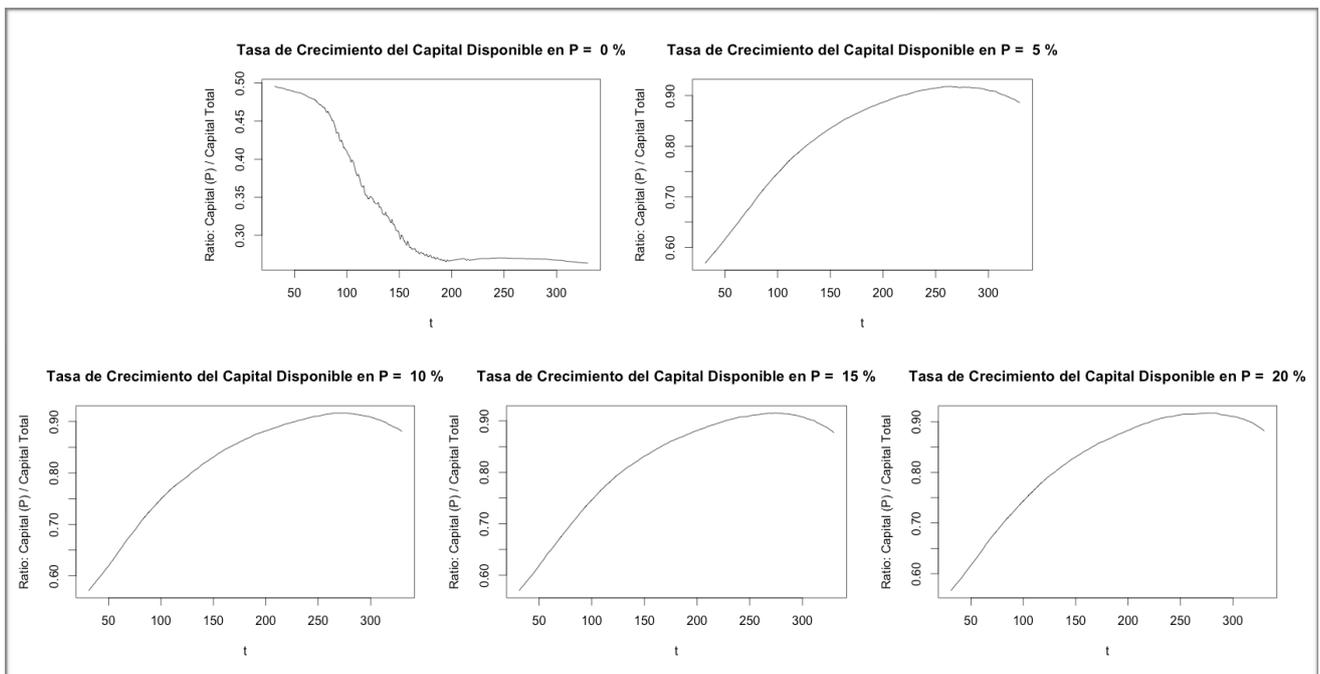


Gráfico 9

En el Gráfico 9 se analiza la evolución del ratio entre el capital en el mercado P y el total de capital de la firma promedio. Es posible apreciar que para una tasa de crecimiento del capital nula en el mercado P, la proporción de este en el total cae rápidamente pero sin llegar a desaparecer por completo. En cambio cuando el capital en el mercado P crece a una tasa del 5%, incluso inferior al 10% al que crece en el mercado O, este descenso ya no ocurre y la proporción del capital dedicado al mercado P crece constantemente a lo largo del período. Además el crecimiento al 5% es prácticamente el mismo que para el resto de los valores considerados. Por lo tanto es posible decir que, en este modelo, si se sostiene alguna tasa de crecimiento en el mercado de mayor productividad y complejidad en materia de innovación), el mismo será preponderante en el sector.

Otro aspecto relevante a analizar en el estudio del efecto de este límite al crecimiento del capital disponible, es su impacto sobre el nivel de bancarrotas del sistema. Es de esperar que la escasez de capital genere fragilidad, dado que impide el crecimiento de las firmas y esto las mantiene expuestas a que pequeños descensos en el precio que perciben las coloquen en niveles de capital por debajo 5 que es al valor mínimo considerado en este trabajo. Este efecto se muestra en el siguiente gráfico.

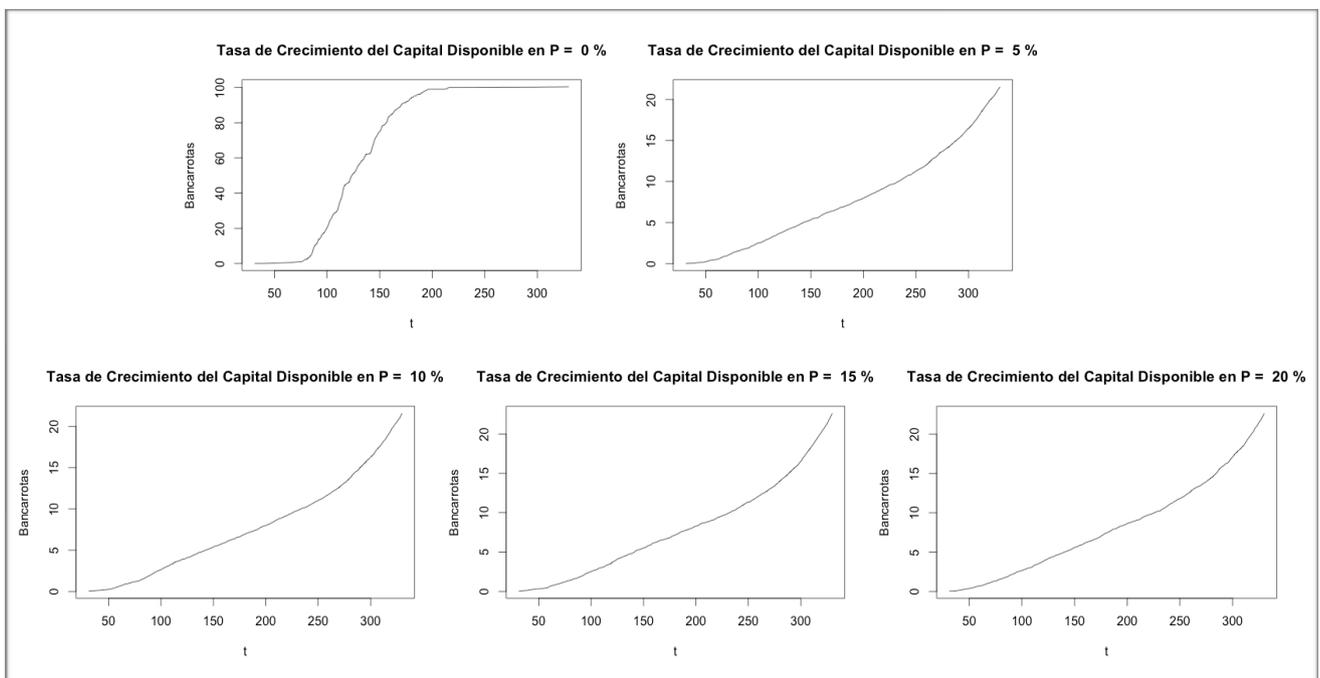


Gráfico 10

En el Gráfico 10 podemos apreciar nuevamente la importancia del mantener algún crecimiento en el capital disponible para el mercado P, incluso si este es bajo, ya que para valores nulos el sistema transita hacia un punto en el cual prácticamente todas las firmas entran en

bancarrota, período tras período, luego de  $t = 200$ . Esta observación, junto con el análisis realizado en base al Gráfico 9, conduce a proponer que el modelo es capaz de mostrar un cierto grado de interdependencia entre los dos mercados, donde la solidez del mercado P aparece como un factor determinante para disminuir la fragilidad del sistema en su conjunto. Esta idea se refuerza al observar que el efecto de la tasa de crecimiento del capital disponible en el mercado O no condiciona de igual manera al sistema en su conjunto. En el Gráfico 11 se analiza la evolución del las bancarrotas para distintos niveles de la tasa de crecimiento del capital en el mercado O, mientras el mismo parámetro para el mercado P se mantiene fijo en 5%, y se observa que incluso para niveles nulos de la misma el sistema registra un número relativamente bajo y estable de bancarrotas.

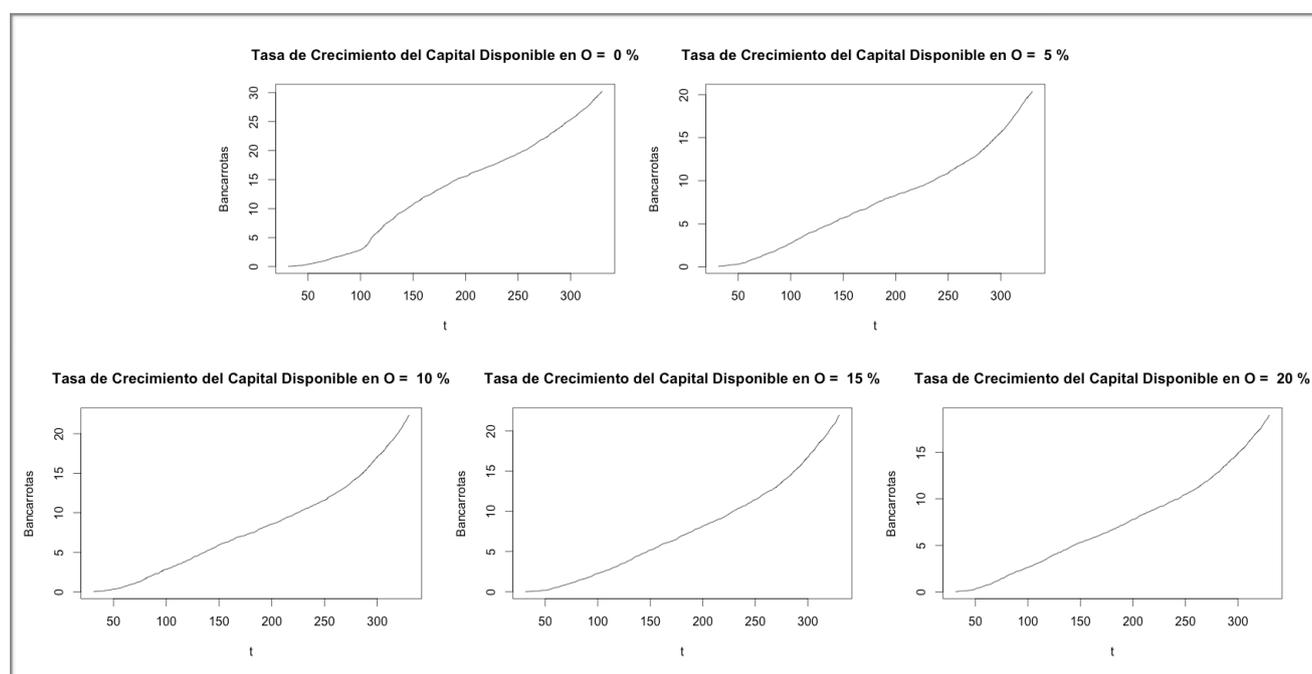


Gráfico 11

El análisis realizado hasta aquí, en este apartado, se enfocó en el primero de los dos procesos que articulan el modelo, referido a la producción e innovación. Como se ha señalado, uno de los objetivos de esta investigación consiste en estudiar las características de las redes de innovación que surgen de la aplicación de ciertas políticas públicas, y por ello, es en el segundo proceso donde se profundiza a continuación. Este segundo proceso es el referido a la actualización de las estrategias y es en esta instancia en la que se determina la estructura de red emergente en cada período. Ambos procesos están conectados el uno con el otro, ya que los resultados del proceso de producción e innovación afectan el Fitness de las empresas, y por medio de este las decisiones estratégicas que se toman en el segundo proceso. Sin embargo es este último el que genera las decisiones que luego determinan la estructura de red.

## Análisis del Proceso de Actualización de las Estrategias

En este segundo proceso hay dos parámetros que juegan un papel central en la conformación de la red, estos son la “Señal de Credibilidad” ( $\beta^i$ ) y la “Rigidez Estructural” ( $\lambda^i$ ). Para el estudio del efecto de estos sobre la red de innovación se procede de manera similar a la aplicada con los parámetros que ya fueron estudiados el apartado anterior de este capítulo, comenzando por definir un espacio paramétrico que será considerado para cada uno y luego se correrá el modelo para cada uno de esos valores manteniendo constantes los demás parámetros. La diferencia principal es que en lugar de estudiar los efectos sobre el capital y la productividad promedio entre agentes y simulaciones, o el ratio entre los tipos de capital promediado entre simulaciones, en este paso se buscará caracterizar la red explorando la existencia de una Ley de Potencia<sup>13</sup>, la cual se analiza mediante el método de la Máxima Verosimilitud para estimar el parámetro alpha de dicha ley y el p-valor del test de Kolmogorov-Smirnov asociado a la misma. Adicionalmente se desarrollarán dos indicadores, que se relacionan con estos parámetros, los cuales permitirán validar el correcto funcionamiento del modelo, en cuanto su construcción.

En general, siguiendo a Newman (2005), podemos decir que una cierta frecuencia sigue una Ley de Potencia cuando al aplicar logaritmo la misma puede ser aproximada mediante una función lineal. Esto implica que si tenemos  $f(x) = y = cx^{-\alpha} \Rightarrow \log(y) = \log(c) - \alpha \log(x)$  en general es posible dejar de lado el análisis de  $\log(c)$  y estimar, en este caso por el método de Máxima Verosimilitud, el valor de  $\alpha$  para poder concluir acerca de si la frecuencia estudiada sigue efectivamente una Ley de Potencia. Dadas las características de este tipo de distribuciones se deben tomar recaudos a la hora de realizar inferencia en cuanto a ellas. Es por esto que, en esta investigación, se sigue el procedimiento propuesto por Clauset, Shalizi y Newman (2009) quienes combinan el método de Máxima Verosimilitud, con el uso del test de Kolmogorov-Smirnov (KS) para medir la bondad de ajuste. Al aplicar el test de KS el estadístico de la prueba mide la máxima distancia entre la función de distribución acumulada de los datos  $S(x)$  para las observaciones con valores de al menos  $x_{\min}$  y la del modelo estimado  $P(x)$  que mejor ajusta el modelo en la región  $x \geq x_{\min}$ , de la forma  $D = \max_{x \geq x_{\min}} |S(x) - P(x)|$ . Para lograr esto se utiliza en R la función `fit_power_law {igraph}`, que permite obtener tanto el valor estimado de  $\alpha$ , así como el p-valor del

---

<sup>13</sup> En la teoría de redes es estudiado, este comportamiento de la distribución de los datos, en una gran variedad de trabajos, en particular se puede consultar: Boccaletti, Latora, Moreno, Chavez y Hwang (2006)

test KS. Además la implementación plfit de dicha función calcula el  $x_{\min}$  óptimo para cada grupo de valores.

El insumo que utilizará esta función para analizar la estructura de red son los vínculos entrantes. Estos se obtienen mediante la función degree, la cual toma cada nodo y cuenta la cantidad de vínculos entrantes que presenta. A partir de ello elabora un vector con el total de nodos para los diferentes grados, partiendo desde cero hasta el mayor grado. Esto genera la frecuencia que luego es estudiada por la función fit\_power\_law. El otro insumo que se requiere es, como se explicó, determinar el  $x_{\min}$  que en este caso sería el valor mínimo en cantidad de vínculos entrantes, para el cual se realiza el análisis, pero que mediante el uso de la implementación plfit será estimado para cada caso.

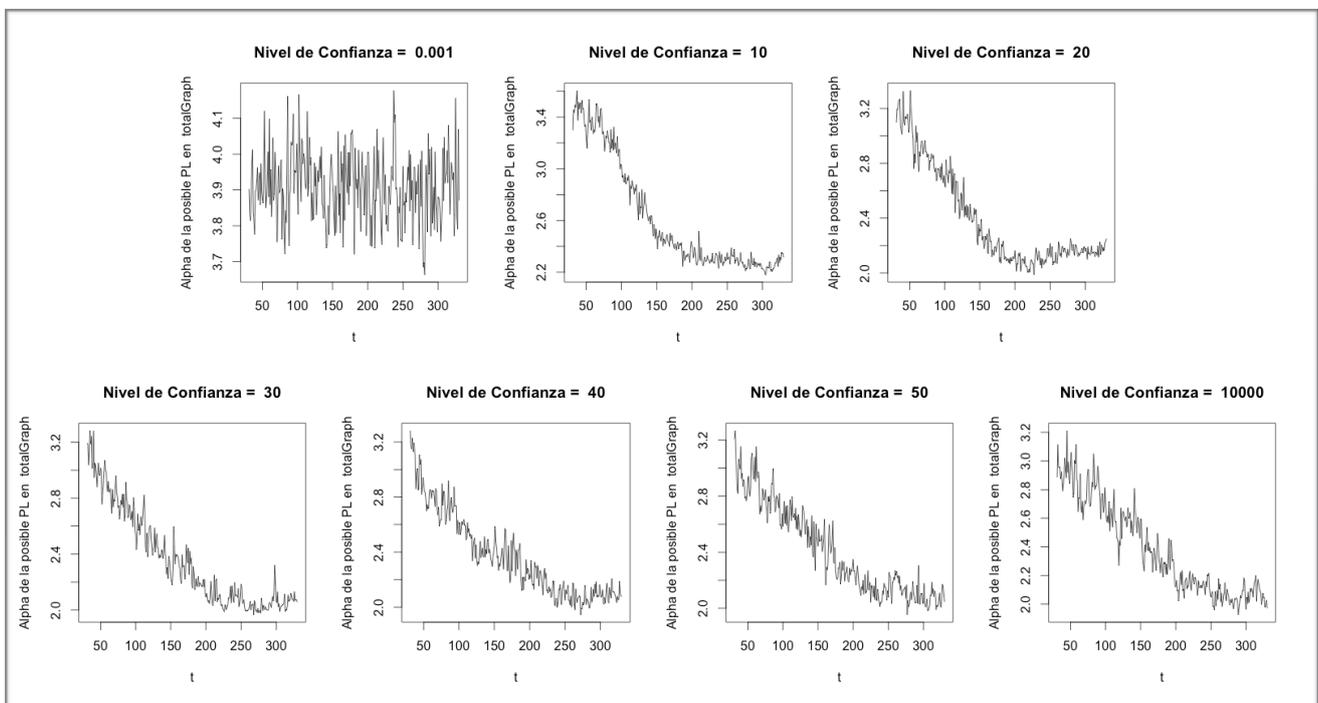


Gráfico 12

El Gráfico 12 muestra el valor del parámetro  $\alpha$  en el promedio de simulaciones, a lo largo del tiempo para los distintos valores considerados del parámetro  $\beta$ . En el se puede apreciar que, salvo en valores nulos<sup>14</sup> de la señal de credibilidad, el comportamiento de la serie no muestra cambios considerables a medida que esta aumenta. Pero además, para valores nulos de  $\beta$  los valores que alcanza el parámetro  $\alpha$  son mayores que los correspondientes a los otros casos. Este

<sup>14</sup> Por cuestiones prácticas, referidas al funcionamiento del modelo computacional, se decide usar un valor de 0,001 en lugar de 0 como extremo mínimo de la señal de credibilidad a los efectos de evitar fallas en tiempo de ejecución.

resultado está en línea con el obtenido por Tedeschi et al (2014) pero, a diferencia de ese trabajo, en el presente no se comparan simplemente los valores medios de  $\alpha$  a medida que varia  $\beta$  sino que se opta por exhibir de forma gráfica este comportamiento. El mismo, para valores no nulos de  $\beta$ , muestra claramente un comportamiento tendencial a lo largo del tiempo que no se percibe al comparar valores medios. Por otro lado queda claro que el efecto más relevante de la señal de credibilidad está entre el caso nulo y cualquier valor superior a este, lo cual también coincide con los resultados de Tedeschi et al (2014).

Más allá del análisis gráfico, es importante comprender qué es lo que nos dice este comportamiento y para ello es necesario tener presente la interpretación que es posible realizar al parámetro  $\alpha$  en este caso. Cuando hablamos de una Ley de Potencia, es común también referirse a estas como frecuencias libres de escala debido a que el ratio entre el valor de la frecuencia entre dos puntos se mantiene fijo cuando estos son multiplicados por una constante. Siguiendo a Jackson (2008) tenemos que  $f(x)/f(x') = (x/x')^{-\alpha} = f(2x)/f(2x')$  y por lo tanto el valor de  $\alpha$  es relevante para entender el comportamiento de la distribución, ya que el mismo está inversamente relacionado con la dispersión de la red (König et al; 2011), entendiendo dispersión como la existencia de mayor cantidad de clústeres identificables, y por ello podemos decir que para valores no nulos de  $\beta$  la red es más dispersa que para valores nulos. Además se observa que para valores no nulos la dispersión aumenta a lo largo del tiempo, de forma similar para cualquier valor de  $\beta$ . La interpretación económica de esta observación puede ser que cuando los agentes no tienen en cuenta la información del medio (valores de  $\beta$  nulos) el proceso de cambio de vínculo es aleatorio y esto lleva a que no haya concentración de vínculos entrantes en un agente en particular, con la consiguiente clusterización entorno a este, con lo cual los vínculos se distribuyen de manera relativamente homogénea disminuyendo la dispersión. En cambio, a medida que la confianza en la información crece, es esperable que los agentes que tienen un mejor Fitness comiencen a recibir más vínculos entrantes y por tanto la red se vuelva cada vez más dispersa.

La aleatoriedad de las decisiones para valores nulos de  $\beta$ , cuyo efecto se expuso más arriba, es una de las condiciones que se buscó en la construcción del modelo. Para ilustrar sobre ello se construye un indicador que mide la cantidad de vínculos formados, en cada período, por los agentes cuyo nuevo referente cuenta con un Fitness menor que el anterior. A priori cabe esperar que el incremento en la señal de credibilidad disminuya el número de vínculos de este tipo ya que los

agentes tienden a considerar con más importancia los datos que reciben de su entorno. Esta característica del modelo es expuesta en el Gráfico 13 que se presenta a continuación. En el mismo se aprecia cómo, a medida que el nivel de confianza en la información crece, los vínculos establecidos con nuevos referentes cuyo Fitness sea menor que el del antiguo disminuyen. En particular para niveles nulos de confianza apreciamos un comportamiento constante en el tiempo, el cual para valores no nulos comienza a tener una forma de U, pero siempre con valores inferiores al comprar los mismos períodos de tiempo. Finalmente, cuando la confianza llega al valor máximo considerado, el número de vínculos de este tipo tiende a cero.

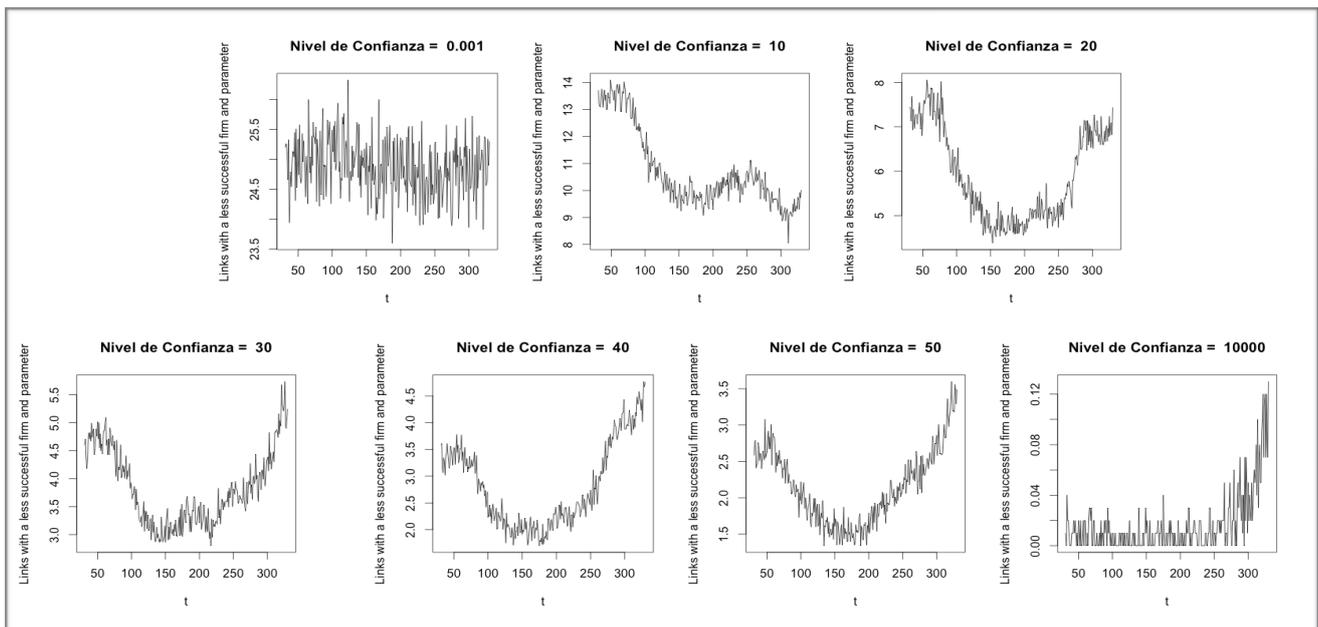


Gráfico 13

La presentación del gráfico anterior tiene como objetivo validar el funcionamiento del modelo en un aspecto estrechamente relacionado con el parámetro bajo análisis. Para continuar con el estudio de la posible Ley de Potencia del sistema es necesario analizar los resultados del KS test, lo cual se logra por medio del p-valor, donde un p-valor menor que 0,05 conlleva el rechazo de la hipótesis de estar ante una distribución que sigue una Ley de Potencia. Para observar esto, en el Gráfico 14 se presentan los valores del p-valor a lo largo del tiempo, para los distintos niveles de confianza considerados.

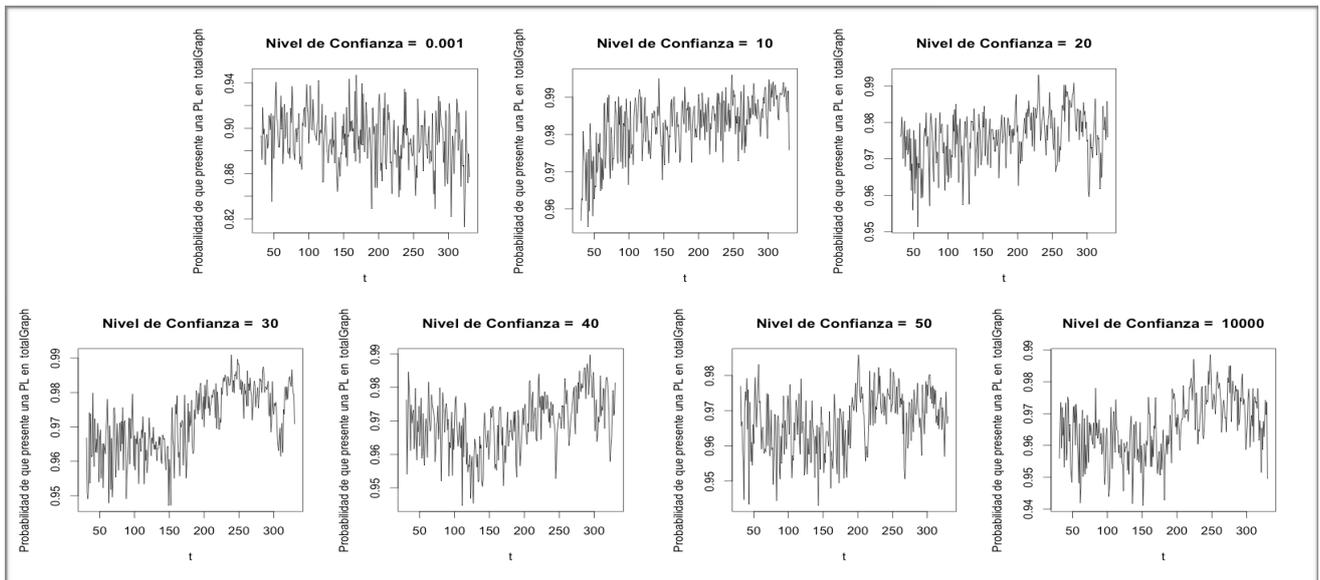


Gráfico 14

Resulta claro que, incluso para niveles nulos, la distribución de los vínculos entrantes sigue una Ley de Potencia en este sistema ya que el p-valor del test KS está siempre por encima de 0.8, con lo cual no se puede rechazar la hipótesis nula de que la distribución sea de este tipo. Esta evidencia valida el análisis realizado con respecto al parámetro  $\alpha$  y es coherente con los hechos estilizados referentes a redes de innovación (König et al, 2011)

Como se mencionó, en el procesos de ajuste de las estrategias existe otro parámetro que juega un papel central en cuanto a la estructura de red el cual, en este trabajo, es llamado Rigidez Estructural ( $\lambda$ ). Los efectos de los distintos valores que este puede tomar se estudian siguiendo la misma estrategia que fue utilizada para la Señal de Credibilidad en lo referente a la distribución de los vínculos entrantes pero, por otro lado, ya no se estudian los vínculos establecidos con empresas de menor Fitness que la que se abandona sino el porcentaje de cambios que no se concretan porque el agente no considera posible adaptar su estructura de capital a la del vínculo propuesto. Este último indicador se expone en el siguiente gráfico.

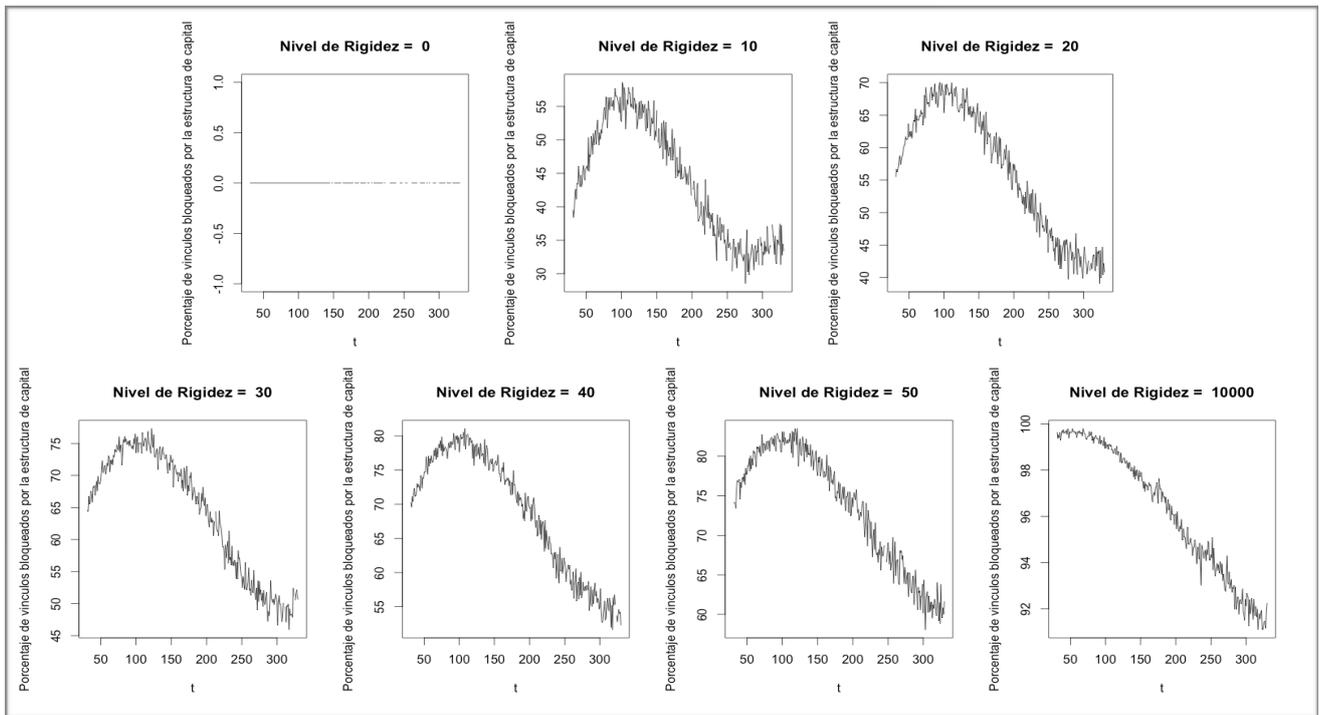


Gráfico 15

El Gráfico 15 muestra, en primer lugar, que cuando las empresas tienen total flexibilidad para ajustar su estructura de capital ningún vínculo deja de concretarse a causa de ello. Este resultado es esperable, pero conviene señalarlo como manera de validar el correcto funcionamiento del modelo. Por otro lado, a medida que la rigidez aumenta comienza a crecer el porcentaje de vínculos que no se concretan pero, para todos los valores estudiados de  $\lambda$ , se puede apreciar que luego de alcanzar un máximo en los vínculos no concretados este porcentaje comienza a disminuir. Tanto el máximo como el mínimo son mayores a medida que la rigidez crece, lo cual también refuerza la validez del modelo en materia de funcionamiento ya que, por construcción, cuando la rigidez es infinita deberíamos esperar que no se realice ningún cambio de vínculo.

En cuanto al comportamiento de la red, con relación a la distribución que siguen los vínculos entrantes, en el siguiente gráfico se presentan los valores que toma el parámetro  $\alpha$  de la Ley de Potencia ajustada.

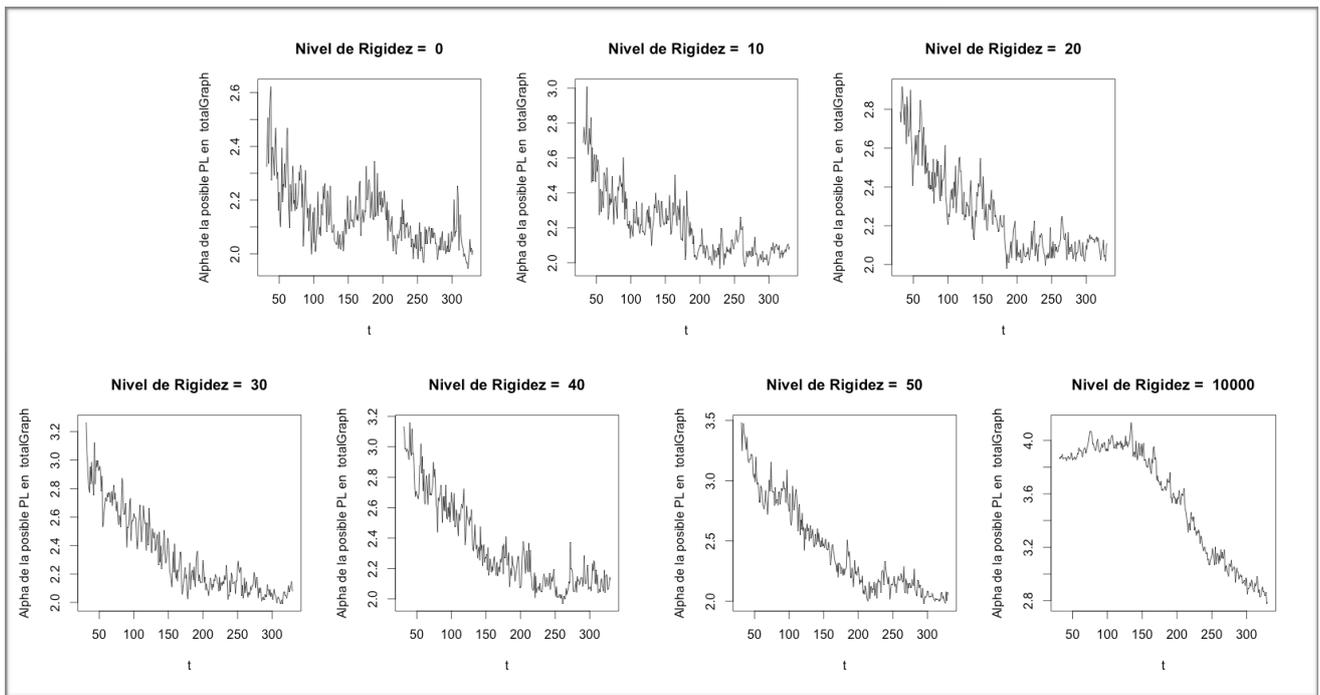


Gráfico 16

El gráfico 16 muestra un comportamiento del parámetro  $\alpha$ , al variar  $\lambda$ , con ciertas diferencias respecto de lo que se observó al estudiar los cambios producidos por los distintos valores considerados de  $\beta$ . La principal diferencia es que en el caso del efecto de la Señal de Credibilidad los niveles más altos del parámetro  $\alpha$  aparecían cuando  $\beta$  tomaba valores nulos, sin embargo con la Rigidez Estructural la diferencia no es tan evidente y de hecho el máximo valor de  $\alpha$  alcanzado cuando  $\lambda$  es 0 resulta ser el menor máximo de los valores considerados. Esto implica que la dispersión tiende a disminuir cuando aumenta el nivel de rigidez, pero de todas maneras para cualquier valor de  $\lambda$  la dispersión irá en aumento a medida que pasa el tiempo. En términos del modelo esto significa que la falta de flexibilidad extrema conlleva una menor formación de clúster entre los agentes pero, a lo largo del tiempo, los efectos de la mayor dispersión en el capital vuelven más atractivos a ciertos vínculos, impulsando la formación de clúster y aumentando nuevamente la dispersión de la red.

Finalmente, resta analizar el comportamiento de la probabilidad de que la distribución de los vínculos entrantes pueda modelarse por medio de una Ley de Potencia, presentando la evolución del p-valor del test KS. En este caso el Gráfico 17, al igual que lo observado para la Señal de Credibilidad, muestra que no es posible rechazar la hipótesis nula de que la distribución de los vínculos siga una Ley de Potencia, para ningún valor de los considerados del parámetro Rigidez Estructural. Esta conclusión aporta validez al análisis realizado para el parámetro  $\alpha$ .

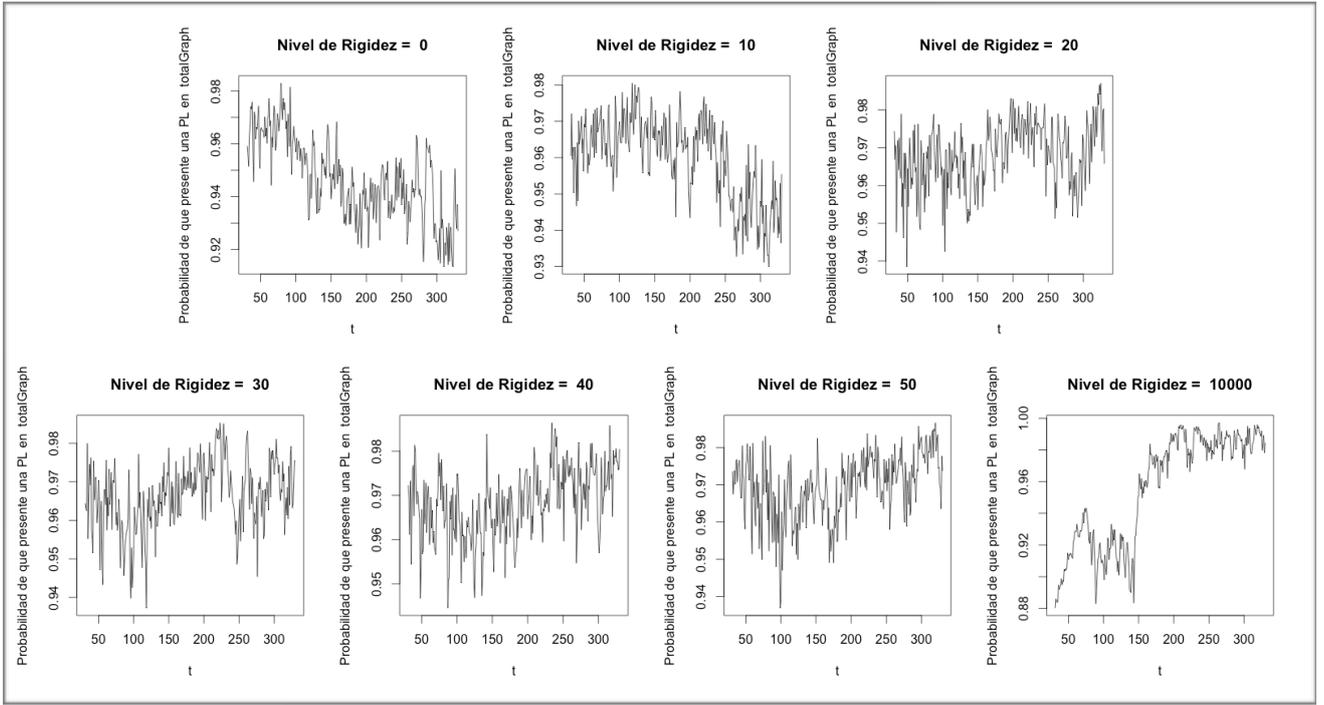


Gráfico 17

## Estudio de las Hipótesis

Luego de concluir el análisis del modelo, y conocer los efectos de las variaciones en los parámetros relevantes, se introducen las políticas públicas que se pretende estudiar. Para analizarlas, se define una tasa de impuesto a la ganancia ( $\tau$ ) y sean  $\Omega_t^s$  las empresas que serán favorecidas por el subsidio, siendo  $\Omega_t^s = 1, 2, \dots, S_t$ , y por otro lado  $\Omega_t^{-s}$  las empresas no favorecidas de modo que  $\Omega_t^s + \Omega_t^{-s} = \Omega$ . Esto permitirá estudiar el comportamiento de la estructura de red ante distintos niveles de impuesto y según cuál sea el grupo favorecido con el subsidio. Por lo tanto, podemos definir el monto del subsidio  $\varepsilon_t$ , ecuación 16, y los nuevos beneficios, ecuación 17, de la siguiente manera:

$$\varepsilon_t = \frac{\sum_{i=1}^{\Omega} \tau (\pi_t^{i,P} + \pi_t^{i,O})}{S_t} \quad (16)$$

$$\pi_t^{i,\varepsilon} = \begin{cases} \left\{ [(1-\tau)\pi_t^{i,P} + \varepsilon_t \theta_t^i] + [(1-\tau)\pi_t^{i,O} + \varepsilon_t (1-\theta_t^i)] \right\} & \text{si } i \in \Omega^s \\ [(1-\tau)(\pi_t^{i,P} + \pi_t^{i,O})] & \text{si } i \in \Omega^{-s} \end{cases} \quad (17)$$

Como se puede apreciar en la ecuación 17, el subsidio, es asignado a la población objetivo teniendo en cuenta su estructura de capital entre los mercados. De esta manera el efecto que la política fiscal genere en dicha estructura será producto de la elección de la población objetivo o de las decisiones de los agentes, y no de la manera en que fueron asignados los fondos. Por otro lado es importante mencionar que el modelo supone que la política se aplica inmediatamente después de culminado el proceso productivo y antes de que se tomen las decisiones de inversión en I+D y capital. Además se definen tres niveles de impuesto a estudiar, de donde  $\tau = (0,1;0,2;0,3)$ , así como también un momento específico de aplicación de la política fiscal que será en  $t = 41$ . La elección de este momento específico responde al hecho de que durante toda esta investigación se han excluido los resultados previos al momento 31, a la vez que permite en el análisis gráfico apreciar el momento concreto en el que se aplica la política y sus efectos. Por último, se fijan los valores de los parámetro según lo expuesto en la Tabla 1, excepto para  $\beta$  y  $\lambda$  que se suponen uniformemente distribuidos en el intervalo  $[30, 50]$ , en base a Tedeschi et al (2014) y lo analizado en el apartado anterior.

Corresponde ahora definir los grupos de agentes que serán beneficiados con la política pública. Estos guardan relación directa con la hipótesis que se pretende testear en cada caso, por lo cual, a continuación se reproducen aquí cada una de ellas antes de definir cada grupo de agentes.

1. La redistribución de los ingresos generados por un impuesto a las ganancias del sector tendrá una efecto positivo provocando un aumento en el número de empresas que siguen la estrategia apoyada. Pero el impulso que esto genere en el nivel de actividad del sector no tendrá un comportamiento monótono creciente sino que, luego de cierto umbral de la tasa de impuesto, comenzará a afectar de forma negativa al nivel de actividad.

Para abordar esta hipótesis se definen dos grupos de tratamiento, en primer lugar se distribuye el subsidio entre las empresas que siguen la estrategia de Innovación en Solitario (IS) y en segundo lugar a las que siguen la estrategia de Innovación Colaborativa (IC). No se considera como grupo destinatario de la política a las empresas cuya estrategia es la Imitación (II), dado que los incrementos de productividad de estas están perfectamente relacionados con los procesos de innovación de las otras.

2. La aplicación de este subsidio a un mercado específico, dentro del sector, tenderá a concentrar la actividad en el mercado favorecido por la política, pero ello a su vez aumentará el nivel de fragilidad de la economía y por esta vía el desempeño agregado en el largo plazo.

Los grupos de tratamiento, en este caso, se definirán por el ratio de capital destinado a cada sector. Para ello se utilizará la variable  $\theta_t^i$  que mide la proporción del capital destinado al mercado P de cada agente, donde por tanto  $(1 - \theta_t^i)$  corresponde a dicha proporción destinada al mercado O. La política tendrá un primer grupo de tratamiento que consistirá en las empresas que cumplan que  $\theta_t^i$  pertenece al primer cuartil de la distribución del ratio, beneficiando de esta forma a aquellas enfocadas en el mercado O. El segundo grupo estará definido por los agentes que cumplan que  $\theta_t^i$  pertenece al último cuartil, favoreciendo así a las empresas especializadas en el mercado P.

Definidos los niveles de impuesto a aplicar, el momento de aplicación de la política y los grupos de tratamiento, resta ahora exponer los indicadores que serán considerados para discutir, a partir de ellos, sobre las hipótesis planteadas. Para esto, siguiendo la línea del resto del trabajo, se dividirán en dos grupos de indicadores que serán medidos para cada nivel de impuesto, así como también para la situación sin política fiscal. Por lo tanto habrán cuatro series de cada uno de ellos donde cada momento del tiempo, partiendo de  $t = 31$ , representará el promedio del total de las simulaciones para ese momento, y su uso en cada hipótesis dependerá de su aplicación a la misma.

El primer grupo analiza los impactos de los distintos niveles de impuesto sobre el sector, dejando de lado los efectos en la estructura de red del mismo. Para ello este primer grupo consta de 7 indicadores.

1. Peso Relativo: cuenta la cantidad de agentes que siguen cada estrategia y lo divide entre el total de agentes. El objetivo de este indicador es mostrar el efecto de la política pública sobre la prevalencia de las distintas estrategias.
2. Alpha del Capital Total: aplicando el procedimiento expuesto en el apartado anterior, se calcula el parámetro  $\alpha$  de la probable Ley de Potencia que explica la distribución del capital entre las empresas. Por lo tanto, se aplica la función `fit_power_law` al vector de valores del capital total de cada empresa y se recoge el valor estimado de  $\alpha$  para ese momento. El cálculo de este parámetro brinda información acerca de la evolución temporal del grado de dispersión del capital entre empresas.

3. p-valor KS del Capital Total: al igual que antes se realiza el test de Kolmogorov-Smirnov, usando la misma función que en el indicador anterior, para decidir acerca del rechazo, o no, de la hipótesis nula de que la distribución estudiada sigue una Ley de Potencia. Para valores superiores a 0,05 se considera que no es posible rechazar la hipótesis nula y, por tanto, la interpretación realizada con el indicador anterior cobra validez estadística.
4. Desvío Estándar del Capital Total: calcula la desviación típica del nivel de capital total por empresa. Este indicador se complementa con el segundo, brindando una idea de la disparidad entre los niveles de capital de las empresas a lo largo del tiempo.
5. Nivel de Capital Total: suma los valores del capital total de cada empresa en cada momento del tiempo. La evolución de este indicador brinda una idea del efecto sobre el nivel de actividad del sector que genera cada nivel de impuestos.
6. Promedio del Ratio entre Tipos de Bien: este indicador toma el ratio que mide la estructura de capital de cada empresa ( $\theta_t^i$ ) y calcula la media entre todos los agentes, brindando una idea de la estructura de capital del sector en su conjunto. El comportamiento a lo largo del tiempo de este indicador muestra el efecto de la política pública sobre los tipos de bienes producidos.
7. Cantidad de Bancarrotas: Suma el total de bancarrotas producidas en cada momento del intervalo considerado. Con ello se tiene una idea de la inestabilidad que genera en el sistema la política pública considerada.

El segundo grupo de indicadores estudia el efecto, sobre la estructura de red, de los distintos niveles de impuesto. Por lo tanto, los mismos no solo se calculan en el tiempo y para cada simulación, sino que además se miden tanto para la red total, como para las tres redes que conforman los agentes al dividirlos según su estrategia. Si bien el foco de esta investigación está en el comportamiento de la red total, en algunos casos podrá servir como respaldo la evolución de estos indicadores al dividirlos por estrategias.

1. Alpha de la Red: estima el valor del parámetro  $\alpha$  de la probable Ley de Potencia que presenten los vínculos entrantes (grados) de la red. Para ello cuenta la cantidad de vínculos entrantes que recibe cada agente (nodo) y usa este vector para estimar el parámetro. A diferencia de los casos anteriores, en los que se usó la función `fit_power_law {igraph}`, en este se pone como condición  $x_{\min} = 1$  a los efectos de excluir a los agentes que no reciben ningún vínculo entrante y evitar las

variaciones en este límite que puedan surgir de la implementación “plfit” que se aplica. Este indicador brindará una idea del grado de dispersión de los vínculos entrantes entre los distintos agentes.

2. p-valor KS de la Red: permite decidir acerca del rechazo, o no, de la hipótesis nula de que la distribución de los vínculos entrantes sigue una Ley de Potencia. Como en los demás casos en los que se aplicó, valores superiores a 0,05 hacen que no sea posible rechazar dicha hipótesis. Su análisis permite validar la interpretación del indicador anterior.
3. Desvío Estándar de los Vínculos Entrantes: calcula el desvío estándar de los vínculos entrantes entre los agentes de la red. Aporta información acerca de la dispersión de la red, respecto del valor promedio, ampliando la comprensión de la misma que surge del primer indicador.
4. Mediana de los Vínculos Entrantes: calcula la mediana del vector de vínculos entrantes de la red. Dado el tipo de distribución que se espera que sigan los datos analizados, la mediana es una medida más apropiada que la media para interpretar la forma de la distribución.
5. Máximo de los Vínculos Entrantes: indica cual es el valor máximo de vínculos entrantes que presenta la red. Permite apreciar la evolución del extremo más alto de la distribución.
6. Cantidad de Componentes “Débil”: mediante la función `count_components`, en su modo “weak”, se obtiene el número de grupos de nodos que son alcanzables entre ellos, si no se considera el sentido del vínculo. Este indicador aporta una aproximación al grado de clusterización de la red.
7. Desvío Estándar entre Componentes: calcula el desvío estándar de la cantidad de nodos en cada componente encontrado. Ayuda a comprender la estructura de la red, desde el punto de vista de los clústeres que la componen.

Estos dos grupos de indicadores serán utilizados para estudiar las hipótesis planteadas en esta investigación. Dado el carácter dinámico de este trabajo resulta conveniente exponer los resultados, obtenidos del cálculo de los indicadores, mediante representaciones gráficas de su evolución temporal. Por ello, a continuación se presentan los gráficos relacionados con el estudio de la primera hipótesis, considerando como grupo favorecido por el subsidio a los agentes que siguen una estrategia de tipo IS.

El Gráfico 18 muestra el efecto en el peso relativo de los agentes que siguen cada estrategia sobre el total de agentes considerados. Esto permite apreciar que la aplicación de un subsidio a las empresas IS hace que dicha estrategia pase a predominar en el sector. Cabe recordar que el modelo impone la existencia de, al menos, tres agentes en cada estrategia. Por esta razón es que tanto la estrategia IC como la II siguen presentes en el mercado. Por otro lado, es claro que este proceso se acelera a medida que crece el impuesto, y por lo tanto el volumen del subsidio. Este comportamiento es el esperable, dado el tipo de política que se supone, pero por esa misma razón el Gráfico 18 es relevante, ya que permite apreciar el correcto funcionamiento de la herramienta de análisis utilizada. En particular, la línea vertical que se observa en los cuatro gráficos representa el momento en el que se comienza a aplicar la política y se puede apreciar cómo esta afecta al indicador.

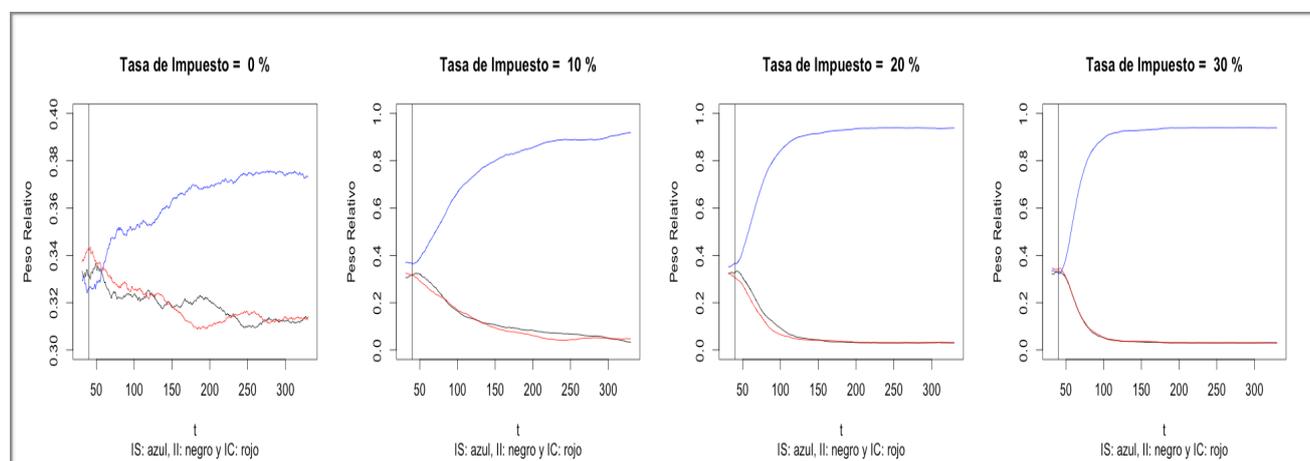


Gráfico 18

Por su parte los primeros dos gráficos, de izquierda a derecha en la parte superior del Gráfico 19, presentan los resultados de la estimación del indicador Alpha del Capital Total y p-valor KS del Capital Total. El gráfico del centro muestra la evolución del p-valor del estadístico KS y en el se puede constatar que, durante todo el período y para cualquier nivel de impuestos, no es posible rechazar la hipótesis nula de existencia de una Ley de Potencia. Por su parte el alpha estimado para la serie muestra que, para todo nivel de impuesto, el mismo tiene una tendencia decreciente. Esto implica que la dispersión, en los niveles de capital de las empresas, aumenta en cualquier escenario. Pero por otro lado, esta dispersión se ve atenuada a medida que aumenta la tasa de impuesto. Esto tiene sentido si pensamos que al pasar el tiempo cada vez más empresas optan por la estrategia IS, lo cual hace que los favorecidos con el subsidio aumenten dado que el mercado muestra que la distribución del capital sigue una Ley de Potencia. Debido a esto, es posible pensar que existen pocas empresas que tiene altos niveles de capital y por ello obtiene mayores beneficios. Dado que el

impuesto representa una proporción del beneficio de todas las empresas, en esta situación se da un efecto redistributivo, y por ello el nivel de impuesto disminuye la dispersión del capital.

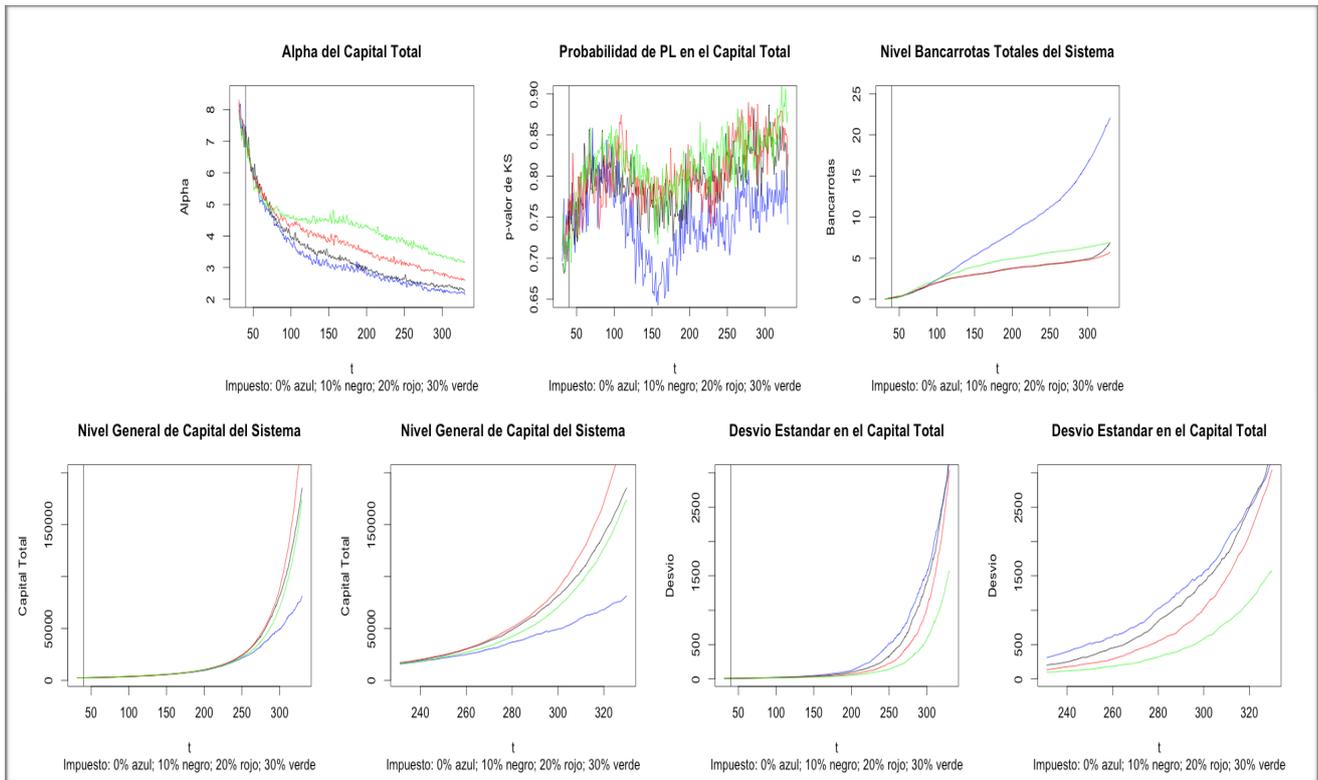


Gráfico 19

En la parte inferior del Gráfico 19 se presenta la evolución del Desvío Estándar del Capital Total y el Nivel de Capital Total. En el primer gráfico, de izquierda a derecha, se muestra la evolución del Nivel de Capital Total mientras el segundo hace foco en los últimos períodos considerados. En ellos se puede apreciar que el crecimiento del nivel de capital es más pronunciado con cualquiera de las políticas fiscales que en ausencia de estas. Pero en el segundo se observa que el mejor desempeño de la economía, en términos de niveles de capital, se consigue con el impuesto del 20%, mientras que el segundo mejor rendimiento es el del impuesto del 10% y en tercer lugar el del 30%. Este comportamiento del indicador brinda respaldo a la primera hipótesis planteada ya que muestra cómo la economía mejora al pasar de no aplicar ninguna política, a comenzar a aplicar una a tasa del 10%. A su vez también mejora al pasar del 10% al 20% en la tasa de impuesto, pero luego al pasar al 30% se coloca en una situación inferior a la del 10%.

Los dos últimos cuadros del Gráfico 19 muestran un comportamiento que respalda lo analizado en cuanto al alpha de la distribución del capital entre las empresas, ya que a mayor nivel de impuestos menor es la dispersión. Por último, el tercer cuadro de la parte superior del Gráfico 19 muestra la evolución del indicador que mide la Cantidad de Bancarrotas. Allí se puede apreciar que

este reafirma lo expuesto anteriormente, ya que el nivel más alto de bancarrotas se da en la situación sin política, pero luego la situación con el impuesto del 30% es la segunda peor. Entre los escenarios con tasas al 10% y el 20% no existe una diferencia clara, pero sobre el final del período la política del 10% genera más bancarrotas que la del 20%, en línea con lo expuesto hasta ahora.

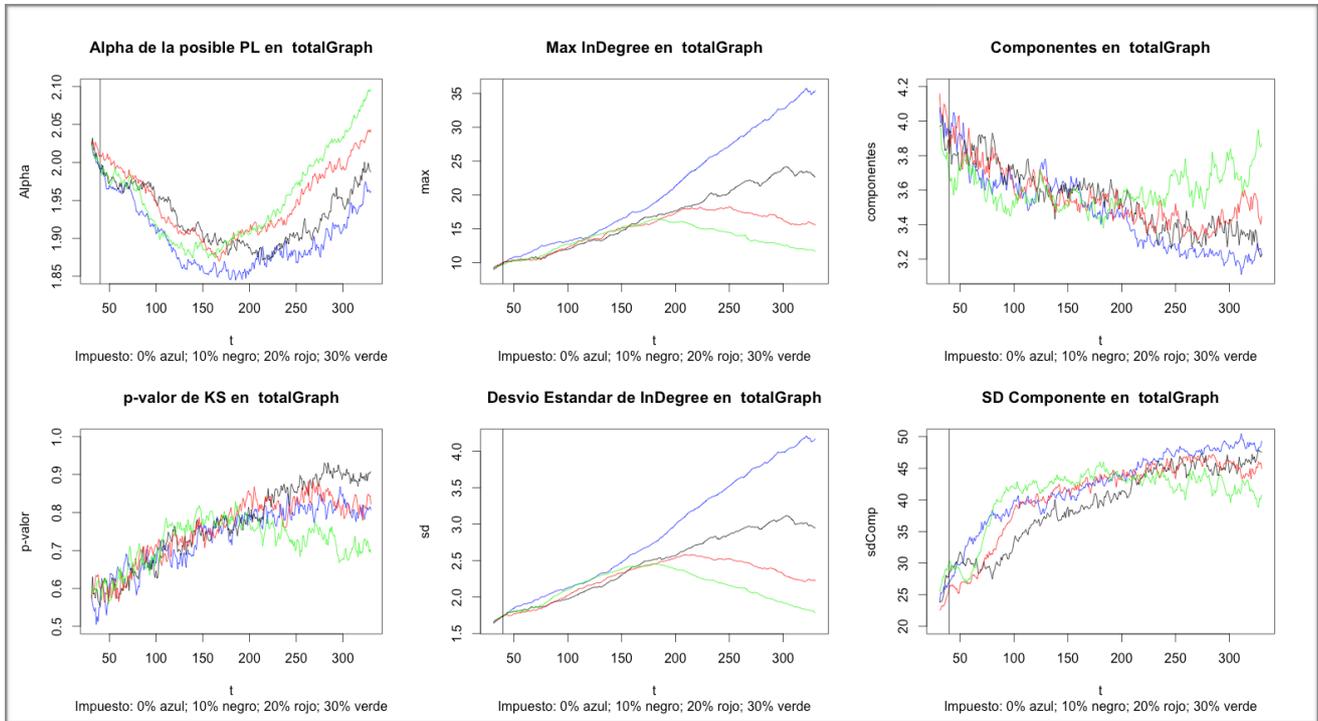


Gráfico 20

En el Gráfico 20 se expone el comportamiento de los indicadores considerados para estudiar la estructura de red. El primero arriba a la izquierda representa la evolución del parámetro alpha estimado para la distribución de los vínculos entrantes. El comportamiento en forma de U que se exhibe, para todas las opciones de política fiscal, implica que en el primer tramo la dispersión de las vínculos tiende a aumentar, dada su correlación negativa con el parámetro alpha, pero luego descende hasta el final del período. Además, este comportamiento se acelera a medida que aumenta el nivel de impuesto. Es posible apreciar que el efecto relativo de los distintos tipos de impuesto no es constante en el tiempo ya que mientras que este parámetro descende, el mayor impuesto (30%) es el que lo mantiene en niveles más bajos de los tres, pero sin embargo cuando el parámetro crece es el mayor impuesto el que genera el crecimiento más fuerte. Por su parte, en el sector inferior izquierdo, se muestra el gráfico de los valores estimados para el p-valor del test KS. En el mismo, de forma análoga a como se ha analizado esta estadístico a lo largo de este trabajo, se aprecia que la probabilidad de que la distribución de los vínculos entrantes siga una Ley de Potencia es creciente

durante todo el período y para todos los niveles de impuestos. Por lo tanto es válido el análisis realizado al parámetro alpha asociado a la misma.

Los cuadros de la parte central del Gráfico 20 ilustran sobre el efecto que la aplicación de la política pública tiene sobre el el desvío estándar de los vínculos entrantes (abajo) y sobre su nivel máximo alcanzado (arriba). La aplicación de cualquier nivel de impuestos reduce los valores de ambos y dicha reducción se acentúa a medida que crece el impuesto. Esto implica que la aplicación de este tipo de política tiende a generar una estructura de red más homogénea, en materia de vínculos, con respecto al caso sin política fiscal. Finalmente, los cuadros del sector derecho en el Gráfico 20 muestran el comportamiento de la red en materia de clusterización de la misma. En la parte superior, el indicador de Cantidad de Componentes “Débil” muestra cómo el número de clústeres desciende a lo largo del tiempo, donde la situación con un impuesto del 20% es la que menos acompaña esta tendencia, mientras que en el cuadro inferior el Desvío Estándar entre Componentes muestra cómo estos se van haciendo más dispares.

Por lo tanto, la aplicación del subsidio a las empresas que siguen una estrategia IS, con respecto a la alternativa sin política pública, tiende a formar una red menos dispersa pero a su vez el nivel del impuesto parece tener un efecto amplificador en cuanto al ritmo en el que el parámetro varía. La red se vuelve más homogénea, en cuanto a la distribución de los vínculos entrantes, así como también presenta una disminución en el número de clúster, acompañada de un crecimiento en la dispersión de la cantidad de nodos que los integran.

A continuación se estudia el efecto de la aplicación del mismo tipo de políticas, pero teniendo como destinatario del subsidio a las empresas que siguen estrategias del tipo IC. Para ello se seguirá la misma estrategia que en el caso anterior. Es por ello que el Gráfico 21 muestra la evolución del peso relativo de cada estrategia. En él es posible observar que la política, nuevamente, tiene un efecto inmediato en la proporción de agentes que eligen la política subsidiada.

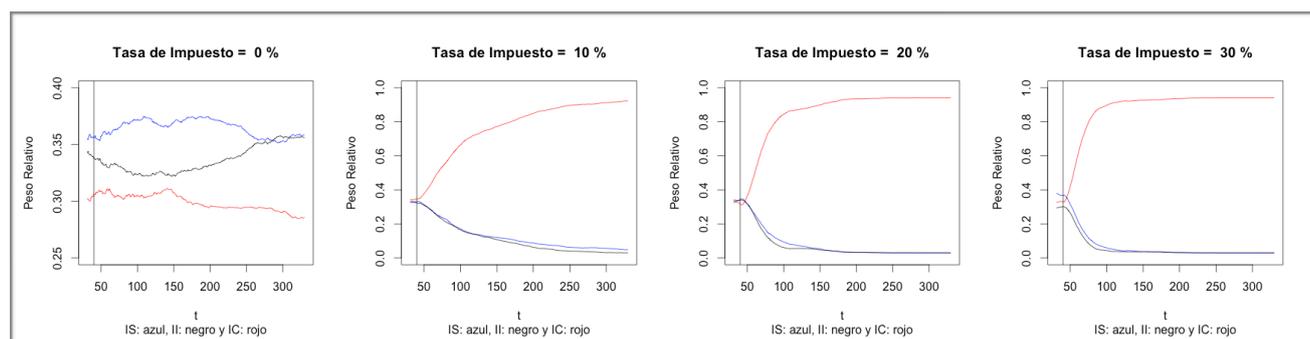


Gráfico 21

Luego, en el Gráfico 22, se presentan los mismos indicadores que se expusieron en el Gráfico 19, pero elaborados para el caso del nuevo grupo de tratamiento. El comportamiento del parámetro estimado para la posible Ley de Potencia es similar al observado para el primer grupo de tratamiento, pero en este caso el efecto de los distintos niveles de impuesto parece ser más marcado en cuanto a la contención de la dispersión que estos generan. Por su parte la evolución del p-valor del test KS respalda la hipótesis de existencia de una Ley de Potencia en la distribución del capital. El tercer gráfico de la parte superior muestra cómo las tres políticas logran disminuir el número de bancarrotas por período, donde también se mantiene el comportamiento observado para el primer grupo, ya que las políticas más efectivas en este sentido son las que fijan el impuesto en 10% y 20%, pero las tres generan más estabilidad que la situación sin política fiscal.

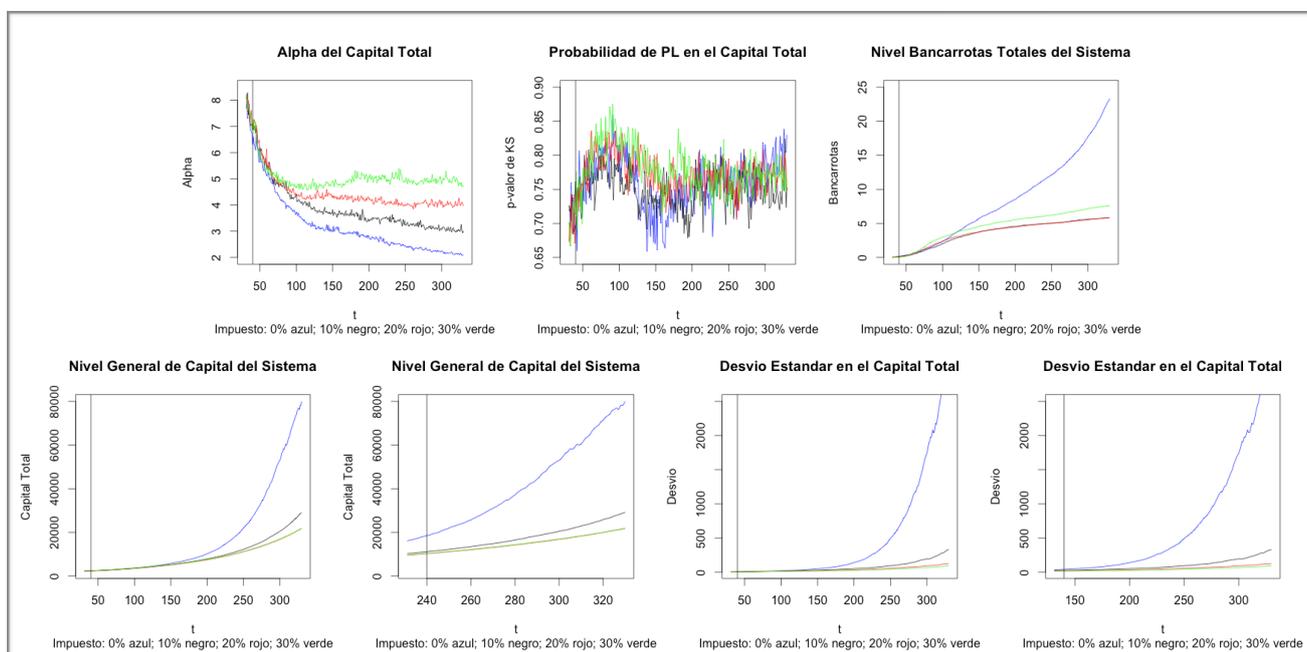


Gráfico 22

La observación más relevante que se puede hacer del Gráfico 22, es que el indicador del Nivel de Capital Total muestra cómo la aplicación de la política pública afecta negativamente a este indicador. Este comportamiento es opuesto al observado a el caso en el que se favoreció a las empresas del tipo IS, donde la política pública generaba mayores niveles de este indicador luego de la mitad del período considerado. Lo mismo ocurre al observar el Desvío Estándar del Capital Total, donde para el primer grupo de tratamiento los resultado eran contrarios a estos y las políticas públicas generaban niveles de heterogeneidad mayores. Una posible explicación para esto es que el incremento del número de agentes que siguen la estrategia del tipo IC genere un aumento en los costos de coordinación, que no se ve compensado por el beneficio que generan los flujos de

información entre las empresas que colaboran. Este efecto podría contenerse si las empresas impusieran condiciones a la entrada de nuevos agentes en sus proyectos colaborativos, posibilidad que no se maneja en este modelo.

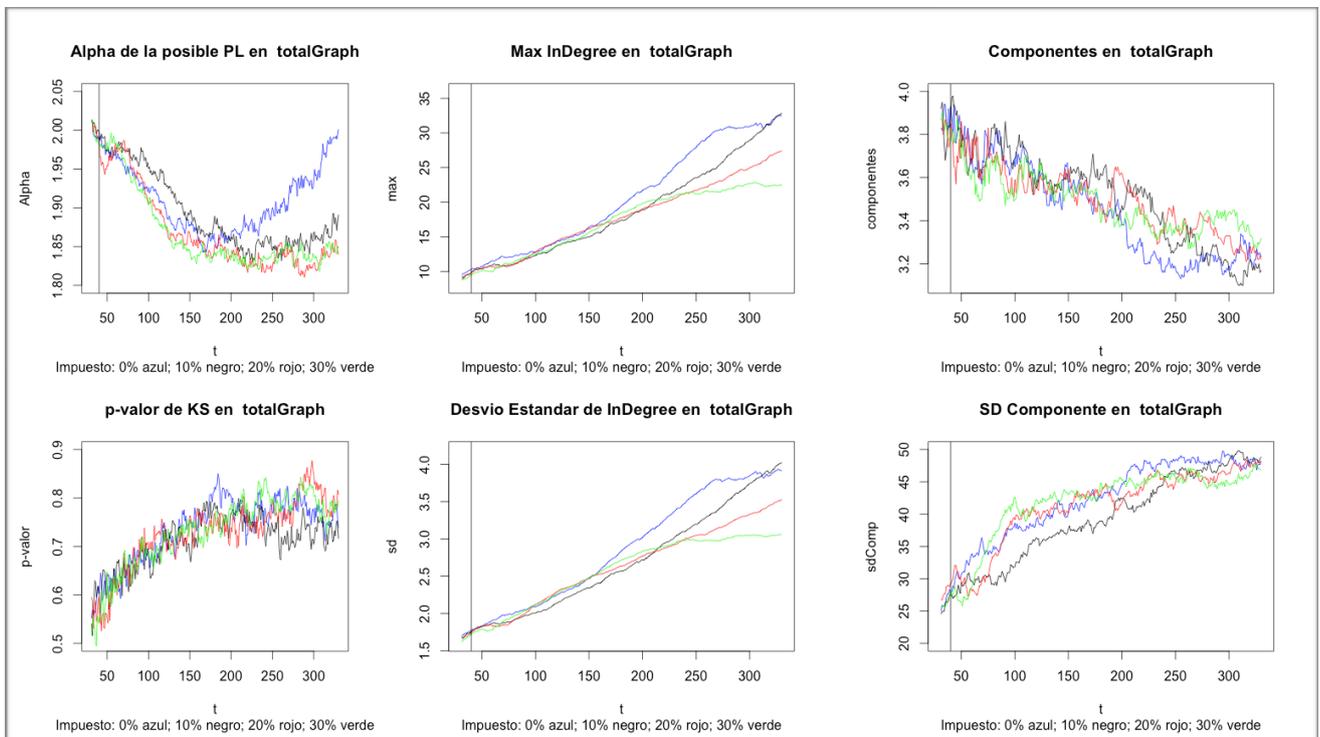


Gráfico 23

Los cuadros de la izquierda del Gráfico 23 muestra el análisis de la distribución de los vínculos en la red. En el ángulo superior izquierdo, se muestran las estimaciones del parámetro alpha de la posible Ley de Potencia, y se aprecia que la situación sin política mantiene la forma de U que se observa para el caso en el que la política favorece a las empresas que siguen estrategias del tipo IS. Sin embargo los escenarios con política fiscal no tienen un comportamiento igual al caso anterior, ya que en lugar de impulsar en mayor medida el descenso de la dispersión de la red, lo que hacen es mantener el alpha en niveles inferiores a los que se obtiene sin política, y por tanto se sostiene un alto nivel de dispersión con respecto a este. Por su parte los cuadros centrales del Gráfico 23 muestran que las políticas públicas no disminuyen la heterogeneidad del mismo modo que en el escenario anterior. Pese a ello el efecto de estas respecto del escenario sin políticas tiene el mismo sentido, aunque no la misma magnitud. Por último los indicadores referidos al nivel de clusterización de la red no arrojan resultados significativamente diferentes de los obtenidos para la primera implementación de la política.

El análisis realizado, para el caso en que el subsidio es otorgado a las empresas que siguen una estrategia de innovación del tipo IS, arroja evidencia en favor de la primera hipótesis planteada, ya que el mismo logra favorecer la prevalencia de la estrategia apoyada a la vez que conduce al sector a niveles de acumulación de capital mayores que los registrados en el escenario sin política. Además el efecto de la política no es positivo para cualquier nivel de impuesto, ya que si bien las tres tasas estudiadas generan mejores resultados que en la situación sin política, en el Nivel de Capital Total, la variación entre la política de que fija un impuesto del 20% y aquella que lo fija en 30% es negativa. De hecho la economía está en mejor situación con la política que aplica un 10% de impuesto que en la que aplica un 30%. Por lo tanto los resultados del modelo respaldan la relación no monótona planteada en la hipótesis, así como la existencia de un umbral a partir del cuál el efecto de la política comienza a revertirse.

Por otro lado, al suponer que el grupo favorecido son las empresas que siguen una estrategia del tipo IC, las conclusiones no son las mismas. En este caso el tipo de estrategia apoyado mejora su peso relativo en el sector, pero esto no se traduce en un mejor desempeño de la economía. Esto se manifiesta en el hecho de que el indicador Nivel de Capital Total, al aplicar cualquiera de las políticas planteadas, alcanza niveles inferiores a los mostrados en el caso sin política. Esto lleva a plantear que el tipo de estrategia favorecida no es neutral a la hora de estudiar el efecto que esta tiene en el agregado de la economía.

Las diferencias encontradas entre las dos poblaciones objetivo de las políticas, a nivel del indicador de crecimiento utilizado, fueron acompañadas de diferencias en la estructura de red emergente a partir de su aplicación. Si bien en este trabajo no se estudia directamente el sentido de la relación causal que pueda haber entre estructura de red y crecimiento, resulta interesante apreciar que la implementación en la que el sector alcanza mejores niveles es aquella en la cual las políticas consiguen estimular la dinámica del parámetro alpha de la Ley de Potencia, con respecto al escenario en ausencia de políticas públicas.

A continuación se analizan los resultados obtenidos del modelo que serán usados para estudiar la segunda hipótesis. En ella el elemento que define las poblaciones que reciben el subsidio es su estructura de capital, la cual se usa para aproximar la política al apoyo al desarrollo de un mercado por sobre el otro. Para identificar a la población objetivo se utiliza el ratio entre los dos tipos de capital, que fue presentado en la ecuación 13  $\left( \theta_t^i = K_t^{i,P} / K_t^i \right)$ , y se define la política de

apoyo al mercado O como aquella que favorece a las empresas que cumplen que su  $\theta_t^i$  se encuentra en el primer cuartil de la distribución, y la política de apoyo al mercado P como aquella que favorece a las empresas que cumplen que su  $\theta_t^i$  pertenece al último cuartil de la distribución. En primer lugar se estudiarán los efectos de la política que apoya al mercado O.

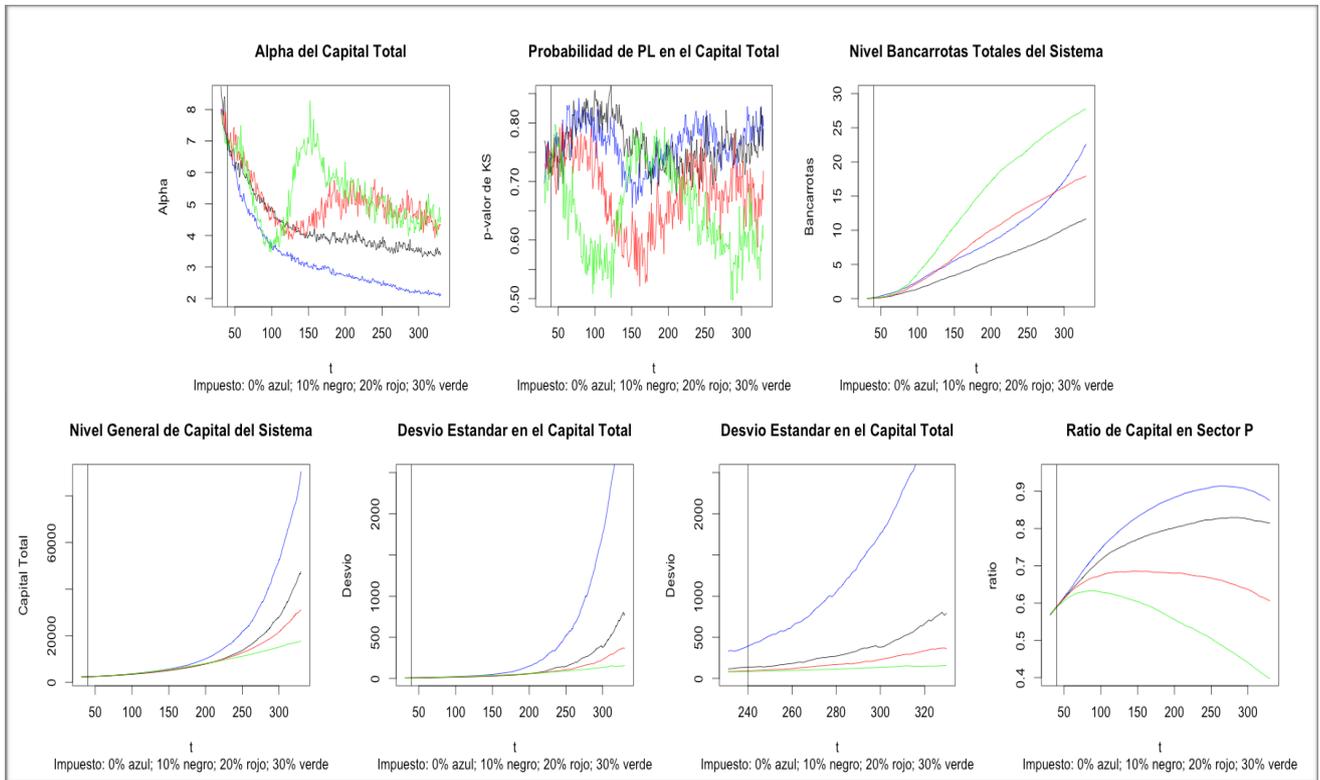


Gráfico 24

El Gráfico 24 presenta, en el último cuadro de izquierda a derecha, de la parte inferior, la evolución del indicador Promedio del Ratio entre Tipos. El mismo permite observar que la política de apoyo al mercado O, efectivamente consigue incrementar la parte del capital total que se destina a dicho sector. La disminución de la proporción de capital destinada al mercado P se incrementa con el nivel de impuestos. Por otro lado, el primer cuadro de la parte superior del gráfico muestra la evolución del parámetro alpha estimado para la posible Ley de Potencia de la distribución del capital, donde se percibe que la tasa del impuesto no solo afecta el nivel de esta variable, sino que genera saltos importantes, para valores de 20% y 30% del impuesto, que no se habían observado en el estudio de la primera hipótesis. Cabe mencionar que el cuadro central de la parte superior respalda la relevancia de los valores estimados de alpha, ya que el p-valor del test de KS no rechaza la hipótesis nula de presencia de una Ley de potencia. Observando el tercer cuadro de la parte superior del Gráfico 24 se puede apreciar que este salto en el valor estimado de alpha, para valores

de la tasa de impuestos del 30%, se corresponde con un crecimiento acelerado del indicador Número de Bancarrotas.

Por otro lado, el primer cuadro de la parte inferior del Gráfico 24 muestra la evolución del indicador que mide el nivel de capital del sistema. En él podemos observar que cualquiera de las políticas públicas conllevan menores niveles de este indicador, con respecto a la situación sin política. Esta observación implica que el estímulo del mercado O lleva al sector en su conjunto a un crecimiento menor del obtenido sin la política pública. Este hecho refuerza la idea planteada en el apartado “Análisis del Proceso de Producción”, donde al estudiar el efecto de variar la tasa de crecimiento del capital disponible por mercados, se aprecia que el mercado P juega un rol preponderante en la estabilidad del sistema, ya que para valores nulos en el crecimiento de su capital disponible el este se mueve rápidamente hacia niveles de casi el 100% de bancarrotas por período.

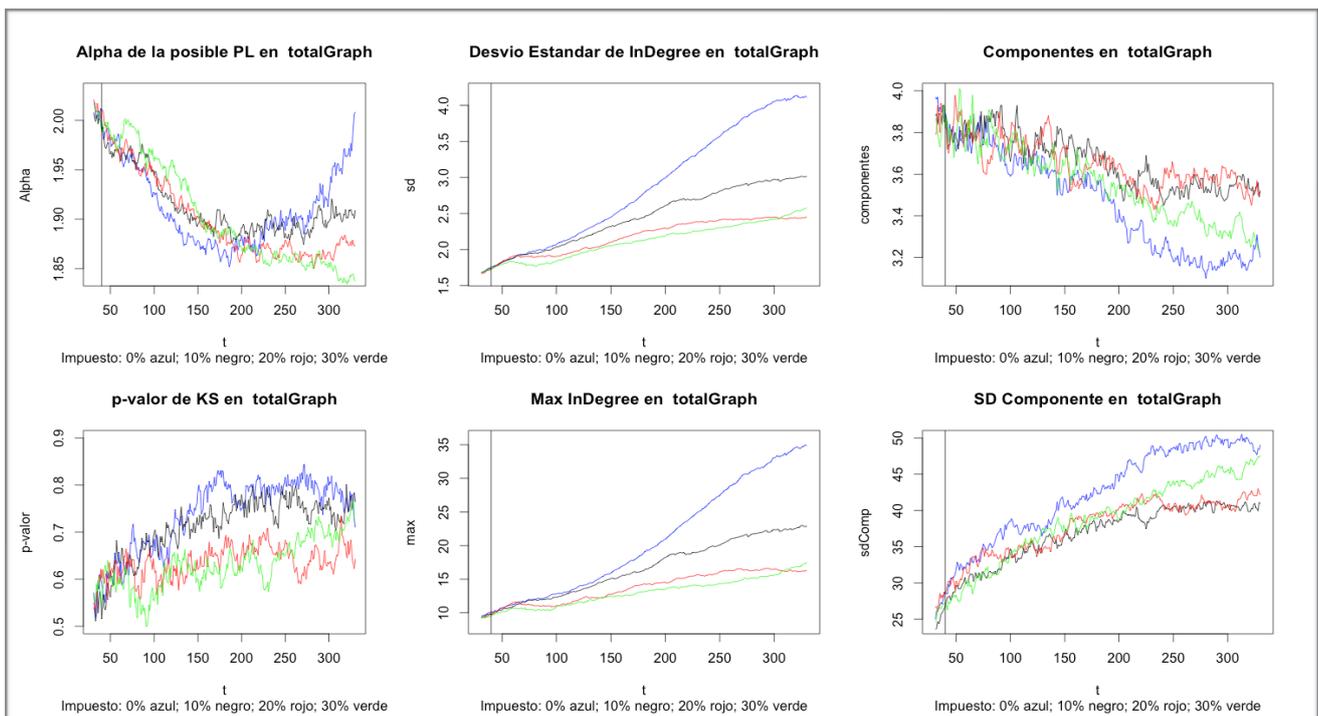


Gráfico 25

El Gráfico 25 presenta la evolución de los indicadores que aportan información acerca de la estructura de la red de innovación. En el mismo los cuadros de la izquierda muestran, el inferior, la evolución del p-valor del test KS donde se concluye que no es posible rechazar la existencia de una Ley de Potencia en la distribución de los vínculos entrantes, mientras el del sector superior exhibe los valores que el parámetro alpha estimado para dicha distribución va tomando. En él, la evolución en forma de U de este parámetro ante ausencia de políticas se muestra similar a lo observado en los

casos anteriores. Por su parte la dinámica del mismo para las políticas de 20% y 30%, en la segunda mitad del período, no acompaña la forma anterior. Esto genera que exista mayor dispersión en la red para estos valores del impuesto. Nuevamente se aprecia la simultaneidad de este efecto con el desajuste en la trayectoria del nivel de capital, entre la situación sin política y las implementaciones al 20% y 30% de impuestos.

A su vez, los cuadros centrales muestran cómo la dispersión de la cantidad de vínculos, así como los valores máximos alcanzados, son inferiores en todos los casos al aplicar cualquiera de las políticas. Además esta diferencia se hace mayor con el incremento de las tasas de impuestos. Del mismo modo, al analizar el número de componente como medida de la clusterización del sistema, se aprecia que la situación con políticas genera un mayor número de componentes y que a la vez estos son más homogéneos. Del análisis de las dos situaciones en las que cualquiera de las políticas aplicadas han generado niveles de actividad menores a la situación sin política pública, surge que en ambas la red observada con políticas tiende a ser más dispersa, clústerizada y homogénea. Como se mencionó, en este trabajo no se analiza la causalidad que pueda existir entre estas observaciones y, por ello, se presentan aquí solo como apreciaciones que se desprenden del modelo.

En particular, respecto de la hipótesis que se analiza, se observa que para la población elegida el efecto de la política pública ofrece respaldo para dicha hipótesis. Esto es así dado que mediante el subsidio se consigue aumentar la participación del mercado O respecto de la del mercado P, pero a su vez se produce un incremento de las bancarrotas y el nivel de actividad observado, a largo plazo, con las políticas es menor al obtenido sin ellas.

Para finalizar el estudio de las hipótesis resta ahora analizar los resultados obtenido de las simulaciones del modelo al aplicar una política pública que favorezca al mercado P. La misma distribuye el monto recaudado de impuestos entre los agentes que se encuentran en el último cuartil de la distribución del ratio que mide la proporción de capital destinado al a dicho mercado. Para ello en el Gráfico 26 se presenta, en el primer y segundo cuadro de la parte superior, los indicadores que estudian la posible Ley de Potencia de la distribución del capital entre las firmas. En ellos se puede ver que en todos los escenarios la hipótesis de existencia de dicha distribución no puede ser rechazada y por tanto la estimación del primer cuadro del parámetro alpha es válida estadísticamente. En él se observa un salto en su evolución, para valores del impuesto de 20% y 30%, pero de menor importancia que el registrado en el caso anterior.

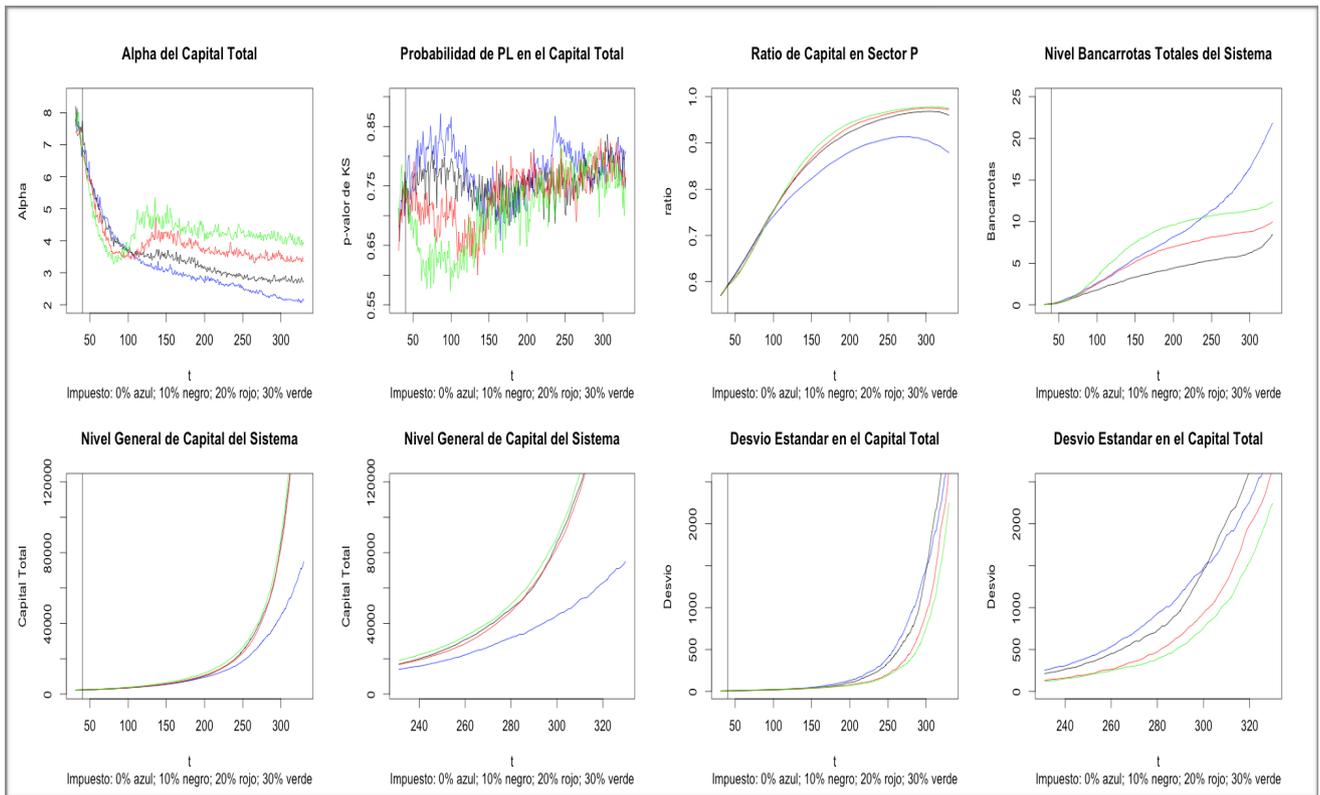


Gráfico 26

Por su parte, en el tercer cuadrante de la parte superior se puede ver que la política consigue incrementar el peso del capital destinado a producir para el mercado P. En este sentido las diferencia en cuanto a efecto entre los tres niveles de impuesto considerados están limitadas por el hecho de que incluso sin la política pública, este mercado tiende a ser mayoritario en la proporción de capital destinado al mismo. En cuanto al Nivel de Bancarrotas, este indicador se presenta en el último cuadro de la parte superior del Gráfico 26 y en él se puede ver que la situación sin política es la que conlleva mayores niveles de bancarrotas por período. Sin embargo, pese a que los niveles de bancarrota tienden a disminuir para todos los niveles de impuesto con respecto al escenario sin política, los menores registros de este indicador se consiguen con el nivel más bajo de impuesto. Esto significa que el nivel de bancarrotas crece con la tasa de impuesto, pero alcanza su mayor registro en el largo plazo en la situación sin impuesto, dentro del espacio de valores considerados en este trabajo.

En la parte inferior del Gráfico 26 se puede apreciar, mediante el indicador Nivel de Capital Total y su correspondiente Desvío Estándar, que en cualquiera de las políticas propuestas el sector en su conjunto obtiene mayores niveles que en la situación sin política, así como también presenta una mayor heterogeneidad en la distribución del capital entre las empresas. Nuevamente las diferencias entre los efectos que generan los distintos niveles de impuesto son reducidas,

posiblemente por el limitado margen en el que actúan dado el propio nivel del ratio en cuestión en la situación sin impuesto.

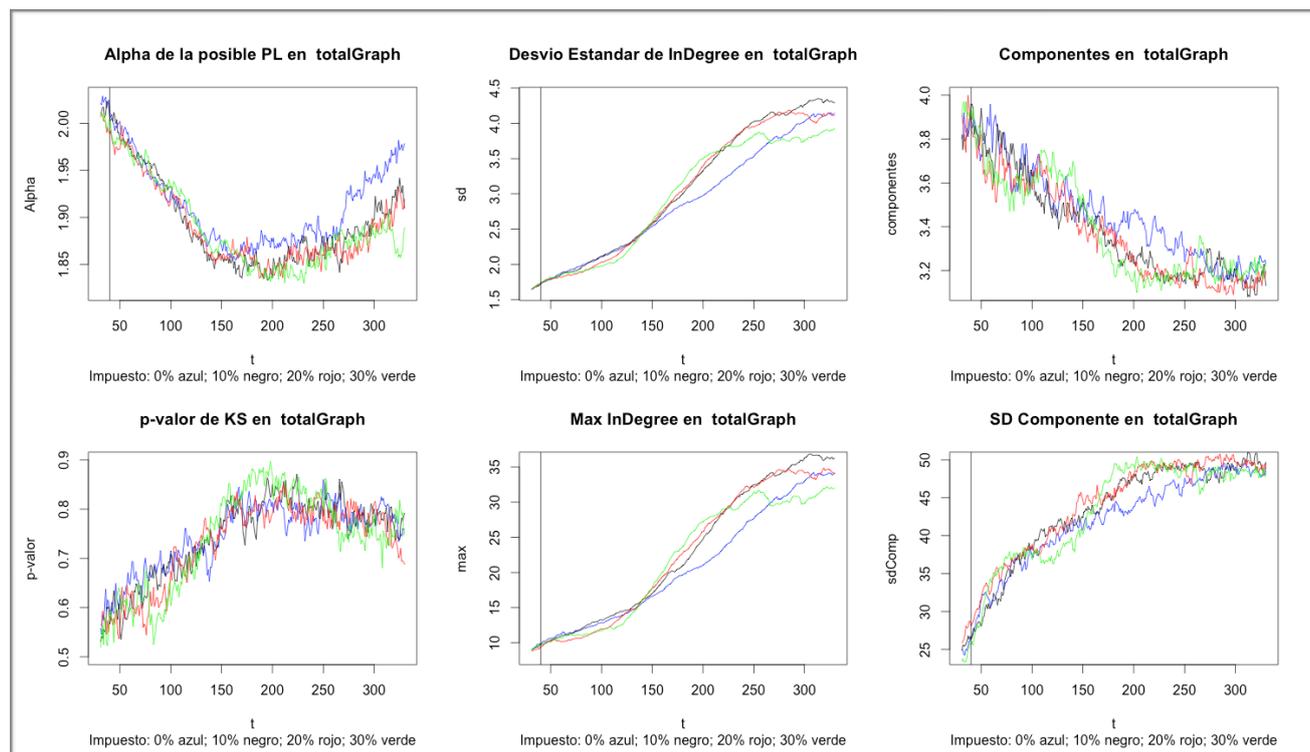


Gráfico 27

Por su parte el Gráfico 27 muestra la evolución de los indicadores analizados para observar la estructura de la red de innovación. En el cuadro inferior izquierdo se observa que, para todo el período considerado, no es posible rechazar las hipótesis de que la distribución de los vínculos siga una Ley de Potencia. Por su parte el parámetro estimado para dicha distribución se presenta en el cuadro superior izquierdo y se muestra que en este caso los valores que toma siguen una evolución en forma de U, tanto para la situación sin políticas, como para cualquiera de los valores considerados del impuesto. Por su parte en el tramo ascendente de la gráfica se observa que el comportamiento de la distribución, con políticas públicas, tiende a exhibir valores inferiores a los registrados sin ellas. Esto permite afirmar que la distribución de los vínculos con políticas es más dispersa que sin ellas.

Por otro lado, los cuadros centrales del Gráfico 27 exponen el comportamiento de la red en materia de dispersión y valores máximos de los vínculos entrantes. En ellos se aprecia que las políticas analizadas tienden a generar redes más heterogéneas, desde el punto de vista de la distribución de sus vínculos. Al igual que lo mencionado en cuanto a los indicadores relacionados con los niveles y la distribución del capital, en este caso el desarrollo de los indicadores es bastante

cercano para todos los niveles de impuesto. En cuanto a los componentes que presenta la red, el cuadro superior derecho del Gráfico 27 muestra una disminución a lo largo del tiempo. En particular para la segunda mitad del período esta variable toma valores menores en los casos en los que se aplica la política fiscal. Esto indica que la red además de ser más dispersa en estos casos, también muestra una menor cantidad de clúster, pero con un mayor desvío estándar entre ellos a juzgar por lo que muestra el cuadro inferior derecho del gráfico. En dicho cuadro se presenta la evolución del indicador Desvío Estándar entre Componentes.

Por lo tanto la política que distribuye, la recaudación del impuesto en forma de subsidio para las empresas que están entre la cuarta parte más enfocada al mercado P, consigue elevar la participación de este en la distribución del capital del sector en su conjunto. Pero contrario a lo supuesto en la hipótesis de trabajo, este efecto logra mantener niveles de crecimiento superiores a los conseguidos en la situación sin política, y crecientes en el tiempo. Por otro lado se observa un efecto de enfocar la política en la población mencionada, que se manifiesta en una mayor dispersión de la red a la vez que se vuelve más heterogénea en la distribución de los vínculos entre los agentes. Pero en cambio, la distribución del capital entre empresas se vuelve menos disperso y más homogéneo en la situación con políticas, respecto del caso en el que estas no se aplican,

Por lo tanto en el caso de la segunda hipótesis, la primera conclusión vuelve a ser que la redistribución puede tener efectos positivos, pero ello dependerá de la correcta elección de la población objetivo del beneficio. Por lo tanto no se puede sostener que una política que favorezca a uno de los mercados pueda generar un efecto negativo a los dos sectores en su conjunto, dado que si el mercado elegido es el que, en este trabajo, se definió como de mayor exigencia técnica para conseguir innovaciones el modelo muestra un mejor desempeño que en la situación sin política.

## Conclusiones

En este capítulo se exponen, en el primer apartado, las conclusiones generales del trabajo realizado a los efectos de sintetizar algunas de las apreciaciones realizadas en el capítulo anterior así como también proponer ciertas implicaciones económicas de los resultados más relevantes del modelo. En la segunda sección se plantea la posibilidad de aplicar el modelo a un sector específico de la economía.

### Conclusiones Generales

La investigación desarrollada en el presente trabajo brinda elementos para comprender los factores que pueden afectar, de forma dinámica, el desarrollo de un sector económico que opera inserto en una red de innovación donde el conocimiento del entorno es limitado. El modelo desarrollado permite analizar la dinámica tanto del proceso de producción, como del ajuste de las estrategias en dicho entorno. Los resultados obtenidos para estos dos enfoques del análisis permiten mostrar la relevancia de las modificaciones introducidas en este modelo, respecto del que fue tomado como base, y a partir de ello conducir el estudio de las hipótesis planteadas. La presente sección sintetiza algunos de los resultados obtenidos en la anterior y los articula con una visión más general del fenómeno y la economía en su conjunto.

En cuanto a los objetivos de esta investigación, el análisis conducido en la sección anterior y las conclusiones que se exponen en la presente, muestran el aporte realizado en cuanto al entendimiento del comportamiento del fenómeno estudiado y los efectos que ciertas políticas públicas pueden tener sobre el mismo. Se recogen resultados sobre los dos mercados considerados, y en base a ello se logran comprender los efectos de uno sobre el otro, así como el efecto combinado de ambos en el sector en su conjunto. Por otro lado, las limitaciones impuestas en materia de capital resultan relevantes para entender la evolución dinámica del sector. Estos aportes del presente modelo permiten abordar el estudio del efecto de las políticas públicas con un mayor grado de profundidad y llegar a resultados útiles para el diseño de las mismas.

Este trabajo se inserta en una línea de investigaciones (Dosi et al, 2010; Vitali et al, 2013 y Tedeschi et al, 2014) que analizan, desde la óptica de la economía evolucionista y los sistemas complejos, distinto tipo de fenómenos económicos mediante el uso de la metodología aquí propuesta. En este sentido, la presente investigación significa un aporte a la misma en cuanto a que

profundiza en el estudio de aspectos relacionados con la innovación, a partir del último de los trabajos señalados, pero a su vez incorpora la posibilidad de considerar otras características del fenómeno estudiado.

En relación con el modelo de Tedeschi et al (2014), el que se propone en esta investigación realiza un aporte al mostrar cómo la elección del grupo de población al que se dirige la política afecta considerablemente la efectividad de la misma en el sector estudiado. Las políticas propuestas aquí fueron diseñadas a los efectos de que, para cada hipótesis, se evaluaran dos grupos de población. Esto permitió incluir un nuevo nivel de discusión, respecto del citado trabajo. Por otro lado las modificaciones a nivel de los componentes generales del modelo, como ser la inclusión de un límite en la posibilidad de incorporar capital y la consideración de dos mercados, mejoró la capacidad del modelo de reproducir hechos estilizados en materia de redes de innovación. Por último, el análisis de la evolución de los parámetros en función del tiempo mejoró la claridad de los efectos y permitió comprender más cabalmente el impacto dinámico de los mismos.

Al profundizar sobre estos aspectos se puede observar que, en primer lugar, la inclusión de un límite en la capacidad de las firmas de incorporar capital, permite reproducir los efectos que este tipo de restricciones muestran en los mercados afectados por ellas. Principalmente esto se refiere a limitaciones en el crecimiento del sector, he incluso a que el mismo desaparezca debido a que esta limitación le impide hacer frente a los nuevos desafíos que el mercado le plantea. Este último resultado lleva a pensar en la necesidad de implementar políticas públicas orientadas a estimular, desde el lado de la oferta, el mercado laboral de sectores con estas características. En este sentido el estímulo a la capacitación, tanto por medio de las instituciones de educación públicas, como por el apoyo a la formación en instituciones privadas de cada país o del exterior, puede ser reforzado con beneficios para que las empresas inviertan en la formación de su personal y establezcan vínculos de colaboración a nivel internacional, que permitan a los recursos humanos nacionales trabajar con empresas del sector en otros países. Este doble enfoque obedece a la necesidad de formar a estos recursos humanos, no solo a nivel de la educación formal, sino también en materia de conocimiento tácito ya que la experiencia como forma de conocimiento no codificable resulta fundamental para el desarrollo, especialmente en sectores económicos que hacen uso de forma intensiva del conocimiento (Antonelli 2005; Kesidou y Snijders, 2012).

Este tipo de políticas públicas y acciones empresariales, pueden afectar no solo el crecimiento del capital disponible para ser incorporado en las empresas, sino que también el grado

de rigidez del sector para movilizar capital entre los dos mercados. Este fue otro de los factores estudiados en la presente investigación, donde los resultados mostraron cómo el mayor grado de movilidad entre los mercados conduce a un mejor desempeño del sector en su conjunto. Este elemento se vincula con el análisis, que se realiza a continuación, del efecto en el sector de la distribución de capital entre mercados. Por último, en este sentido, es necesario considerar que desde el punto de vista distributivo y estructural de la economía se deben tener en cuenta los efectos que un estímulo, de este tipo, puede tener en el resto del mercado laboral y en la distribución de ingresos que genere. Esta es una limitación del modelo propuesto, al no considerar los efectos que las políticas públicas aplicadas al un sector pueden tener en el resto de la economía.

Por su parte la consideración de los dos mercados con requerimientos de capacitación y conocimiento diferentes, resulta relevante en el modelo por su capacidad de mostrar los impactos que las características de cada uno, tiene para el conjunto del sector. En este sentido el modelo es capaz de recoger la interdependencia que puede existir entre ambos mercados, mediante el efecto que tienen los distintos costos variables que cada uno enfrenta. Este efecto mostró que, pese a la mayor relevancia del mercado con mayores requerimientos técnicos, la estabilidad del sector en su conjunto depende de que este no predomine completamente. Esto se debe a que, en ese caso, el impacto de las fluctuaciones del precio generan un crecimiento en el número de empresas que van a la quiebra, lo cual incluso puede llevar a un completo estancamiento del sector.

Las observaciones realizadas en la sección anterior permiten afirmar que las diferencias propuestas entre los mercados deben ser tenidas en cuenta, de forma individual y conjunta, ya que los resultados del modelo muestra cómo un sector con estas características requiere de un cierto grado de complementariedad entre ambos mercados. En concreto, el mercado más exigente desde el punto de vista técnico para el logro de procesos de innovación, denominado P, puede ser considerado como el que impulsa al sector en materia de crecimiento, ya que los escenarios y políticas que lo afectan negativamente muestran una desmejora en los niveles de actividad y productividad del sector en su conjunto. Pero por otro lado, el mercado menos exigente, denominado O, aporta cierta solidez al sistema dado que el menor nivel de productividad que presenta, conlleva niveles más bajos en sus costos variables y por tanto las fluctuaciones en el precio recibido tienden a generar menores niveles de bancarrota en todo el sector. Esta conclusión no solo es importante para el Estado a la hora de implementar políticas que apoyen a uno u otro mercado, sino que también hace que el modelo pueda servir de herramienta para los responsables de las empresas a la hora de definir su estructura de capital.

En relación con lo anterior podemos decir que, en primer lugar para el Estado, el modelo permite tener en consideración que las políticas públicas deben buscar que los incentivos privados, a enfocarse en un mercado, no sean demasiados como para que la disminución del otro conlleve un efecto negativo en el sector en su conjunto. Para ello la posibilidad de explorar distintos escenarios mediante simulaciones del modelo puede convertirse en una herramienta muy importante para los hacedores de política. En segundo lugar, los empresarios pueden usar este tipo de simulaciones para comprender los efectos que una determinada política puede tener en el sector, y de esta forma decidir la estrategia de innovación que puede ser más conveniente y la estructura de capital a la que se deba tender.

Por otro lado, el análisis propuesto, permitió comprobar que las modificaciones realizadas no limitaron la capacidad del modelo de reproducir los principales hechos estilizados que se encuentran en la literatura referida a redes de innovación, como por ejemplo la tendencia a que ciertas distribuciones sea dominadas por una Ley de Potencia, en la distribución de los vínculos de la red o en la del capital entre las empresas. (Cowan y Jonard, 2003 y 2008; Roijakkers y Hagedoorn, 2006; Czarnitzki, Ebersberger y Fier, 2007; Fleming y Koen, 2007; Hanaki, Nakajima y Ogura, 2010; König et al, 2011). Además, el estudio de las hipótesis permitió, reforzar lo expuesto en los párrafos anteriores y poner en consideración las asimetrías en los efectos que puede generar la elección que se realiza de la población a la que se busca apoyar. Efectos estos que por su disimilitud resultan interesantes de investigar con mayor profundidad, para indagar acerca de los vínculos causales que puedan existir entre los que ocurre a nivel de la estructura de red y a nivel del proceso productivo interno de la firma. En concreto, esta situación llevó a que no se pudiera concluir con claridad acerca de las hipótesis planteadas, ya que las mismas no contemplaban este elemento.

Más allá de los resultados coincidentes del presente modelo, con respecto al de Tedeschi et al (2014), a lo largo de estas conclusiones se señalaron algunas diferencias que tienen que ver con las modificaciones realizadas en la presente investigación. Dichas modificaciones hacen posible niveles de análisis que no están considerados en el citado trabajo, como los referidos a la existencia de dos mercados y los límites en la incorporación de nuevo capital. Pero además, el estudio de la evolución temporal de los indicadores considerados marca otra diferencia con el citado trabajo, la cual permite observar que este modelo altera algunos de sus resultados. El más relevante, posiblemente, sea la no monotonía en el comportamiento del parámetro  $\alpha$  de la Ley de Potencia que rige a la distribución de los vínculos entrantes, en todos los casos considerados, en este modelo.

Dicho comportamiento dinámico del parámetro parece indicar que la dispersión en la distribución no solo debe tener un punto donde deje de aumentar, sino que además tiende a disminuir a partir del mismo. Este es el tipo de fenómeno emergente que se pueden encontrar al trabajar con MBA, ya que no puede ser inferido a partir del comportamiento de un agente aislado. A lo largo del capítulo anterior y este se esbozan algunas interpretaciones provisionales a este fenómeno, pero el mismo requiere de un mayor análisis en futuras investigaciones.

Para culminar cabe señalar algunas de las líneas de investigación que quedan abiertas a partir de este trabajo, o a causa de limitaciones del mismo. En primer lugar, y relacionado con lo expresado en el párrafo anterior, resulta interesante profundizar en el sentido de los vínculos encontrados entre los efectos a nivel de red que se observaron ante los cambios en la población objetivo, y los correspondientes efectos en el nivel de desempeño del sector.

Por otro lado, uno de los indicadores que fue más ilustrativo en cuanto a los efectos de las políticas públicas fue la cantidad de bancarrotas por período, pero el mismo está afectado por el supuesto de que el número de firmas se mantiene constante y por tanto las bancarrotas solo representan una re capitalización de la empresa, que además no tiene que pagar ningún costo por esta situación. Este efecto puede ser relevante debido a que en momentos con alto número de quiebras, la entrada de nuevas empresas con un capital determinado por el capital disponible para la firma que sale del mercado, tiene un efecto directo en la disminución de la dispersión en la distribución del capital entre empresas.

Otro elemento que se discutió en el trabajo fue el impacto que puede tener en la prevalencia de la estrategia IC el hecho de que el modelo no prevea un costo a la entrada para nuevas empresas en los proyectos de colaboración. Esta situación puede estar llevando, en este trabajo, a que las empresas que siguen una estrategia IC estén expuestas a una excesiva fragilidad producto de los costos de coordinación que deben enfrentar ante la integración en proyectos con demasiados agentes.

### Un Potencial Ejemplo de Aplicación

En este apartado se proponen argumentos para una aplicación del modelo desarrollado, teniendo en cuenta sus características. En este sentido cabe pensar que el mismo sea usado, por ejemplo, en sectores productivos como el del software. En dicho sector una posible división de la producción puede ser entre el desarrollo de productos nuevos en el mercado, lo cual conlleva altos

grados de exigencia técnica y un mayor nivel de riesgo, o la participación en proyectos externos, caso en el cual la empresa enfrenta menores riesgo y requiere niveles técnicos inferiores a los del primero. Por su parte, la aplicación del modelo a un sector en particular resulta interesante dado que hace posible contrastar el mismo con datos empíricos y de esta manera analizar con mayor profundidad la validez y robustez del mismo.

El abordaje de este sector como una red de innovación cuenta con varios antecedentes, algunos de los cuales ya fueron citados (Fleming y Koen, 2007; Hanaki et al, 2010; Kesidou y Snijders, 2012), pero se pueden mencionar otros con diferentes enfoques donde encontramos estudios comparados entre este y otros sectores intensivos en conocimiento (Graf, 2012), así como también otros en los que el factor geográfico es clave para comprender el desarrollo del sector (Saxenian, 1996; Caniels y Romijn, 2003; Manning, 2013). En todos los casos se muestra cómo las redes de innovación juegan un papel relevante a la hora de comprender la dinámica del sector y los determinantes de su desarrollo. Por su parte, uno de los rasgos característicos de este sector es su uso intensivo de capital humano altamente calificado. Esto plantea un desafío para muchas economías, tanto regionales como nacionales, dado que el incremento de los recursos humanos capacitados no siempre puede acompañar la demanda del sector. Por ello la consideración de que existan limitaciones a la incorporación de capital parece razonable dentro del sector del software, y por tanto la aplicación de este modelo presenta ventajas para comprender la dinámica del mismo y poder formular propuestas de política de apoyo a la innovación.

Por último, una ventaja importante del uso de los MBA es su flexibilidad, lo que permite que ciertas características del modelo puedan ser ajustadas para representar de mejor manera a un sector en particular. Esto hace posible adaptar los parámetros utilizados a las características que el sector del software presente, y también modificar las condiciones iniciales para reflejar un número de empresas acorde a la economía que se estudie, o una cantidad de períodos razonable para los objetivos que se planteen. Incluso es posible pensar en incluir, de manera relativamente sencilla, un mayor número de mercados. Estos ajustes al modelo para una aplicación concreta, si bien implican volver a realizar un estudio del modelo para verificar que conserva sus propiedades, harían posible analizar las variables claves del sistema y el impacto que sus distintos valores puede tener a nivel agregado. Además permitiría estudiar el efecto de distintas políticas de incentivo a la innovación y observar la posible aparición de fenómenos emergentes que limiten o potencien su eficiencia.

## Referencias Bibliográficas

- Ahuja, G. (2000). Collaboration networks, structural holes, and innovation: A longitudinal study. *Administrative Science Quarterly*, 45(3), 425–455.
- Antonelli, C. (2005). Models of knowledge and systems of governance. *Journal of Institutional Economics*, 1(1), 51–73.
- Axtell, R. L. (2001). Zipf distribution of U.S. firm sizes. *Science*, 293(5536), 1818–1820.
- Bernard, A. B., Redding, S. J., & Schott, P. K. (2010). Multiple-product firms and product switching. *American Economic Review*, 100(1), 70–97.
- Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., & Hwang, D. (2006). Complex networks: Structure and dynamics. *Physics Reports*, 424(4–5), 175–308.
- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Pnas*, 99(3), 7280–7287.
- Breschi, S., & Lenzi, C. (2016). Co-invention networks and inventive productivity in US cities. *Journal of Urban Economics*, 92, 66–75.
- Breschi, S., & Lissoni, F. (2009). Mobility of skilled workers and co-invention networks: an anatomy of localized knowledge flows. *Journal of Economic Geography*, lbp008.
- Caniëls, M., & Romijn, H. (2003). Dynamic Clusters in Developing Countries: Collective Efficiency and Beyond. *Oxford Development Studies*, 31(3), 275–292.
- Clauset, A., Shalizi, C. R., & Newman, M. E. J. (2009). Power-law distributions in empirical data. *SIAM Review*, 51(4), 661–703.
- Cowan, R., Jonard, N., & Zimmermann, J. B. (2007). Evolving networks of inventors. *Innovation, Industrial Dynamics and Structural Transformation: Schumpeterian Legacies*, 129–148.
- Cowan, R., & Jonard, N. (2008). If the alliance fits ...: Innovation and network dynamics. *Advances in Strategic Management*, 25(31), 427–455.
- Cowan, R., & Jonard, N. (2003). The dynamics of collective invention. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 52(4), 513–532.
- Cowan, R., & Jonard, N. (2004). Network structure and the diffusion of knowledge. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 28(8), 1557–1575.
- Czarnitzki, D., Ebersberger, B., & Fier, A. (2007). The relationship between R&D collaboration, subsidies and R&D performance: empirical evidence from Finland and Germany. *Journal of Applied Econometrics*, 22(7), 1347–1366.
- Dawid, H. (2006). Agent-based models of innovation and technological change. *Handbook of Computational Economics*, 2(88), 1235–1272.
- Dosi, G., Fagiolo, G., & Roventini, A. (2010). Schumpeter meeting Keynes: A policy-friendly model of endogenous growth and business cycles. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 34(9), 1748–1767.
- Dosi, G., & Nelson, R. R. (2010). Technical change and industrial dynamics as evolutionary processes. *Handbook of the Economics of Innovation*. SER, Laboratory of Economics and Management, Sant’Anna School of Advanced Studies, Pisa, Italy.

- Epstein, J. M. (2006). Chapter 34 Remarks on the Foundations of Agent-Based Generative Social Science. *Handbook of Computational Economics*, 2(5), 1585–1604.
- Fagiolo, G., Moneta, A., & Windrum, P. (2007). A critical guide to empirical validation of agent-based models in economics: Methodologies, procedures, and open problems. *Computational Economics*, 30(3), 195–226.
- Fagiolo, G., & Roventini, A. (2012). On the scientific status of economic policy: a tale of alternative paradigms. *The Knowledge Engineering Review*, 27(2003), 163–185.
- Farmer, J. D., & Foley, D. (2009). The economy needs agent-based modelling. *Nature*, 460(7256), 685–686.
- Fleming, L., King III, C., & Juda, A. I. (2007). Small worlds and regional innovation. *Organization Science*, 18(6), 938–954.
- Fleming, L., & Koen, F. (2007). The Evolution of Inventor Networks in the Silicon Valley and Boston Regions. *Advances in Complex Systems*, 10(1), 53–71.
- Gallegati, M., & Kirman, A. (2012). Reconstructing economics: Agent based models and complexity. *Complexity Economics*.
- Gallegati, M., & Richiardi, M. G. (2011). Agent Based Models in Economics. *Complex Systems in Finance and Econometrics*, 30–53.
- Gatti, D., Guilmi, C. Di, Gaffeo, E., Giulioni, G., Gallegati, M., & Palestrini, A. (2005). A new approach to business fluctuations: heterogeneous interacting agents, scaling laws and financial fragility. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 56(4), 489–512.
- Gatti, D. D., Desiderio, S., Gaffeo, E., Cirillo, P., & Gallegati, M. (2011). Macroeconomics from the bottom-up. *New Economic Windows* (Vol. 11).
- Gatti, D. D., Gaffeo, E., & Gallegati, M. (2010). Complex agent-based macroeconomics: A manifesto for a new paradigm. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 5(2), 111–135.
- Gomes, O. (2014). Complex Networks in Macroeconomics: A New Research Frontier. *Journal of Applied & Computational Mathematics*, 3(3).
- Graf, H. (2012). Inventor networks in emerging key technologies: information technology vs. semiconductors. *Journal of Evolutionary Economics*, 22(3), 459–480.
- Greenwald, B. C., & Stiglitz, J. E. (1993). Financial Market Imperfections and Business Cycles. *Quarterly Journal of Economics*, 108(February), 77–114.
- Greenwald, B. C., & Stiglitz, J. E. (1990). Asymmetric Information and the New Theory of the Firm: Financial Constraints and Risk Behavior. *National Bureau of Economic Research*, (May), 1–15. RPRT.
- Hanaki, N., Nakajima, R., & Ogura, Y. (2010). The dynamics of R & D network in the IT industry. *Research Policy*, 39(3), 386–399.
- Heath, B., Hill, R., & Ciarallo, F. (2009). A Survey of Agent-Based Modeling Practices (January 1998 to July 2008). *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 12(4).
- Helbing, D., & Kirman, A. (2013). Rethinking Economics Using Complexity Theory. *SSRN Electronic Journal*, (September 2012), 1–37.
- Jackson, M. O. (2008). Social and economic networks. *Network* (Vol. 3), Princeton university press Princeton.

- Kesidou, E., & Snijders, C. (2012). External Knowledge and Innovation Performance in Clusters: Empirical Evidence from the Uruguay Software Cluster. *Industry & Innovation*, 19(5), 437–457.
- Kirman, A. (2010). Complex economics: Individual and collective rationality. *Complex Economics: Individual and Collective Rationality* (Vol. 9780203847), Universite d'Aix-Marseille III, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, France: Routledge Taylor & Francis Group.
- König, M. D., Battiston, S., Napoletano, M., & Schweitzer, F. (2011). Recombinant knowledge and the evolution of innovation networks. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 79(3), 145–164.
- Landini, S., Gallegati, M., & Stiglitz, J. E. (2014). Economies with heterogeneous interacting learning agents. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 91–118.
- Lobo, J., & Strumsky, D. (2008). Metropolitan patenting, inventor agglomeration and social networks: A tale of two effects. *Journal of Urban Economics*, 63(3), 871–884.
- Ma, T., & Nakamori, Y. (2005). Agent-based modeling on technological innovation as an evolutionary process. *European Journal of Operational Research*, 166(3), 741–755.
- Macal, C., & North, M. (2005). Tutorial on Agent-based Modeling and Simulation.pdf. *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, 2–15.
- Manning, S. (2013). New Silicon Valleys or a new species? Commoditization of knowledge work and the rise of knowledge services clusters. *Research Policy*, 42(2), 379–390.
- Nelson, R. R., & Winter, S. G. (1982). An evolutionary theory of economic change. *Harvard Business School Press, Cambridge*.
- Nelson, R. R., & Winter, S. G. (1977). In search of useful theory of innovation. *Research Policy*, 6(1), 36–76.
- Nelson, R. R., & Winter, S. G. (1973). Toward an evolutionary theory of economic capabilities. *The American Economic Review*, 440–449.
- Newman, M. E. J. (2005). Power laws, Pareto distributions and Zipf's law. Power Laws, Pareto Distributions and Zipf's Law. *Contemporary Physics*, 46(5), 323–351.
- Page, S. E. (1999). Computational models from A to Z. *Complexity*, 5(1), 35–41.
- Persson, T., & Tabellini, G. E. (1990). *Macroeconomic policy, credibility and politics* (Vol. 38 Macroec), Taylor & Francis.
- Phelps, C., Heidl, R., & Wadhwa, A. (2012). Knowledge, Networks, and Knowledge Networks: A Review and Research Agenda. *Journal of Management* (Vol. 38).
- Pippel, G. (2013). The impact of R&D collaboration networks on the performance of firms: a meta-analysis of the evidence. *International Journal of Networking and Virtual Organisations*, 12(4), 352–373.
- Pyka, A., & Fagiolo, G. (2007). Agent-based modelling: a methodology for neo-Schumpeterian economic's. *Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics*, 467.
- Roijakkers, N., & Hagedoorn, J. (2006). Inter-firm R&D partnering in pharmaceutical biotechnology since 1975: Trends, patterns, and networks. *Research Policy*, 35(3), 431–446.
- Salgado, M., & Gilbert, N. (2013). Agent Based Modelling. *Handbook of Quantitative Methods for Educational*, 247–265.
- Saxenian, A. (1996). *Regional Advantage*. Harvard University Press.

- Squazzoni, F. (2010). The impact of agent-based models in the social sciences after 15 years of incursions. *Political Science Quarterly* (Vol. 56).
- Tedeschi, G., Vitali, S., & Gallegati, M. (2014). The dynamic of innovation networks: a switching model on technological change. *Journal of Evolutionary Economics*, (November 2015), 817–834.
- Vitali, S., Tedeschi, G., & Gallegati, M. (2013). The impact of classes of innovators on technology, financial fragility, and economic growth. *Industrial and Corporate Change*, 22(4), 1069–1091.