

**Nº 3**

**SISTEMAS SECTORIALES DE INNOVACIÓN  
Y CRECIMIENTO ECONÓMICO**

Francisco Fatás Villafranca y Alfredo Peris Beamonte



## **AVANCES DE INVESTIGACIÓN**

### ***Nº 3 #    SISTEMAS SECTORIALES DE INNOVACIÓN Y CRECIMIENTO ECONÓMICO***

Autores:

- Francisco FATÁS VILLAFRANCA, Dpto. Análisis Económico, Fac. de CC. Económicas y Empresariales,  
Universidad de Zaragoza. Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales «Francisco de Vitoria»
- Alfredo PERIS BEAMONTE, Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid

ISBN:                    89552-26-6

Depósito Legal:      M-37423-2003

© Francisco Fatás Villafranca y Alfredo Peris Beamonte, 2003

© Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales «Francisco de Vitoria», 2003



## **Resumen**

El concepto de *sistema sectorial de innovación* nos ayuda a reflexionar acerca de los factores subyacentes al crecimiento de la productividad del trabajo en los distintos sectores de una economía. Inspirados en la teoría evolutiva, proponemos un modelo multisectorial en el que integramos dinámicas sectoriales diversas en relación con el progreso técnico y analizamos la sensibilidad de la tasa de crecimiento de la economía ante modificaciones en las condiciones tecnológicas e institucionales de los distintos sectores. El análisis del crecimiento económico en distintos escenarios tecnológicos e institucionales nos ayuda a comprender mejor las relaciones existentes entre distintas formas de innovar en una economía, la intensidad relativa con que se hacen presentes dichas formas de innovación en la estructura productiva, el cambio estructural y la dinámica de la tasa de crecimiento económico.



## 1.- Introducción

La economía de la innovación nos enseña que los ritmos y patrones de innovación tecnológica<sup>1</sup> difieren significativamente de unos sectores a otros. De entre las explicaciones que se han aportado desde la teoría económica para dar cuenta de estas diferencias, destacan las que las relacionan con las distintas fuentes de progreso tecnológico características del régimen tecnológico activo en cada sector<sup>2</sup>, y aquéllas que sitúan el origen de la diversidad innovativa intersectorial en las distintas fases del "ciclo de vida" de las industrias en las que se encuentran los distintos sectores<sup>3</sup>.

En este trabajo, partimos del concepto de *sistema sectorial de innovación*<sup>4</sup> y reflexionamos acerca de los factores subyacentes a la dinámica de uno de los indicadores del progreso técnico que puede manifestar la mencionada disparidad intersectorial en los procesos de innovación: el crecimiento de la productividad sectorial del factor trabajo. El concepto *sistema sectorial de innovación* nos permite comprender el papel de la co-evolución interactiva de diversos factores tecnológicos e institucionales en el crecimiento de la productividad de los distintos sectores que conforman un sistema económico nacional o, en general, multiregional, e integra algunas de las aportaciones previas más relevantes sobre los sistemas de innovación.

Seguidamente, tomamos en consideración que algunas de las aportaciones más recientes a la teoría evolutiva del crecimiento<sup>5</sup> ponen de manifiesto la importancia de analizar formalmente el crecimiento económico en un marco evolutivo multisectorial, considerando que el crecimiento agregado de la economía estimula con distinta intensidad las tasas de crecimiento sectoriales dependiendo de la elasticidad renta de las distintas

---

<sup>1</sup> Definimos *procesos de innovación tecnológica* en productos y procesos, como aquellos procesos en virtud de los cuales se desarrollan a lo largo del tiempo ciertos procedimientos científicos, tecnológicos, financieros y comerciales interrelacionados, que concluyen (o pretenden concluir) en la comercialización o utilización de productos y procesos productivos nuevos o significativamente desarrollados.

<sup>2</sup> Winter (1984), Dosi et al. (1995).

<sup>3</sup> Utterback & Abernathy (1975), Klepper (1996).

<sup>4</sup> Original de Malerba (2002).

<sup>5</sup> Metcalfe (1999), Verspagen (2000).

actividades productivas. Con el objeto de generalizar el análisis del crecimiento de la productividad en economías multisectoriales, hacemos uso del concepto *sistema sectorial de innovación* y proponemos unas funciones de progreso técnico que pueden ayudarnos a entender mejor el papel de la diversidad sectorial en el cambio económico a largo plazo. A continuación, incorporamos nuestro análisis sectorial al trazado de vínculos intersectoriales propuesto por Metcalfe (1999) en su análisis evolutivo del crecimiento en las economías capitalistas, y llegamos a conformar un marco teórico formal que nos permite caracterizar distintos escenarios tecnológicos/institucionales, atendiendo a la *distribución de elasticidades renta sectoriales*<sup>6</sup> y a la *importancia relativa de los sistemas sectoriales de innovación activos* en la economía en un momento histórico dado. El modelo propuesto nos permite analizar la sensibilidad de la tasa de crecimiento de la productividad y del cambio estructural ante posibles cambios en el escenario tecnológico/institucional y derivar implicaciones de interés para la política económica.

El trabajo se estructura como sigue: en la sección (2) discutimos el concepto de sistema sectorial de innovación y su utilidad para el análisis del crecimiento sectorial de la productividad. En la sección (3) proponemos un modelo evolutivo multisectorial que, integrando las conclusiones a las que llegamos en la sección 2, nos permite reflexionar sobre el significado de las elasticidades renta sectoriales y deducir la tasa de crecimiento del sistema a nivel macroeconómico. En la sección (4) simulamos el modelo en distintos escenarios tecnológicos e institucionales y analizamos la sensibilidad dinámica de la tasa de crecimiento del producto agregado p/cap. ante modificaciones en las condiciones tecnológicas e institucionales subyacentes al crecimiento sectorial de la productividad; seguidamente, valoramos (a la luz de nuestro modelo) el papel de la política tecnológica en los procesos de cambio económico a largo plazo, y por último, sintetizamos las conclusiones.

---

<sup>6</sup> Esta distribución emerge a partir de la estructura de valores sociales y de la red de conexiones productivas intersectoriales.



## 2.- Sistemas sectoriales de innovación

Malerba (2002) propone el concepto de *sistema sectorial de innovación y producción* para sintetizar un conjunto de aportaciones anteriores muy heterogéneas en el análisis sectorial de la innovación. Paralelamente al desarrollo de la economía industrial, vienen realizándose desde los años 80 aportaciones empíricas y teóricas de inspiración evolutiva que tratan de superar el planteamiento excesivamente estático de los modelos de interacción estratégica y cooperación que hacen uso de la teoría de juegos, de la teoría de los costes de transacción y de los modelos neoclásicos tradicionales de competencia imperfecta. La insatisfacción con estos enfoques proviene de que prestan escasa atención a los procesos de aprendizaje empresarial en el marco de redes evolutivas de relaciones entre distintos agentes y organizaciones que toman parte en los procesos de cambio tecnológico.

Desde los años 80, se ha avanzado mucho en la comprensión de estos procesos al nivel de las empresas, de los distintos sectores e incluso en el marco de los sistemas nacionales de innovación. En particular, el desarrollo y formalización del concepto de *régimen tecnológico*<sup>7</sup>, la elaboración de la *taxonomía sectorial* de Pavitt, y el estudio de los *ciclos de vida* de las industrias<sup>8</sup>, constituyen logros importantes en la comprensión del cambio tecnológico sectorial, pero la heterogeneidad de estos planteamientos reclamaba una integración sistemática de esta visión multidimensional y dinámica. Esto es lo que, en nuestra opinión, logra Malerba definiendo un *sistema sectorial de innovación y producción* como:

un conjunto de productos (nuevos o establecidos) que comparten usos específicos y un conjunto de agentes que realizan actividades mercantiles y extra-mercantiles para la creación, producción y venta de esos productos. Un sistema sectorial tiene una base de conocimiento, unas tecnologías específicas, unos inputs y una demanda existente o potencial.<sup>9</sup>

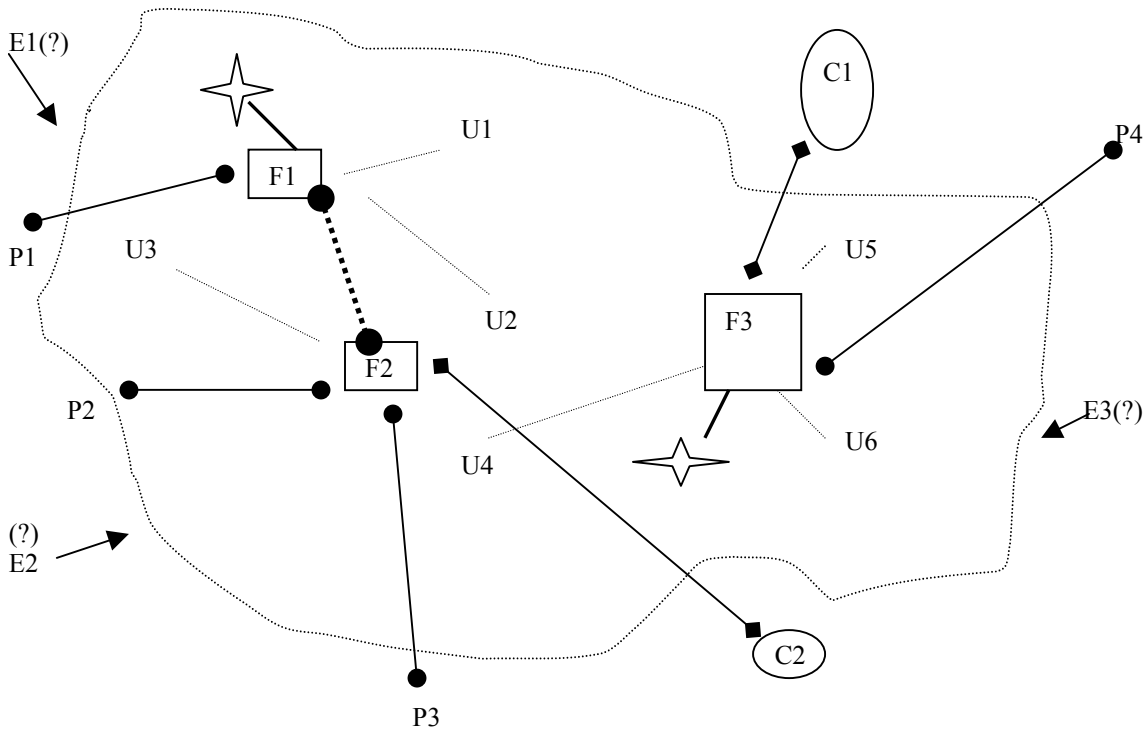
---

<sup>7</sup> Original de Nelson & Winter (1982). Ver también Winter (1984).

<sup>8</sup> Dosi (1988).


<sup>9</sup> Malerba (2002; pag.250)

En esta sección del trabajo vamos a analizar detalladamente la definición de Malerba, profundizando en cuáles pueden ser los componentes de un sistema sectorial y las formas de interacción que pueden darse entre estos componentes;asimismo, propondremos algunas hipótesis acerca de ciertas propiedades dinámicas del sistema que pueden ayudarnos a comprender mejor, a la luz del concepto *sistema sectorial de innovación*, los determinantes del crecimiento de la productividad del factor trabajo en los distintos sectores de una economía, para luego incorporar este análisis sectorial al estudio del crecimiento económico agregado en un sistema multisectorial. Comenzaremos analizando el diagrama 1 que presentamos a continuación:



**Diagrama 1: Representación estática de un sistema sectorial de innovación**

Fi: empresas productoras compitiendo e innovando.  
 Ui: Usuarios (consumidores o productores de otros sectores).  
 Ci: Centros de producción científica y formación.

 : Laboratorios de I+D internos de propiedad privada.

Pi: Proveedores

Ei: empresas entrantes potenciales

Relaciones entre los agentes: aprovisionamiento, demanda, competencia, cooperación, I+D, formación, financiación.

En un instante "t", sobre una base de conocimiento caracterizada por ciertos principios físico/químicos sobre los que se sostiene la actividad y concretada en determinadas condiciones tecnológicas e institucionales<sup>10</sup>, las acciones de agentes con objetivos, características e interconexiones diversos dan lugar a procesos de co-evolución tecnológica e institucional que se reflejan en forma de distintos ritmos de transformación sectorial en todas las dimensiones de los sectores: p.ej., se pueden reflejar en forma de distintos ritmos de crecimiento de la productividad media sectorial.

El diagrama 1 representa de forma estática la presencia, en un sistema sectorial hipotético, de empresas actuando en régimen de competencia, de usuarios y proveedores con gustos y tecnologías diversas conectados con las empresas productoras de una determinada forma, de centros y organizaciones creadores de distintos tipos de conocimiento conectados con las empresas y de entrantes potenciales que analizan la posibilidad de entrar a competir dependiendo de las oportunidades percibidas de beneficio en el sector; lógicamente, las formas que pueden adoptar tanto estos agentes como el mapa de interacciones que se establecen entre ellos son muy diversas, y es precisamente a la forma concreta que estos agentes y sus interacciones adopten en un sistema concreto, a lo que nos estamos refiriendo cuando hablamos de condiciones tecnológicas e institucionales del sector.

Así, el tamaño de las empresas y el eventual aprovechamiento de economías de escala, el tipo de fuentes de progreso tecnológico predominantes en el sector<sup>11</sup>, el grado de agotamiento de las oportunidades tecnológicas, o la existencia de una o de varias trayectorias tecnológicas (de producto o de proceso) en competencia directa dentro del sistema, constituyen ejemplos de condiciones tecnológicas del sector. Por otro lado, los usos y normas de funcionamiento en el sector, el sistema legal en relación (p.ej.) con la protección de los derechos de propiedad sobre las innovaciones, los acuerdos y pactos establecidos entre empresas y con otras organizaciones, o el tipo de requerimientos de demanda (en términos de mínimos de calidad o algunas características concretas de los

---

<sup>10</sup> Usamos el término institución haciendo referencia a un determinado patrón de comportamiento vigente en un momento del tiempo, en un lugar concreto, estable y aceptado con generalidad por un conjunto de agentes en interacción.

<sup>11</sup> P.ej. si predomina la innovación incorporada en nuevas empresas, o el reemplazamiento de capital en empresas ya establecidas, o la realización de actividades estrechamente vinculadas con el progreso

productos) que pudieran existir, son ejemplos de condiciones institucionales en el sector.

A lo largo del tiempo, el sistema sectorial experimenta de la mano de los agentes, procesos de transformación que se concretan en la co-evolución de tecnologías y formas institucionalizadas de acción e interacción, cuyo resultado emergente es el cambio tecnológico: en los productos, en los procesos y en las organizaciones. Nosotros proponemos en este trabajo que es posible establecer ciertas hipótesis acerca de algunos elementos comunes a la evolución de todo sistema sectorial, hipótesis que nos permiten avanzar en la comprensión del crecimiento de la productividad sectorial del factor trabajo, como un paso previo a la incorporación de la dinámica sectorial en la teoría del crecimiento económico.

Teniendo en cuenta lo dicho hasta ahora, vamos a proponer las siguientes **hipótesis** acerca del proceso de co-evolución tecnológica e institucional que subyace al crecimiento de la productividad en un sistema sectorial concreto:

**(H.1)** La tasa de crecimiento de la productividad media del trabajo en el sistema sectorial "j" ( $j=1, \dots, n$ ) en el instante "t" -a la que vamos a denotar mediante  $\hat{q}_j(t)$ - es el resultado de ciertos progresos tecnológicos incorporados a los procesos productivos de las empresas del sector, pudiendo provenir esos progresos tecnológicos de tres fuentes distintas:

- a) Entrada de nuevas empresas al sector, portadoras de procesos productivos innovadores más eficientes que los de las empresas establecidas.
- b) Innovaciones de proceso incorporadas por las empresas consolidadas en el sector a partir de la dedicación de recursos a actividades formales de I+D<sup>12</sup>.

---

científico, etc. Ver Pavitt (1984).

<sup>12</sup> Dedicación sistemática de recursos al aprovechamiento de economías de escala, reemplazamiento sistemático del capital, ingeniería de producción, etc. Para la realización exitosa de estas actividades es necesario que se establezcan relaciones entre las empresas y ciertos departamentos u organizaciones extra-mercantiles, de manera que sea posible la combinación de conocimientos de naturaleza y origen muy diversos pero necesariamente complementarios para el desarrollo de los procesos sistemáticos y sostenidos de innovación tecnológica con origen en actividades internas formalizadas.

c) Mejoras de eficiencia que provengan de otras fuentes internas de innovación<sup>13</sup>.

**(H.2)** La contribución en un instante "t" de estas fuentes de progreso técnico (en términos absolutos y relativos entre si) a la tasa  $\hat{q}_j(t)$  ( $j=1,\dots,n$ ), difiere de unos sectores a otros según las condiciones tecnológicas e institucionales de cada sector y depende de las acciones de los agentes que forman parte de cada sistema sectorial.

**(H.3)** El proceso de transformación dinámica de todo sistema sectorial, ocasiona cambios en la importancia relativa de la contribución de cada una de estas fuentes de progreso tecnológico a  $\hat{q}_j(t)$ . Los procesos en virtud de los cuales puede tener lugar el cambio en la fuente de progreso técnico dominante en el sector son los siguientes:

- i) El cambio tecnológico e institucional en el sector ocasiona un levantamiento progresivo de barreras a la entrada de nuevas empresas; por supuesto, la velocidad a la que se produce este hecho difiere de unos sectores a otros. El establecimiento de sistemas legales de protección de los derechos de propiedad sobre la innovación, el aprovechamiento de economías de escala o la creación de redes exclusivas son mecanismos que refuerzan las condiciones sectoriales de apropiabilidad y van desincentivando la entrada de empresas al tiempo que estimulan el aprovechamiento de las oportunidades internas.
- ii) El aprovechamiento sistemático de las oportunidades tecnológicas puede acabar generando un agotamiento de las posibilidades rentables de innovación. El eventual agotamiento de las posibilidades de progreso sistemático ocasiona una retirada de recursos de las actividades formales de I+D e incentiva el aprovechamiento ocasional de innovaciones no sistemáticas que pudieran aparecer.

---

<sup>13</sup> Actividades no sistematizadas tales como el aprendizaje con la práctica o el reemplazamiento esporádico de instrumentos y equipo. Estas innovaciones no son el resultado de la asignación sostenida de recursos a actividades formales de I+D.

**(H.4)** Proponemos unas funciones de progreso técnico que, captan algunos de los aspectos mencionados en relación con la transformación de los sistemas sectoriales de innovación, y hacen manejable el complejo marco analítico que venimos construyendo. Considerando como hasta ahora la existencia de "n" sistemas sectoriales ( $j=1, \dots, n$ ) en un sistema económico global, proponemos la siguiente dinámica para la tasa de crecimiento de la productividad del trabajo en el sector "j":

$$\hat{q}_j \equiv \frac{\dot{q}_j}{q_j} = \alpha_j e^{-\delta_j t} + (1 - e^{-\delta_j t}) \left[ e^{-\varepsilon_j t} \beta_j + (1 - e^{-\varepsilon_j t}) \gamma_j \right] \quad (1)$$

$$(0 \leq \alpha_j, \beta_j, \gamma_j < 1) \quad \text{y} \quad (\delta_j, \varepsilon_j > 0)$$

Veamos cuál es la interpretación de cada uno de los componentes de esta función, y cuál es su relación con el análisis previo acerca de los procesos de transformación sectoriales subyacentes al crecimiento de la productividad sectorial. La función (1) puede descomponerse de la siguiente forma:

$\alpha_j e^{-\delta_j t}$  : contribución de la entrada de nuevas empresas incorporando procesos más eficientes a  $\hat{q}_j(t)$ . Podemos interpretar  $\alpha_j$  como la tasa de arranque del crecimiento de la productividad sectorial (de hecho se verifica que  $\hat{q}_j(0) = \alpha_j$ ); en los momentos iniciales de la vida del sector, la principal fuente de progreso técnico es el flujo de nuevas empresas que se van creando en la medida en que son capaces de articular opciones novedosas de producción. El valor del parámetro  $\alpha_j$  depende de los vínculos que existan entre las empresas entrantes potenciales y las fuentes externas de conocimiento (conocimiento científico en relación con los procesos y capacidad de los proveedores para incorporar este conocimiento en equipos novedosos y mejorarlos a partir de las sugerencias de las empresas entrantes). La accesibilidad del conocimiento necesario para que las empresas que se plantean entrar al sector puedan realizar la actividad de forma competitiva, y la red de relaciones con los proveedores en el instante inicial van a ser los determinantes del valor de  $\alpha_j$  en cada sistema sectorial.

Esta fuente de progreso técnico va perdiendo importancia en la medida en que se va produciendo el levantamiento de barreras a la entrada de nuevas empresas en el sector; la velocidad a la que se produce este proceso en el sector "j" viene dada por el valor de  $\delta_j$ , y en cuanto a los determinantes de este parámetro, podemos decir que el carácter fuertemente acumulativo y específico de la generación de determinados tipos de conocimiento, la concesión de patentes, el secretismo y la creación de redes o el aprovechamiento de las economías de escala, son aspectos tecnológicos e institucionales que, con el ejercicio de la actividad, pueden conferir ventajas a las empresas establecidas frente a los nuevos entrantes. Cuanto más rápido se manifiesten estos factores en el seno del sistema sectorial "j", mayor será  $\delta_j$  y antes perderán importancia en el crecimiento de la productividad los factores contenidos en  $\alpha_j$ .

$(1 - e^{-\delta_j t})\beta_j e^{-\epsilon_j t}$  : Este término refleja la contribución a  $\hat{q}_j(t)$  de las mejoras en proceso obtenidas a partir de la realización de actividades formales de I+D internas al sector. El parámetro  $\beta_j$  constituye un límite superior para la tasa de crecimiento de la productividad en "j" derivada del aprovechamiento de estas fuentes internas de progreso técnico, y será tanto mayor cuantos más recursos estén dispuestos a dedicar los agentes a la mejora sistemática de los procesos mediante el aprovechamiento de las oportunidades tecnológicas que existan para ello (p.ej. invirtiendo en la dimensión de la empresa aprovechando posibles economías de escala, creando departamentos de ingeniería de producción que agilicen la sustitución y reorganización de los procesos productivos, colaborando con organizaciones creadoras de formas de conocimiento necesarias para la mejora de las condiciones de producción, etc.), y también será tanto mayor cuanto más amplia sea la base de oportunidades tecnológicas sobre la que las empresas del sector realizan sus actividades de innovación. El factor  $(1 - e^{-\delta_j t})$  indica que con el paso del tiempo, el levantamiento de barreras a la entrada (y su consiguiente reforzamiento de las condiciones de apropiabilidad) potencia el aprovechamiento del potencial  $\beta_j$  al estimular la asignación de recursos a actividades formales de innovación<sup>14</sup>. Por otra parte,  $e^{-\epsilon_j t}$  indica que con el paso del tiempo se agotan las oportunidades tecnológicas a una

velocidad determinada por  $\varepsilon_j$

$(1 - e^{-\delta_j t})(1 - e^{-\varepsilon_j t})\gamma_j$ : Este componente capta la contribución a  $\hat{q}_j(t)$  del aprendizaje con la práctica y otras fuentes internas no sistemáticas. Como vemos, la contribución de estas fuentes de progreso tecnológico cambia con el paso del tiempo y se refuerza por dos vías: por un lado, el reforzamiento de las condiciones de apropiabilidad de la innovación estimula el aprovechamiento de todo tipo de fuentes internas de progreso técnico (tanto sistemáticas/formales como no sistemáticas); por otro lado, el agotamiento de las oportunidades tecnológicas va desincentivando la asignación de recursos a actividades formales de I+D, al tiempo que orienta la atención de los agentes hacia el aprovechamiento de formas menos sistemáticas de innovación. Por último, tenemos que  $\gamma_j$  es un parámetro que marca el potencial que existe en un determinado sistema para el crecimiento de la productividad por la vía de estas fuentes internas no sistemáticas.

El tipo de sistema sectorial que consideremos vendrá delimitado por los valores de  $\alpha_j, \beta_j, \gamma_j$  y por las velocidades  $\delta_j, \varepsilon_j$  con que se producen los procesos de reforzamiento de las condiciones de apropiabilidad y agotamiento de las oportunidades tecnológicas previamente descritos. Recordemos que los sistemas sectoriales son dinámicos, y esto se manifiesta en que, con el paso del tiempo, cambian los procesos de innovación tecnológica activos en el sector, las oportunidades tecnológicas y las decisiones y relaciones de los agentes entre sí, siendo la tasa de crecimiento  $\hat{q}_j(t)$  para todo "j" el resultado combinado de las tres fuentes señaladas de progreso tecnológico.

El proceso de transformación sectorial del que emerge (entre otras manifestaciones del progreso técnico) la tasa de crecimiento de la productividad del trabajo, y que representamos estilizadamente mediante la función **(1)**, puede dar lugar a trayectorias cuantitativa y cualitativamente muy diversas de crecimiento de la productividad, según sean las condiciones tecnológicas e institucionales y la dinámica del sector reflejadas en el vector de parámetros  $(\alpha_j, \beta_j, \gamma_j, \delta_j, \varepsilon_j)$ . Las funciones de progreso

---

<sup>14</sup> Ver Dosi (1988).



técnico sectorial propuestas, nos permiten analizar los efectos sobre la trayectoria de la tasa  $\hat{q}_j(t)$  de modificar algunos rasgos de un sector manteniendo el resto de las condiciones constantes, con lo que podemos preguntarnos acerca del crecimiento de la productividad en escenarios sectoriales alternativos. Sobre este análisis volveremos en la sección 4 de este trabajo, pero antes vamos a dedicar la sección 3 a integrar las dinámicas sectoriales que acabamos de analizar en un modelo multisectorial de crecimiento económico.

### 3.- Cambio estructural y crecimiento económico

A lo largo de este trabajo, vamos a caracterizar el crecimiento de la productividad media del factor trabajo en un sistema económico global como una propiedad que emerge de la coordinación de comportamientos innovadores y actividades productivas diversas, siendo precisamente la coordinación de la diversidad uno de los motores fundamentales del cambio. Una vez analizada en la sección 2 la dinámica sectorial del progreso tecnológico y su reflejo en el crecimiento de la productividad sectorial, pasamos a estudiar ciertos procesos de transformación estructural que subyacen al crecimiento económico, o mejor dicho, que, como veremos, son parte del crecimiento económico.

Nuestro análisis del cambio estructural se basa en Metcalfe (1999) quien a su vez recoge una tradición anterior iniciada por Young y elaborada por Kuznets y Pasinetti. En línea con la tradición mencionada, proponemos la siguiente hipótesis:

**(H.5)** Suponemos que el crecimiento de la producción sectorial<sup>15</sup> se ajusta al crecimiento de la demanda de la actividad sectorial  $g_j = g_j^d$  y que el crecimiento de la demanda responde a la siguiente expresión<sup>16</sup>:

$$g_j^d = \phi_j \hat{q} + l \quad (2)$$

---

<sup>15</sup>  $g_j = \frac{\dot{Q}_j}{Q_j}$

<sup>16</sup> Metcalfe (1999).

donde  $\hat{q}$  es la tasa de crecimiento del producto p/cap.  $q = \left(\frac{Q}{L}\right)$  o renta nacional p/cap.  $l$ : es la tasa de variación de la población (que, suponiendo pleno empleo de la población, coincide con la tasa de variación del empleo total).  $\phi_j$ : es un parámetro sectorial que capta la elasticidad renta de la demanda del sector "j".

La expresión **(2)** refleja que, en la medida en que crecen la población y el producto p/cap. de una economía, se generan efectos de distinta intensidad sobre el crecimiento de la demanda de los distintos sectores<sup>17</sup> dependiendo de cuál sea el valor de  $\phi_j$ . Estas elasticidades renta dependerán de la estructura de preferencias de la sociedad (si el bien/servicio "j" es de consumo) o del trazado de relaciones productivas intersectoriales de la economía (si el bien/servicio "j" es un bien de capital, una materia prima o un servicio intermedio). Así,  $\phi_j$  será tanto mayor cuanto mayor sea la disposición a incrementar el consumo de "j" en la medida en que crece la renta p/cap. de la sociedad; o bien, en el caso de los bienes y servicios intermedios, será tanto mayor cuanto más dependa la producción de las distintas actividades sectoriales de la utilización del bien/servicio "j" a medida que crece el producto por trabajador.

A la luz de nuestro modelo y teniendo en cuenta las cinco hipótesis propuestas hasta el momento **(H1-H5)**, podemos examinar las dinámicas del cambio estructural y de la tasa de crecimiento del producto p/cap. que se deducen de nuestro marco. Sea  $s_j = \frac{Q_j}{Q}$  la participación de la producción correspondiente al sistema sectorial "j" en el output total. La participación de los distintos sectores en el producto nacional cambia con el paso del tiempo y lo hace siguiendo la siguiente dinámica:

$$\hat{s}_j = g_j - g = (\phi_j - \bar{\phi})\hat{q} \quad \text{con} \quad \bar{\phi} = \sum s_j \phi_j \quad \text{y} \quad g = \sum s_j g_j \quad \mathbf{(3)}^{18}$$

$\hat{s}_j$  es la tasa de variación de la participación del sector "j" en el output total y, como vemos, se obtiene a partir de la expresión **(2)** propuesta en la hipótesis **(H.5)**. La

<sup>17</sup> Y por tanto de la producción sectorial si suponemos que la producción se ajusta a la demanda.

<sup>18</sup> La expresión (3) verifica la condición  $\sum s_j = 1, \forall t$ .

expresión **(3)** nos informa de que el crecimiento de "q" lleva consigo necesariamente un proceso más o menos intenso de cambio en la importancia relativa de las distintas actividades productivas, siendo la diferencia de las elasticidades renta sectoriales respecto a la media la que marca la dirección en la que opera el proceso de cambio estructural. Aquellas actividades con elasticidades superiores a la media ganan importancia relativa en la medida en que crece "q", mientras que aquellas con elasticidades por debajo de la media la pierden.

Por otra parte, el modelo nos permite avanzar en la comprensión de los determinantes de la dinámica de la tasa  $\hat{q}$ . Así, sabemos que  $q = \frac{Q}{L}$ ,  $s_j = \frac{Q_j}{Q}$  y que la productividad media sectorial correspondiente al sistema sectorial "j" responde a la expresión  $q_j = \frac{Q_j}{L_j}$ . Por tanto, y teniendo en cuenta que consideramos que la economía se encuentra en situación de pleno empleo de la población, tenemos que el producto p/cap. se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$q = \left( \sum_j \frac{s_j}{q_j} \right)^{-1} \quad (4)$$

Como vemos en **(4)**, la dinámica de "q" depende de las dinámicas de  $s_j$  y  $q_j$  ( $j=1, \dots, n$ ) esto es, de los procesos de transformación sectorial descritos en **(H1-H4)** y del proceso de cambio estructural recogido en **(H5)**. Si ahora calculamos  $\hat{q} = \frac{\dot{q}}{q}$  en **(4)** obtenemos:

$$\hat{q} \equiv \frac{\dot{q}}{q} = \left( \sum_j \omega_j \hat{q}_j - \sum_j \omega_j \hat{s}_j \right) \quad \text{siendo} \quad \omega_j = \frac{s_j q}{q_j} \quad (5)$$

Si en **(5)** sustituimos  $\hat{s}_j$  por la expresión que obtuvimos en **(3)** y despejamos  $\hat{q}$  llegamos a la expresión **(6)**, que sintetiza todas las fuerzas subyacentes al crecimiento del producto p/cap. en la economía teórica caracterizada por las hipótesis **(H1-H5)**:

$$\hat{q} = \frac{\sum \omega_j \hat{q}_j}{1 + \sum \omega_j (\phi_j - \bar{\phi})} \quad \mathbf{6)}$$

donde  $\hat{q}_j = \alpha_j e^{-\delta_j t} + (1 - e^{-\delta_j t}) [e^{-\varepsilon_j t} \beta_j + (1 - e^{-\varepsilon_j t}) \gamma_j]$  para  $(j=1, \dots, n)$

En la expresión de la tasa de crecimiento del producto p/cap **(6)**, se pone claramente de manifiesto que el crecimiento agregado es una propiedad que emerge de los procesos sectoriales de innovación descritos en la sección 2, coordinados dinámicamente por la distribución de elasticidades renta sectoriales que marca la dirección del cambio estructural. Las condiciones tecnológicas e institucionales propias de cada sistema sectorial, la especialización de cada economía en determinadas actividades productivas interdependientes y la estructura social de preferencias y comportamientos en relación con las actividades de consumo, determinan la trayectoria macroeconómica de la tasa de crecimiento del producto nacional p/cap de acuerdo con la expresión **(6)**.

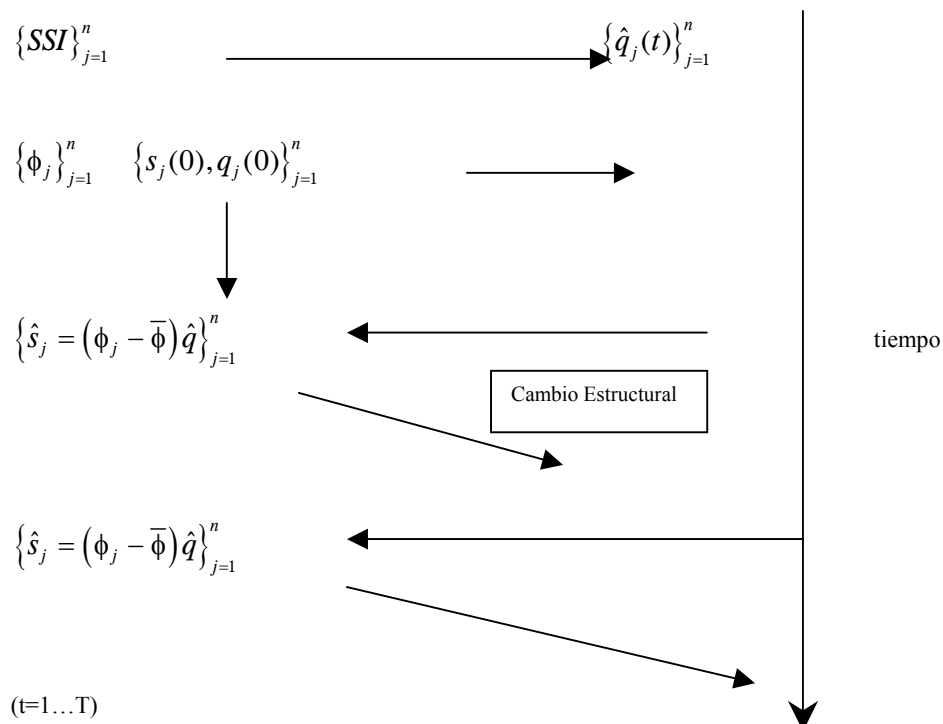
El modelo da cuenta de los distintos ritmos sectoriales de progreso técnico (dependientes según la función **(1)** de los sistemas sectoriales de innovación activos en la economía) y del cambio histórico en la importancia relativa de los distintos sistemas sectoriales (de acuerdo con la ecuación **(3)**). Estas dos dinámicas son las que determinan la tasa de crecimiento del producto nacional p/cap., la cual se corresponde en el modelo con la tasa de crecimiento de la productividad media "q". La dinámica de esta tasa de crecimiento será sensible a los parámetros considerados en las funciones sectoriales de progreso técnico y a las elasticidades renta, que son las que coordinan el cambio estructural. Por ello, vamos a dedicar lo que resta de este trabajo a explorar mediante ejercicios de simulación la existencia de posibles relaciones entre distintos escenarios tecnológicos e institucionales, y las dinámicas de la tasa de crecimiento de "q" y del cambio estructural. Como veremos, algunas de las propiedades tienen implicaciones claras para las políticas relacionadas con la innovación.

#### 4.- Propiedades del crecimiento multisectorial e implicaciones para la política económica

En esta sección vamos a explorar las propiedades del modelo, centrándonos en el análisis de la sensibilidad dinámica de la trayectoria  $\hat{q}(t)$  como propiedad emergente de un proceso multisectorial de progreso técnico (reflejado en las trayectorias sectoriales  $\{\hat{q}_j(t)\}_{j=1}^n$ ), combinado con un proceso de cambio estructural (reflejado en las trayectorias  $\{s_j(t)\}_{j=1}^n$ ). Para explorar las propiedades del modelo haremos uso de técnicas de simulación partiendo de diferentes escenarios tecnológicos/institucionales. Si bien es cierto que las simulaciones que propondremos en esta sección no agotan las posibilidades dinámicas del modelo, sí desvelan algunos comportamientos relevantes de las variables y procesos que nos interesan, que se deducen de las hipótesis propuestas en las secciones precedentes.

El diagrama 2 que presentamos a continuación sintetiza la estructura dinámica del modelo tal y como la vamos a simular:

**Diagrama 2: Estructura dinámica del modelo**



El diagrama 2 refleja que las características de cada sistema sectorial de innovación (SSI) determinan una dinámica sectorial concreta de crecimiento de la productividad según las funciones recogidas en la expresión (1) de la sección 2. Dadas unas condiciones iniciales  $\{s_j(0), q_j(0)\}_{j=1}^n$ , y un escenario paramétrico en términos de elasticidades renta sectoriales, se obtiene el valor de  $\hat{q}$  en el primer período (según la expresión (6) de la sección 3) y éste, a su vez, determina las "n" tasas de variación de las participaciones sectoriales en el primer período, según la expresión (3) de la sección 3. La nueva estructura productiva junto a los nuevos niveles de productividad que se derivan de las dinámicas sectoriales, nos permiten calcular el nuevo valor de  $\hat{q}$ , el cual vuelve a inducir cambio estructural, y así sucesivamente. Dado un escenario inicial concreto, el funcionamiento de este proceso dinámico da lugar a una trayectoria concreta  $\hat{q}(t)$ , a "n" trayectorias  $\{\hat{q}_j(t)\}_{j=1}^n$  y a otras "n" trayectorias  $\{s_j(t)\}_{j=1}^n$  que reflejan el cambio estructural que tiene lugar al tiempo que crece la economía.

Por ejemplo, consideremos un sistema económico global compuesto por 5<sup>19</sup> sistemas sectoriales con idéntico peso inicial en el sistema global e idénticos niveles iniciales de productividad, pero con distintas elasticidades renta sectoriales, y cuyas condiciones tecnológicas e institucionales para la innovación quedan reflejadas en el cuadro de valores de los parámetros que presentamos a continuación :

### Escenario 1

	alfa	beta	gamma	delta	epsilon	phi	sj(0)	qj(0)
<b>Sector1</b>	0.01	0.09	0.02	0.02	0.5	0.45	0.2	1
<b>Sector2</b>	0.021	0.1	0.02	0.1	0.3	0.703	0.2	1
<b>Sector3</b>	0.03	0.06	0.02	0.05	0.02	0.813	0.2	1
<b>Sector4</b>	0.02	0.04	0.02	0.02	0.05	1	0.2	1
<b>Sector5</b>	0.013	0.08	0.01	0.45	0.08	0.58	0.2	1

Dado este escenario de referencia , simulamos el modelo en un horizonte de 30 períodos y obtenemos los resultados para las dinámicas  $\hat{q}(t)$ ,  $\{\hat{q}_j(t)\}_{j=1}^n$  y

<sup>19</sup> La elección del número de sistemas es arbitraria. Creemos que cinco da entrada a una cierta diversidad en el análisis al tiempo que mantiene la claridad necesaria para discernir los procesos que subyacen a las

$\{ s_j(t) \}_{j=1}^n$  que presentamos en los gráficos de la **simulación 1**.

### [SIMULACIÓN 1]<sup>20</sup>

El objetivo de esta simulación 1 es simplemente ilustrativo, pretende mostrar el tipo de resultados que arroja el modelo; a la trayectoria agregada  $\hat{q}(t)$  que representa un proceso inicial de crecimiento acelerado de la productividad seguido de la aparición de una fase prolongada de lenta desaceleración, subyacen trayectorias sectoriales cuantitativa y cualitativamente muy diversas, así como un patrón claro de cambio en la importancia relativa de las distintas actividades productivas. El proceso de cambio estructural que se observa en la simulación 1 es suave, debido a que todos los sectores parten de idénticas participaciones iniciales en el output total y a que la dispersión en los valores de las elasticidades renta no es muy grande. Sin embargo, sabemos por la historia económica que, en determinados momentos, han tenido lugar en nuestras sociedades cambios rápidos en las estructuras productivas que han transformado radicalmente los modos de producción, los resultados de la producción y las formas de vida de estas sociedades; los procesos de industrialización (en detrimento de las actividades del sector primario) o los más recientes procesos de terciarización que se observan en las sociedades capitalistas desarrolladas son claros ejemplos.

#### **I. El cambio estructural y la transformación de las estructuras productivas.**

El modelo es capaz de replicar el tipo de procesos rápidos de transformación estructural que acabamos de mencionar, si el escenario de partida así lo determina. En la simulación 2 presentamos el tipo de cambio estructural que se produce manteniendo constantes (en relación con el escenario 1) las condiciones tecnológicas e institucionales sectoriales, pero estableciendo una distribución de elasticidades renta más dispersa que la anterior y considerando puntos de partida no idénticos en la importancia relativa de las actividades productivas en el producto total:

---

propiedades emergentes.

<sup>20</sup> Las simulaciones se presentan en gráficos aparte en el Apéndice al final del documento.

## Escenario 2

	alfa	beta	gamma	delta	epsilon	phi	sj(0)	qj(0)
sector1	0.01	0.09	0.02	0.02	0.5	2	0.1	1
sector2	0.021	0.1	0.02	0.1	0.3	0.6	0.35	1
sector3	0.03	0.06	0.02	0.05	0.02	0.3	0.3	1
sector4	0.02	0.04	0.02	0.02	0.05	1	0.1	1
sector5	0.013	0.08	0.01	0.45	0.08	2.5	0.15	1

### [SIMULACIÓN 2]

En el tercer gráfico de la simulación podemos observar el lento declinar de los sectores 2 y 3 (aquellos con menor elasticidad renta), acompañado del progresivo crecimiento de la importancia de los sectores 1 y 5 (especialmente del sector 5, aquél con la mayor elasticidad renta sectorial). Si prestamos atención a la expresión (3) que es la que rige el cambio estructural, podemos comprender aspectos inherentes a este proceso que se pierden de vista si sólo atendemos a la evolución de las trayectorias sectoriales de participación en el output total.

La expresión (3) nos dice que:  $\hat{s}_j = (\phi_j - \bar{\phi})\hat{q}$  con  $\bar{\phi} = \sum s_j \phi_j$ , esto es, que la intensidad con que se produce el cambio estructural es directamente proporcional a la tasa de crecimiento de "q"; además, se puede ver que en un escenario de crecimiento sostenido del producto p/cap., la dirección del cambio estructural viene marcada por el signo de  $(\phi_j - \bar{\phi})$  para cada sector. Aquellos sectores con elasticidades renta de la demanda superiores a la media ganan peso en la estructura productiva y aquellos con elasticidades por debajo de la media lo pierden.

Como sabemos, el valor de la elasticidad renta de un sector depende bien de la estructura de preferencias y hábitos de consumo característicos de una determinada sociedad, o bien de la importancia del sector en cuestión como proveedor de inputs necesarios para la producción del resto de actividades sectoriales, con lo que el valor de  $\phi_j$  no es algo fluctuante sino que parece razonable suponerlo constante a lo largo de



intervalos amplios de tiempo; esto es lo que suponemos en el modelo y, en consecuencia, debemos recalcar que el marco teórico que proponemos no puede explicar procesos de cambio económico caracterizados por la aparición de actividades sectoriales completamente nuevas y cambio endógeno de los valores de las elasticidades renta sectoriales. No es que creamos que estos procesos carecen de interés, al contrario, los consideramos extraordinariamente relevantes, pero por simplicidad comenzaremos analizando las propiedades del tipo de procesos de cambio asequibles a nuestro modelo y dejamos el análisis de procesos más complejos para el futuro.

Volviendo a nuestro marco teórico, tenemos que mientras las elasticidades  $\phi_j$  ( $j=1, \dots, n$ ) son parámetros y por tanto su valor es constante en un escenario paramétrico concreto, la elasticidad media  $\bar{\phi} = \sum s_j \phi_j$  cambia con el propio proceso de cambio estructural. Concretamente, podemos derivar respecto al tiempo y obtenemos la siguiente expresión:  $\frac{d\bar{\phi}}{dt} = \sum s_j \dot{\phi}_j = \sum s_j \hat{s}_j \phi_j = \sum s_j \phi_j (\phi_j - \bar{\phi}) \hat{q}$  con lo que llegamos a que

$$\frac{d\bar{\phi}}{dt} = V_s(\phi) \hat{q} \quad (7)$$

La expresión (7) revela que en un escenario de crecimiento de "q" (esto es,  $\hat{q} > 0$ ) la elasticidad media crece continuamente, y lo hace tanto más rápido cuanto mayor sea la tasa de crecimiento del producto p/cap. y cuanto mayor sea la diversidad de las elasticidades sectoriales (recogida en el valor de la varianza ponderada  $V_s(\phi)$ ).

El crecimiento de  $\bar{\phi} = \sum s_j \phi_j$ , puede ocasionar que determinados sectores que inicialmente tienen elasticidades renta por encima de la media  $(\phi_j - \bar{\phi}) > 0$ , pasen a situarse por debajo de ella  $(\phi_j - \bar{\phi}) < 0$  como resultado del propio proceso de cambio estructural, en cuyo caso observaremos un cambio de tendencia en la evolución de la participación sectorial en la actividad productiva global: podemos encontrarnos con sectores que, de ser sectores inicialmente emergentes o progresivos en la evolución de la estructura productiva, pueden pasar a ser sectores en declive como resultado del crecimiento endógeno de  $\bar{\phi}$ .

En definitiva, el modelo revela que el cambio estructural es un proceso fuertemente dependiente del crecimiento económico en cuanto a su intensidad, pero también en cuanto a su dirección, ya que por la vía reflejada en la expresión (7), podemos encontrarnos con economías en las que los procesos intensos de crecimiento económico pueden desembocar en la formación de estructuras productivas extremadamente especializadas.

## II. La importancia del cambio estructural en la dinámica de $\hat{q}$ (t).

Debemos notar que no sólo el proceso de cambio estructural está condicionado por la trayectoria de  $\hat{q}$  (como ponen de manifiesto las expresiones (3) y (7)), sino que también existen relaciones en la dirección contraria; la trayectoria de la tasa de crecimiento del producto p/cap. es fuertemente dependiente del proceso en virtud del cual ciertos sectores crecen en importancia relativa mientras que otros declinan como resultado del cambio estructural. Este hecho es esencial, puesto que las dinámicas sectoriales de progreso técnico que tienen lugar paralelamente en los distintos sistemas sectoriales, y que son el motor último del crecimiento, emergen macroeconómicamente en  $\hat{q}$  con mayor o menor intensidad dependiendo del peso que tenga cada sector en la estructura productiva.

Este resultado lo vamos a ilustrar a continuación mediante la **simulación 3** realizada a partir del **escenario 3**.

### Escenario 3

	alfa	beta	gamma	delta	epsilon	phi	sj(0)	qj(0)
sector1	0.01	0.5	0.05	0.1	0.5	5	0.05	1
sector2	0.03	0.1	0.005	0.1	0.3	0.6	0.4	1
sector3	0.03	0.2	0.005	0.05	0.1	1.5	0.15	1
sector4	0.0001	0.1	0.005	0.1	0.1	1.5	0.1	1
sector5	0.013	0.08	0.0005	0.3	0.1	0.3	0.3	1

### [SIMULACIÓN 3]

En este escenario, debemos prestar especial atención a las peculiaridades del sector 1 puesto que es el que, dadas sus condiciones tecnológicas e institucionales, revela un comportamiento claramente diferente del resto de los sectores. Los parámetros que juegan un papel clave en la trayectoria diferencial del sector 1 son  $\varepsilon_1$  y  $\gamma_1$ . Mientras que el resto de los sectores atraviesan una fase prolongada de crecimiento acelerado de la productividad en la medida en que van aprovechando las oportunidades tecnológicas percibidas mediante la realización de actividades formales internas de I+D (hasta que llega el inevitable agotamiento progresivo de estas oportunidades y la consiguiente desaceleración del crecimiento de la productividad), el sector 1 describe una trayectoria bastante distinta (como se ve en el segundo gráfico de la **simulación 3**).

Inicialmente, se aprovechan las oportunidades internas como en el resto de los sectores: el paso del tiempo con el consiguiente reforzamiento de las condiciones de apropiabilidad permite explotar el potencial de progreso técnico de origen interno tal y como refleja el componente  $(1 - e^{-\delta_1 t})\beta_1 e^{-\varepsilon_1 t}$  de la función sectorial de progreso técnico, pero en el caso del sector 1, el elevado valor de  $\varepsilon_1$  nos indica que, por ciertas razones<sup>21</sup>, el aprovechamiento de las oportunidades tecnológicas por la vía de la inversión formal y sostenida en I+D es breve; esa fuente de progreso técnico pierde relevancia rápidamente y los agentes del sector comienzan a concentrar sus esfuerzos en el aprovechamiento de otras fuentes internas no sistemáticas de progreso técnico (p.ej. reemplazamiento no sistemático, pero posiblemente frecuente, de material, instrumentos y equipo, en la medida en que los proveedores u otras fuentes hagan posible estas acciones), cuya contribución al crecimiento de la productividad sectorial aparece en el término  $(1 - e^{-\delta_1 t})(1 - e^{-\varepsilon_1 t})\gamma_1$  de la función del sistema sectorial 1. En este caso, el elevado valor de  $\gamma_1$  nos indica que existe un elevado potencial de innovación por esa vía, hasta el punto de que la rápida transición de un tipo de innovación predominante a otro en el sector 1, evita la desaceleración del crecimiento que aqueja al resto de los sectores.

---

<sup>21</sup> Que pueden ser razones políticas, estratégicas o meramente tecnológicas.

La pregunta ahora es: *¿cómo afecta esto al crecimiento macroeconómico del producto p/cap?* y la respuesta es que depende de la dirección que siga el proceso de cambio estructural. El tercer gráfico de la **simulación 3** (que se corresponde con la distribución de elasticidades renta del **escenario 3**) revela la importancia que tiene para el crecimiento agregado que el sector 1 (aquel que rompe con la desaceleración del crecimiento) tenga la mayor elasticidad renta sectorial. Esto hace que el potente crecimiento que experimenta este sector en particular, por sus propias condiciones tecnológicas e institucionales, quiebre la desaceleración macroeconómica al coincidir con una fase del proceso de cambio estructural en la que el sector 1 gana importancia en la economía a un ritmo acelerado. Podemos decir que la economía tiene unas condiciones productivas y unos patrones de gasto tales que le permiten reorganizarse acertadamente en la dirección del sector que experimenta el mayor ritmo de progreso técnico. El problema con el que se puede encontrar esta economía en el futuro es que, al haberse especializado de forma tan radical en el sector 1, es extremadamente dependiente de la co-evolución tecnológica e institucional de un solo sistema sectorial, y por tanto es muy vulnerable ante la aparición de dificultades en el sistema sectorial de innovación 1.

En el **escenario 3'** que proponemos a continuación, mantenemos las condiciones sectoriales del **escenario 3** pero modificamos la elasticidad renta del sector 1; dado que las condiciones tecnológicas/institucionales de los 5 sistemas siguen siendo las mismas que en el escenario 3, el gráfico segundo de la **simulación 3'** revela idénticas trayectorias sectoriales de crecimiento de la productividad. Sin embargo, al considerar un valor de  $\phi_1 = 1.5$  claramente inferior al valor considerado en el **escenario 3**, tenemos un proceso de cambio estructural mucho más lento. Si bien es cierto que el sector 1 también va ganando importancia en la **simulación 3'**, no llega a alcanzar la preeminencia que veíamos en la **simulación 3**, de modo que su trayectoria sectorial de progreso técnico no consigue romper la trayectoria macroeconómica de desaceleración del crecimiento de "q".

### Escenario 3'

	alfa	beta	gamma	delta	epsilon	phi	sj(0)	qj(0)
sector1	0.01	0.5	0.05	0.1	0.5	1.5	0.05	1
sector2	0.03	0.1	0.005	0.1	0.3	0.6	0.4	1
sector3	0.03	0.2	0.005	0.05	0.1	1.5	0.15	1
sector4	0.0001	0.1	0.005	0.1	0.1	1.5	0.1	1
sector5	0.013	0.08	0.0005	0.3	0.1	0.3	0.3	1

### [SIMULACIÓN 3']

¿Es el escenario 3' más o menos favorable que el escenario 3? Evidentemente los resultados en términos de crecimiento macroeconómico del producto p/cap. que ofrece el escenario 3 son muy superiores (en presencia de idénticos resultados sectoriales), pero estos resultados se consiguen a cambio de la total especialización del sistema productivo; el escenario 3' ofrece resultados más pobres en términos de crecimiento pero conserva la diversidad del sistema productivo, pudiendo ser esta diversidad un caldo de cultivo para futuras innovaciones que, de producirse, tendrían un reflejo inmediato en la tasa  $\hat{q}$  fuera cual fuese el sistema sectorial del que provinieran. En todo caso, como mensaje central a partir del análisis de los escenarios 3 y 3', debe quedar la idea de que el crecimiento y el cambio estructural son dos sub-procesos interrelacionados que forman parte de un mismo proceso de cambio económico a medio y largo plazo, y a la hora de formular políticas estructurales éste es un hecho que debemos tener muy en cuenta.

### III. Condiciones de apropiabilidad de los beneficios y crecimiento económico.

Venimos destacando a lo largo de todo el trabajo la importancia de considerar las condiciones tecnológicas e institucionales que se dan en un determinado sector cuando queremos analizar los procesos de innovación tecnológica activos subyacentes a la dinámica sectorial de crecimiento de la productividad del trabajo. Un conjunto de condiciones sectoriales cuya consideración es esencial para entender el ritmo y dirección de la innovación sectorial son las llamadas condiciones para la apropiabilidad de los

beneficios derivados de la innovación.

Con el objetivo de evitar el aprovechamiento por parte de los competidores de los beneficios que se deriven del establecimiento de los nuevos procesos o del logro de nuevos productos las empresas pueden realizar ciertas acciones, como el establecimiento de redes exclusivas de cooperación estable entre empresas o con otras organizaciones o individuos, mantener en secreto los resultados de los procesos de innovación que llevan a cabo, o promover el establecimiento de condiciones legales que protejan los derechos de propiedad sobre la innovación, etc. Estas acciones, junto con el progresivo crecimiento de las empresas que se van consolidando en el sector (por el aprovechamiento de economías de escala p.ej.) constituyen la base del levantamiento de barreras tecnológicas o institucionales a la entrada de nuevas empresas que, aprovechando el conocimiento que se genera en el sector o en organizaciones paralelas a él, pudieran percibir oportunidades de beneficio.

Como sabemos por la sección 2, en nuestro modelo captamos mediante el parámetro sectorial  $\delta_j$  la velocidad a la que se produce en el sistema sectorial "j" este proceso de levantamiento de barreras a la entrada que refuerza las condiciones de apropiabilidad de los beneficios derivados de la innovación. La pregunta que nos hacemos ahora es: *¿cómo afecta a la trayectoria macroeconómica de crecimiento del producto p/cap. en nuestro modelo el reforzamiento de las condiciones de apropiabilidad de los beneficios en un sistema sectorial concreto?* El reforzamiento de estas condiciones ha sido una medida de estímulo para la innovación habitualmente utilizada por los encargados de la política económica y por ello, podemos preguntarnos a la luz de nuestro modelo si existe alguna pauta que, en su caso, pudiera orientar la intervención hacia unos sectores u otros.

Para responder a la cuestión que nos estamos planteando, vamos a partir del **escenario 4** que delineamos a continuación. Simulamos inicialmente el modelo bajo el supuesto de que todos los sectores tienen idénticas condiciones tecnológicas e institucionales y sólo difieren en sus elasticidades renta (de modo que podemos generar cambio estructural asociado al proceso de crecimiento); dado el escenario paramétrico

que proponemos, la **simulación 4** revela una fase de aceleración del crecimiento sectorial seguida de una fase de desaceleración más prolongada, que se desencadena en la medida en que se van agotando las oportunidades tecnológicas para la innovación sistemática de origen interno y se va cerrando el sector en virtud del levantamiento de barreras a la entrada (tal y como se deduce de la expresión **(1)** de la sección 2 dados los valores de los parámetros propuestos en el escenario 4). El gráfico tercero de la simulación revela un patrón claro de cambio estructural, mientras el gráfico segundo muestra que, al partir de condiciones sectoriales idénticas, las trayectorias sectoriales de  $\hat{q}_j(t)$ , ( $j=1,\dots,n$ ) coinciden exactamente de modo que gráficamente se superponen unas a otras.

#### **Escenario 4**

	alfa	beta	gamma	delta	epsilon	phi	sj(0)	qj(0)
<b>sector1</b>	0.013	0.08	0.01	0.1	0.08	2	0.2	1
<b>sector2</b>	0.013	0.08	0.01	0.1	0.08	0.6	0.2	1
<b>sector3</b>	0.013	0.08	0.01	0.1	0.08	0.3	0.2	1
<b>sector4</b>	0.013	0.08	0.01	0.1	0.08	2.5	0.2	1
<b>sector5</b>	0.013	0.08	0.01	0.1	0.08	1	0.2	1

#### [SIMULACIÓN 4]

A continuación vamos a incrementar el valor del parámetro  $\delta$  en un solo sector, con el objeto de comprobar cuál es el efecto de la aceleración del proceso de reforzamiento de las condiciones de apropiabilidad sobre la trayectoria del sector y sobre la trayectoria macroeconómica; en el **escenario 4'** hacemos  $\delta=0.75$  (en vez de  $\delta=0.1$ ) para el sector con la mínima elasticidad renta sectorial (sector 3) y en el **escenario 4''** incrementamos igualmente el valor de  $\delta$  pero en este caso en el sector con máxima elasticidad renta de la demanda sectorial (sector 4); de este modo, analizaremos la sensibilidad de los resultados al aumento de  $\delta$  y además veremos que los efectos de esta modificación son fuertemente dependientes de la elasticidad renta del sector en el que el cambio de las condiciones tiene lugar.

#### Escenario 4'

	alfa	beta	gamma	delta	epsilon	phi	sj(0)	qj(0)
sector1	0.013	0.08	0.01	0.1	0.08	2	0.2	1
sector2	0.013	0.08	0.01	0.1	0.08	0.6	0.2	1
sector3	0.013	0.08	0.01	0.75	0.08	0.3	0.2	1
sector4	0.013	0.08	0.01	0.1	0.08	2.5	0.2	1
sector5	0.013	0.08	0.01	0.1	0.08	1	0.2	1

[SIMULACIÓN 4']

#### Escenario 4''

	alfa	beta	gamma	delta	epsilon	phi	sj(0)	qj(0)
sector1	0.013	0.08	0.01	0.1	0.08	2	0.2	1
sector2	0.013	0.08	0.01	0.1	0.08	0.6	0.2	1
sector3	0.013	0.08	0.01	0.1	0.08	0.3	0.2	1
sector4	0.013	0.08	0.01	0.75	0.08	2.5	0.2	1
sector5	0.013	0.08	0.01	0.1	0.08	1	0.2	1

[SIMULACIÓN 4'']

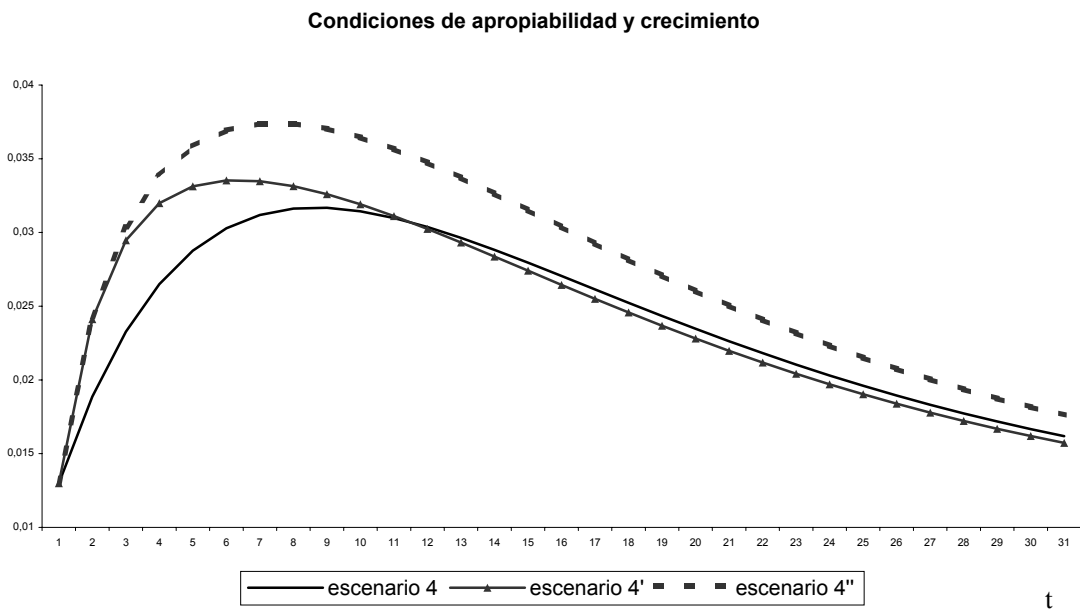
Las simulaciones 4' y 4'' ponen de manifiesto que, en los dos casos, la aceleración del proceso de levantamiento de barreras a la entrada tiene idéntico efecto sobre la trayectoria sectorial : el segundo gráfico de ambas simulaciones revela que la trayectoria de la tasa  $\hat{q}_j(t)$  correspondiente al sector modificado experimenta un apuntamiento muy notable en el primer tramo del horizonte de simulación, aunque converge finalmente a la trayectoria común al resto de los sectores. El apuntamiento de la trayectoria representa ganancias importantes en términos de crecimiento de la productividad para el sistema sectorial en el que se produce la aceleración del levantamiento de barreras a la entrada, y tiene su origen (según las hipótesis del modelo) en el hecho de que el reforzamiento de las condiciones de apropiabilidad de los beneficios derivados de la innovación, estimula la dedicación de recursos al aprovechamiento sistemático (por parte de las empresas consolidadas en el sector) de las oportunidades tecnológicas que representamos mediante el parámetro sectorial  $\beta_j$  . Esta mayor intensidad innovadora de origen interno es la que



se refleja en la trayectoria modificada de la tasa de crecimiento de la productividad sectorial, y pierde importancia en la medida en que se agotan las oportunidades tecnológicas para la realización de actividades formales de I+D, por eso la trayectoria modificada converge finalmente a la trayectoria común.

El resultado más interesante que se deriva de este ejercicio de simulación es el que hace referencia al efecto diferente del incremento de  $\delta_j$  en la trayectoria agregada  $\hat{q}(t)$  dependiendo de que el sector modificado "j" tenga la mayor o la menor elasticidad renta sectorial; el **gráfico a** que presentamos a continuación representa conjuntamente las trayectorias macroeconómicas de  $\hat{q}(t)$  simuladas a partir de los escenarios 4, 4' y 4".

**Gráfico a**



El cambio en el proceso sectorial de evolución de las condiciones de apropiabilidad de las rentas de la innovación, como resultado del levantamiento de barreras a la entrada en el sector, tiene efectos macroeconómicos tanto en el escenario 4' como en el 4". Sin embargo, el reflejo macroeconómico de la misma dinámica sectorial es muy diferente en los dos escenarios, y la diferencia estriba en el hecho de que el sector modificado tiene elasticidades renta muy distintas en cada uno de los dos escenarios considerados.

En el **escenario 4'**, donde el sector en el que se acelera el reforzamiento de las condiciones de apropiabilidad es el de mínima elasticidad renta, vemos que inicialmente el estímulo a la innovación en el sector modificado 3 se refleja positivamente en la trayectoria macroeconómica  $\hat{q}(t)$ ; por las expresiones **(3)** y **(7)** del modelo sabemos que este reflejo macroeconómico positivo acelera el proceso de cambio estructural, el cual va en detrimento de la importancia relativa del sector 3 al ser éste el de menor elasticidad renta de la economía. El estímulo tecnológico inicial sobre el crecimiento macroeconómico de la productividad, proveniente de un sector con baja elasticidad renta, es rápidamente anulado por el proceso de cambio estructural, llegando incluso a precipitar el proceso de desaceleración del crecimiento de "q".

Por otro lado, el **escenario 4''** revela los efectos macroeconómicos de que se refuercen las condiciones de apropiabilidad en el sector de máxima elasticidad renta. El estímulo a la innovación en el sector 4 alcanza plenos efectos macroeconómicos, ya que el efecto positivo sobre el crecimiento acelera el proceso de cambio estructural que, en este caso, favorece al sector estimulado, lo cual se refleja en la posición de la trayectoria macroeconómica que se deduce del escenario 4'' respecto a las de los escenarios 4 y 4' tal y como se muestra en el **gráfico a**. El análisis que acabamos de realizar tiene una lectura clara en términos de política tecnológica y de innovación: si nuestro objetivo es estimular el crecimiento del producto agregado p/cap. y decidimos hacerlo por la vía del estímulo de la productividad, hay una primera decisión que consiste en elegir la acción precisa para lograr este estímulo; si existen oportunidades tecnológicas explotables mediante la asignación de recursos a actividades formales internas de I+D, es eficaz reforzar las condiciones de apropiabilidad de las rentas derivadas de la innovación, pero no en cualquier sector. La eficacia es mayor cuanto mayor es la elasticidad renta sectorial, y en caso de que la elasticidad renta sea muy baja el efecto macroeconómico puede ser anulado por el proceso de cambio estructural.

#### IV. Promoción de la base de oportunidades tecnológicas sectoriales.

Según señalábamos en la sección 2 de este trabajo, otro de los condicionantes fundamentales del ritmo de progreso tecnológico en un sector es la base de oportunidades tecnológicas sobre la que se realizan las actividades de asignación de recursos para la innovación, y los procesos de búsqueda innovativa. Las oportunidades tecnológicas para la innovación no son infinitas dada una base determinada de conocimientos, y acaban por agotarse en la medida en que las empresas las van explotando en el marco del proceso de mercado y del entramado de relaciones extra-mercantiles que conforman un determinado sistema de innovación.

En la sección 2 propusimos un parámetro  $\varepsilon_j$  cuyo valor indica la velocidad a la que se agota la base de oportunidades tecnológicas sobre la que se desarrollan las actividades del sistema sectorial "j" en un cierto intervalo de tiempo. Más concretamente, el componente  $(1 - e^{-\delta_j t})\beta_j e^{-\varepsilon_j t}$  de las funciones sectoriales de progreso técnico, capta la dinámica de la contribución de las actividades sistemáticas de innovación de origen interno al crecimiento de la productividad media sectorial, y nos dice que dado un potencial  $\beta_j$ , esta base de oportunidades tecnológicas acabará teniendo un reflejo real tanto mayor cuanto más intensamente se refuercen las condiciones de apropiabilidad de las rentas de la innovación (mayor sea  $\delta_j$ ), y cuanto más se sostenga en el tiempo el aprovechamiento eficaz de la base de oportunidades tecnológicas (menor sea  $\varepsilon_j$ ).

Para entender mejor los factores que contribuyen al sostenimiento de una base sectorial de oportunidades tecnológicas, debemos tener en mente el diagrama representativo de un sistema sectorial de innovación hipotético que presentamos en la sección 2 de este trabajo. Los agentes que incorporan en última instancia los nuevos procesos (o producen los nuevos productos) resultantes de los procesos de innovación son las empresas rivales, que dedican recursos a la innovación como forma de sobrevivir en el marco de los procesos competitivos de mercado. Sin embargo, el resultado final de la innovación proviene de una serie de procesos previos de búsqueda y aprendizaje en los

que se combinan y complementan muy distintas formas de conocimiento: conocimiento de las condiciones de mercado, pero también conocimiento científico, tecnológico y conocimientos muy específicos acerca de las peculiaridades de funcionamiento de distintas organizaciones. La innovación no es sólo el resultado de competir, sino también de colaborar: colaboran las empresas con los usuarios, los proveedores, laboratorios científicos y tecnológicos, universidades y otros centros de formación. El camino hacia la formación de este entramado de relaciones entre distintas entidades con objetivos, dinámicas internas de funcionamiento, conocimientos y capacidades radicalmente diferentes no es fácil, pero dado el nivel de sofisticación tecnológica e incluso científica que caracteriza a gran parte de las innovaciones actuales, es inevitable.

De la eficiencia con que funcionen estos sistemas de innovación, de la solidez de las relaciones que se establecen entre los distintos agentes, y de la compatibilidad de objetivos y conocimientos entre entidades diversas, depende en buena parte la creación y el sostenimiento de una base sectorial de oportunidades tecnológicas. En nuestro modelo, cuanto más estable y eficaz sea el funcionamiento de estos entramados de relaciones en el seno de un sistema sectorial de innovación "j", menor será el valor de  $\varepsilon_j$ , indicando que el agotamiento de la base de oportunidades tecnológicas tarda más en producirse. Dado que la creación, promoción y apoyo a estas redes de innovación es una de las medidas de política tecnológica más utilizada en la práctica, nos preguntamos en el marco de nuestro modelo cuáles son los efectos sobre las trayectorias sectoriales y el crecimiento macroeconómico de la promoción de las bases sectoriales de oportunidades tecnológicas. Para responder a esta pregunta, partimos del ya conocido escenario 4 y analizamos la sensibilidad de los resultados de la simulación ante disminuciones del parámetro  $\varepsilon_j$  en ciertos sectores.

Si pasamos del valor  $\varepsilon_j = 0.08$  al valor  $\varepsilon_j = 0.01$  en cualquier "j", el efecto sobre la trayectoria sectorial consiste en que, al no agotarse la base de oportunidades tecnológicas, no se produce la fase prolongada de desaceleración del crecimiento de la productividad sectorial que vemos en la **simulación 4**. Por ejemplo, en la **simulación 5** vemos los resultados de simular el modelo en las circunstancias del escenario 4, pero haciendo ahora  $\varepsilon_3 = 0.01$ ; aunque el efecto sectorial es claramente positivo sobre el

crecimiento de la productividad, no es suficiente para evitar la desaceleración del crecimiento al nivel macroeconómico. De nuevo encontramos la razón de este hecho en la elasticidad renta sectorial del sector modificado. Si hacemos  $\varepsilon_4 = 0.01$ , siendo el sector 4 el sector con máxima elasticidad renta, comprobamos en la **simulación 6** que, en este caso, el efecto sectorial rompe la tendencia macroeconómica a la desaceleración, al actuar el proceso de cambio estructural precisamente en la dirección del sector modificado. La conclusión que se deriva de las simulaciones 5 y 6 vuelve a indicarnos la importancia que tiene la distribución de elasticidades renta sectoriales característica de un sistema económico global a la hora de comprender la forma en que se manifiestan a nivel macroeconómico los procesos de innovación que operan en niveles inferiores.

## 5.- Conclusiones

A lo largo de este trabajo hemos propuesto una interpretación del crecimiento económico como un proceso que emerge del desenvolvimiento de procesos de innovación tecnológica diversos en el marco de sistemas económicos multisectoriales. Los procesos de innovación difieren de unos sectores a otros en lo que se refiere a los ritmos a los que estos procesos tienen lugar, y a las condiciones tecnológicas e institucionales sectoriales de las que surgen (y que, a su vez, transforman). Los sistemas económicos multisectoriales son un todo coordinado e interconectado<sup>22</sup>, siendo las estructuras sociales de preferencias y los patrones de conexión productiva intersectorial (reflejados en nuestro marco en la distribución de elasticidades renta sectoriales) los elementos cohesionadores y estructurantes del orden económico/social.

Partiendo del supuesto de que este orden se mantiene inalterado durante intervalos suficientemente amplios de tiempo, y asumiendo ciertas hipótesis referentes a la forma en que se desarrollan a lo largo del tiempo los procesos sectoriales de co-evolución tecnológica e institucional subyacentes al crecimiento de la productividad sectorial del factor trabajo, hemos analizado ciertas propiedades del crecimiento económico en

---

<sup>22</sup> Lo que no implica necesariamente que sean sistemas en estado de equilibrio; Metcalfe (1999).

relación con los procesos de innovación. La decisión de adoptar como parte de nuestra sede analítica el concepto de sistema sectorial de innovación ha sido de ayuda para plantear ciertas preguntas y encontrar posibles vías de respuesta.

En la base del concepto *sistema sectorial de innovación* se encuentra la concepción evolutiva del progreso económico como resultado de la competencia entre empresas rivales en el mercado que utilizan la innovación como arma competitiva, y que requieren para innovar la capacidad de hacer compatibles múltiples conocimientos provenientes de fuentes diversas: el mercado, la experiencia de las organizaciones, la ciencia y la técnica. Si bien es cierto que la empresa es el agente creativo en el que las ideas, conocimientos y proyectos se convierten en realidades comerciales, no podemos pasar por alto que la generación de conocimientos diversos compatibles demanda la formación de redes de colaboración entre empresas y agentes extra-mercantiles de distintos tipos. De la forma que este entramado (o entramados) mixto mercantil/extra-mercantil adopte en un sector concreto, dependen los ritmos y patrones de innovación en el sector (un reflejo de los cuales es p.ej. el crecimiento sectorial de la productividad).

El crecimiento agregado del producto por trabajador arrastra con distinta intensidad a los niveles de actividad de los distintos sectores generando el proceso de cambio estructural; a su vez, este proceso de transformación de la estructura productiva sectorial tiene efectos en la intensidad con que se reflejan macroeconómicamente las dinámicas de innovación que tienen lugar al nivel de los distintos sectores. Este hecho se revela en el marco de nuestro modelo como un factor decisivo a la hora de valorar distintas medidas de política tecnológica y sus efectos sobre el crecimiento económico. Concretamente, la incidencia sobre el crecimiento del producto p/cap. a nivel agregado del reforzamiento de las condiciones de apropiabilidad de las rentas de la innovación y de la promoción de las bases sectoriales de oportunidades tecnológicas, es muy distinta dependiendo de la elasticidad renta de los sectores sobre los que se actúe, siendo la eficacia de las medidas mucho mayor en aquellos sectores con mayor elasticidad renta.

Por último, queremos recalcar que los procesos de innovación tecnológica son fenómenos que sólo pueden tener lugar si en ellos participan agentes diversos, motivados

por la necesidad de competir para la creación de nuevas opciones comerciales, pero al mismo tiempo dispuestos a colaborar con organizaciones e individuos generadores de distintos tipos de conocimiento. Estas condiciones deberían orientar los estudios sobre innovación tecnológica en la dirección de analizar las consecuencias de distintas formas de interacción entre agentes heterogéneos, con objetivos fácilmente incompatibles y en entornos inciertos en los que la necesidad de prevenir el error pudiera explicar la necesidad de colaborar para competir.

## Listado de símbolos utilizados

$\hat{q}_j(t)$  : tasa de crecimiento de la productividad media del factor trabajo en el sector "j".

n: número de sectores en la economía.

$\alpha_j e^{-\delta_j t}$  : contribución de la entrada de nuevas empresas incorporando procesos productivos más eficientes a la tasa de crecimiento de la productividad media en el sector "j", en el instante "t".

$\alpha_j$  : tasa de arranque del crecimiento de la productividad sectorial en el sector "j", proveniente íntegramente de la entrada de nuevas empresas al sector.

$\delta_j$  : velocidad a la que se produce el levantamiento de barreras a la entrada de nuevas empresas en el sector "j".

$(1 - e^{-\delta_j t})\beta_j e^{-\varepsilon_j t}$  : contribución a  $\hat{q}_j(t)$  de las mejoras en proceso obtenidas a partir de la realización de actividades formales de I+D por parte de las empresas establecidas en el sector.

$\beta_j$  : límite superior para la tasa de crecimiento de la productividad en "j" derivada del aprovechamiento de fuentes internas de progreso técnico mediante la realización de actividades formalizadas de I+D.

$\varepsilon_j$  : velocidad a la que se agotan las oportunidades tecnológicas aprovechables mediante la realización de actividades internas formales de I+D en el sector "j".

$(1 - e^{-\delta_j t})(1 - e^{-\varepsilon_j t})\gamma_j$  : contribución a  $\hat{q}_j(t)$  del aprendizaje con la práctica y otras fuentes internas no formalizadas ni sistemáticas de progreso técnico.

$\gamma_j$  : potencial que existe en un determinado sistema para el crecimiento de la productividad por la vía de las fuentes internas no sistemáticas.

$g_j$  : tasa de crecimiento de la producción en la actividad sectorial "j", que coincide con la tasa de crecimiento de la demanda del producto de esa actividad sectorial  $g_j = g_j^d$ .

$\hat{q}$  : tasa de crecimiento del producto p/cap.  $q = \left(\frac{Q}{L}\right)$

$\phi_j$  : elasticidad renta de la demanda del sector "j".

$s_j = \frac{Q_j}{Q}$  : participación de la producción correspondiente al sistema sectorial "j" en el output total, siendo

$\hat{s}_j$  la tasa de variación de la participación del sector "j" en el output total.

$\bar{\phi} = \sum s_j \phi_j$  : media ponderada de las elasticidades renta sectoriales.

$g = \sum s_j g_j$  : tasa de crecimiento del output total.



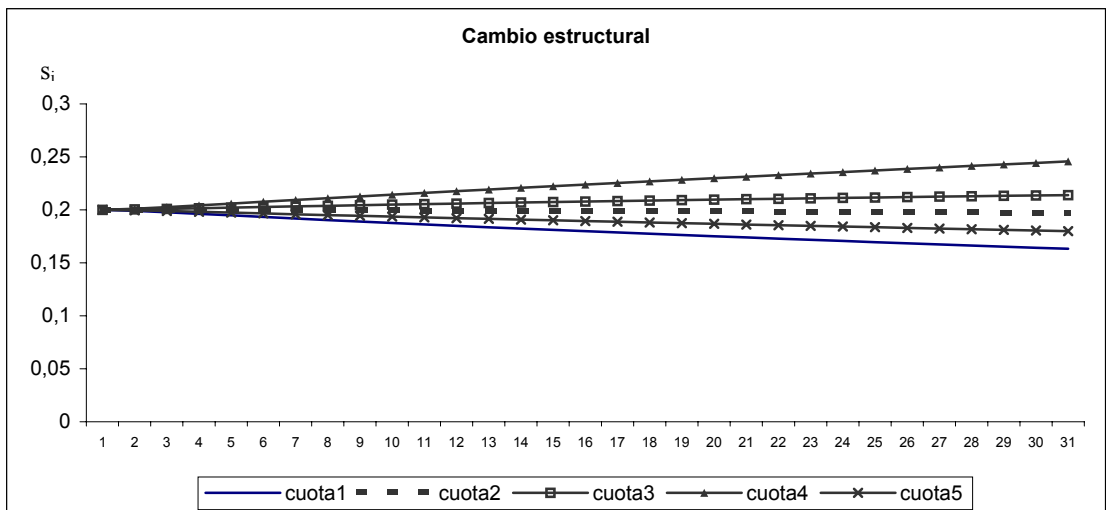
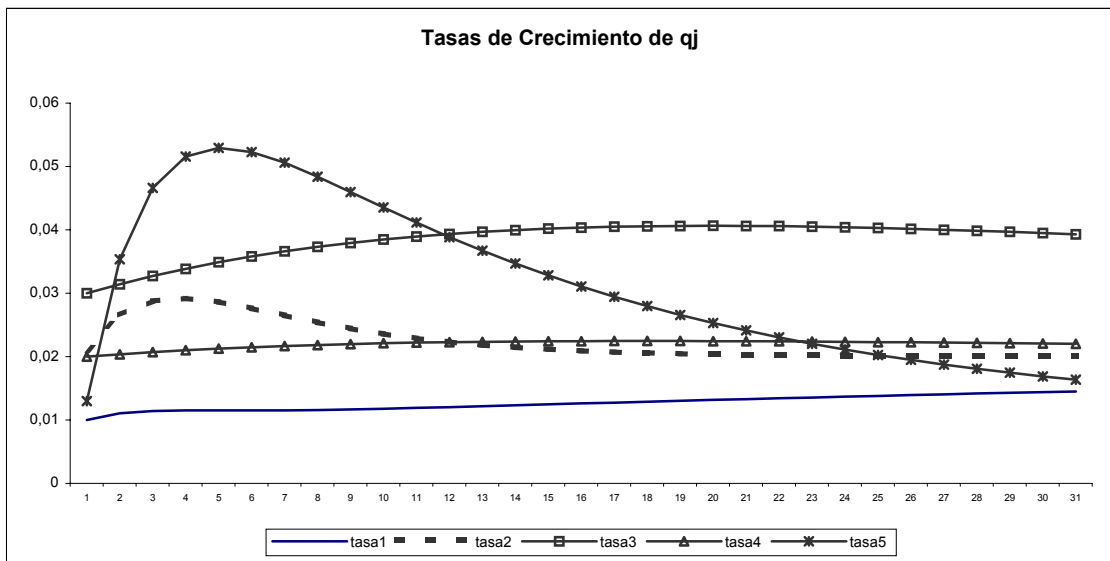
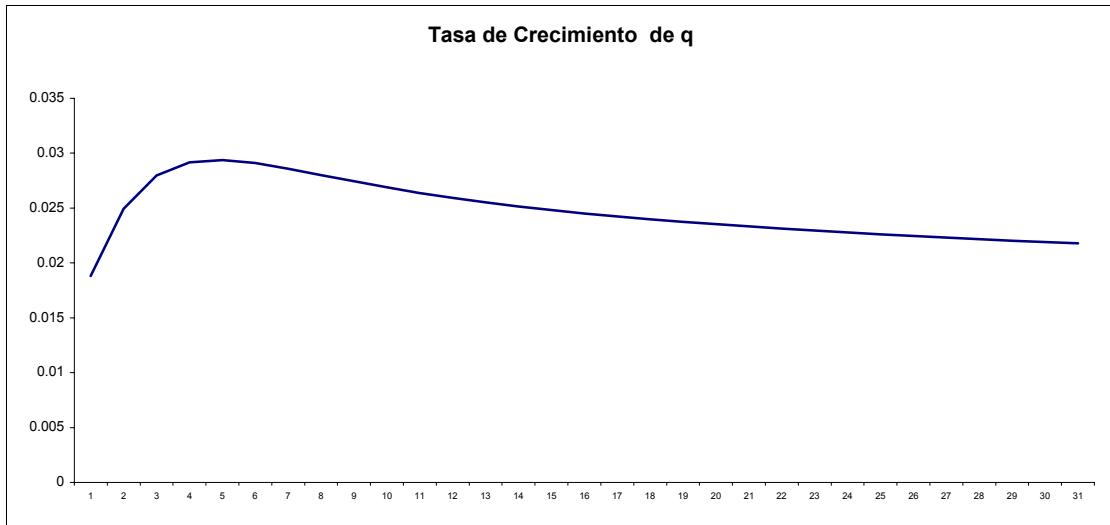
## Referencias

- Dosi, G., (1988) "Sources, Procedures and Microeconomic Effects of Innovation", *Journal of Economic Literature* **XXVI**.
- Dosi, G., Marsili O. et al. (1995) "Learning, Market Selection and the Evolution of Industrial Structures". *Small Business Economics*, **7**.
- Freeman, C. (ed) (1990) *The Economics of Innovation*, The International Library of Critical Writings in Economics, Edward Elgar.
- Klepper, S. (1996) "Entry, Exit, Growth and Innovation over the Product Life Cycle". *American Economic Review* **86** (3).
- Malerba, F. (2002) "Sectoral systems of innovation and production". *Research Policy*, **31**.
- Metcalfe, S. (1999) "Restless Capitalism: Increasing Returns and Growth in Enterprise Economies". Mimeo. (<http://les.man.ac.uk/cric>)
- Nelson, R. & Winter, S. (1982) *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Harvard University Press.
- Pavitt, K. (1984) "Sectoral Patterns of Technical Change: towards a Taxonomy and a Theory". *Research Policy*, **13**.
- Utterback, J. & Abernathy W. (1975) "A dynamic model of process and product Innovation". *Omega* **3** (6).
- Verspagen, B. (2000) "Growth and Structural Change. Trends, patterns and policy options". ECIS WP ([www.tm.tue.nl/ecis](http://www.tm.tue.nl/ecis)).
- Winter, S.G. (1984) "Schumpeterian Competition in Alternative Technological Regimes". *Journal of Economic Behavior & Organization*, **5**.

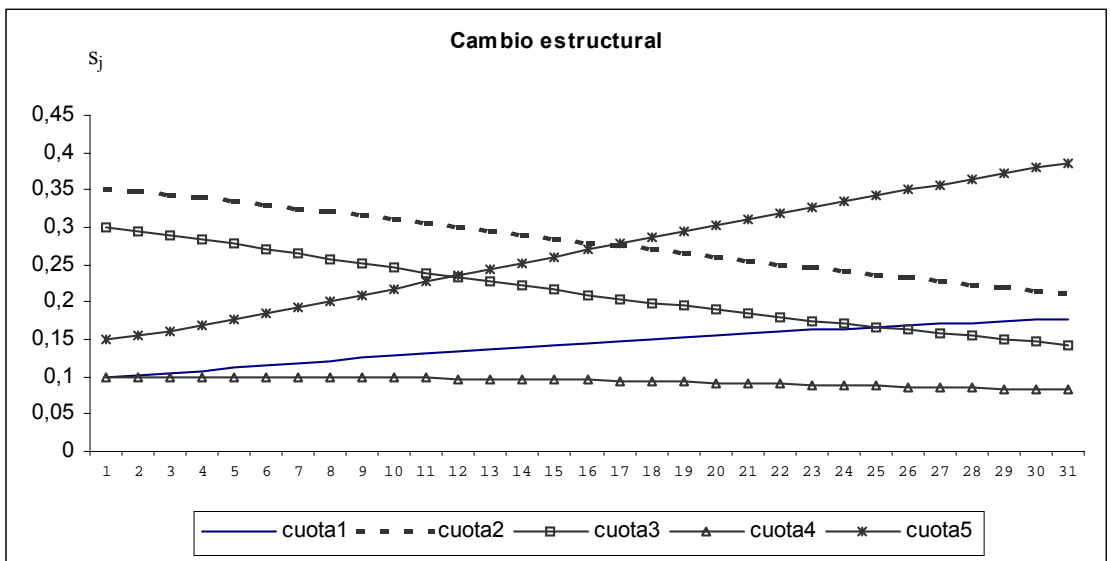
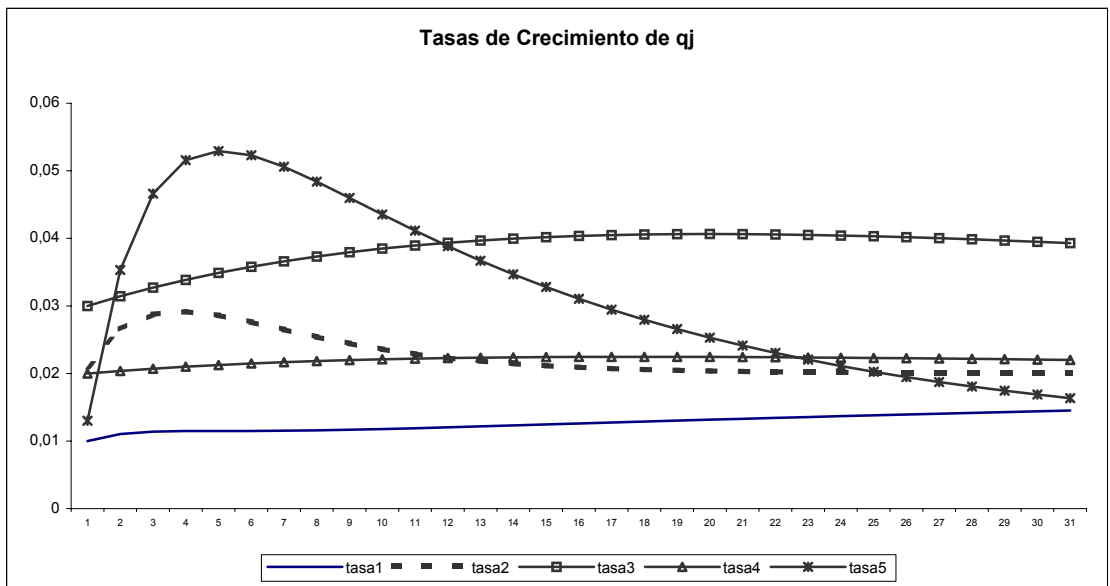
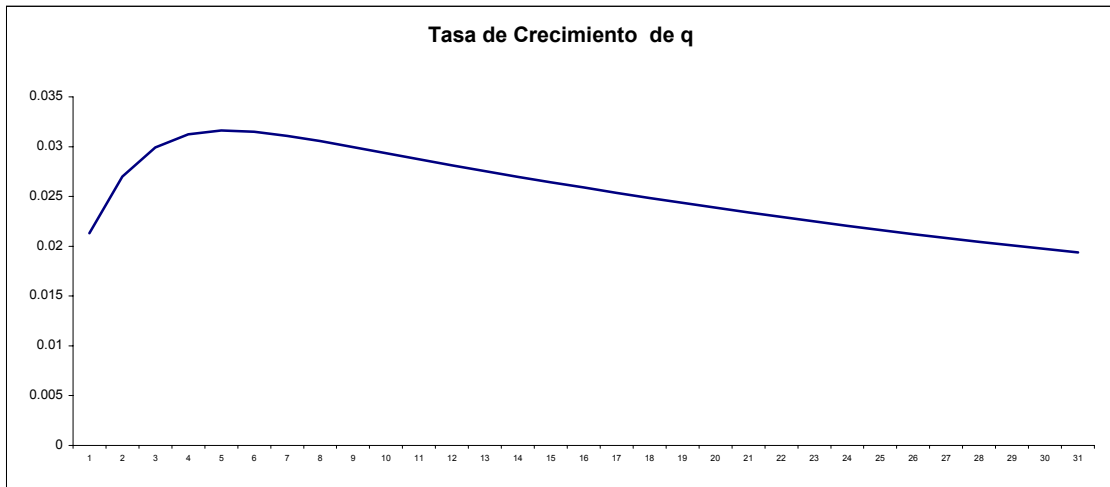


# APÉNDICE GRÁFICO

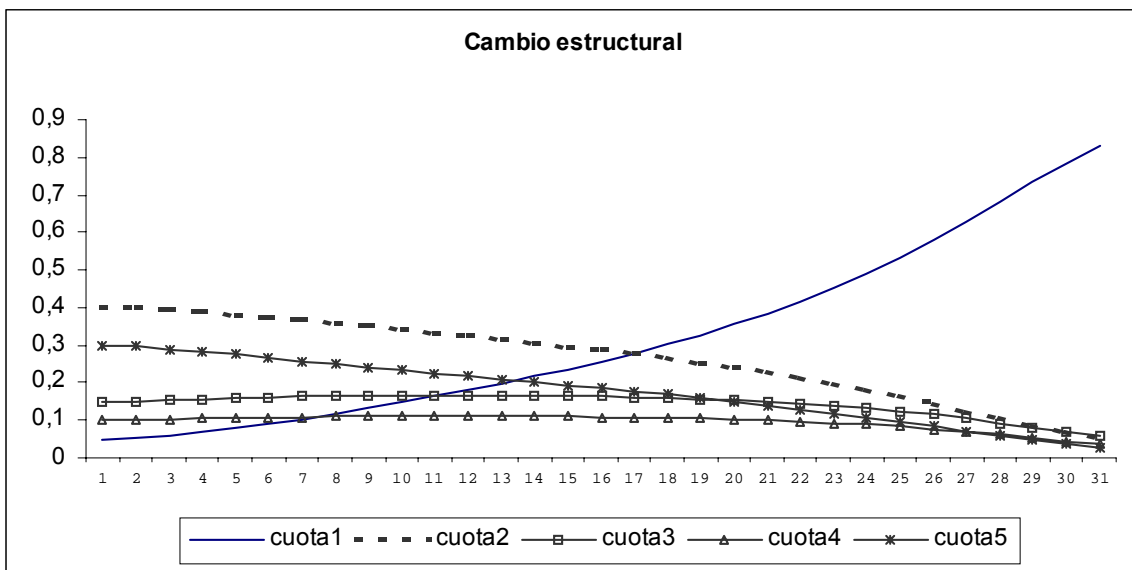
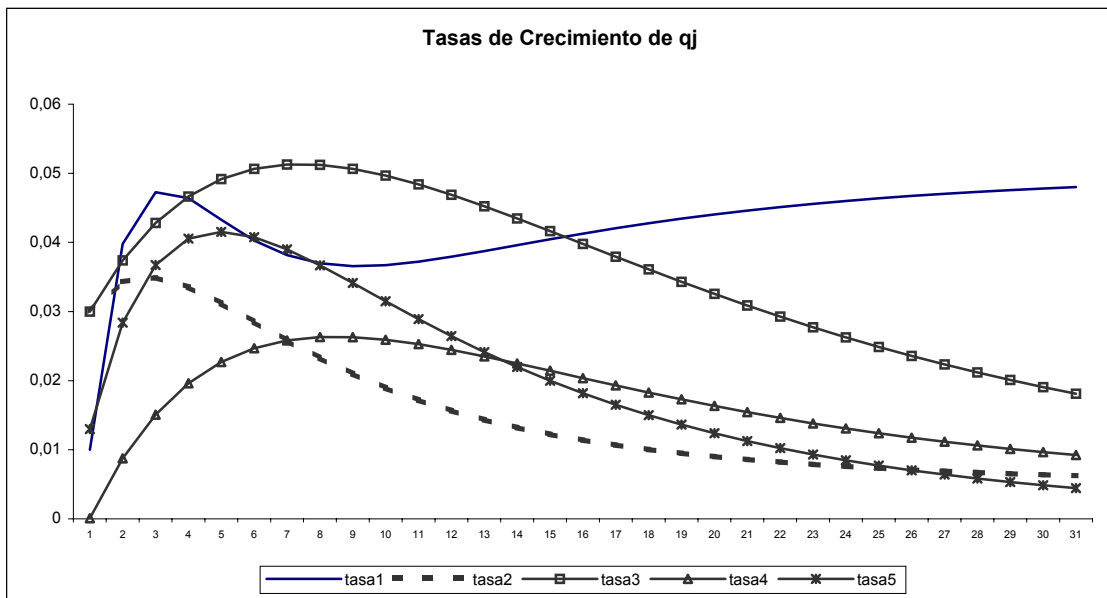
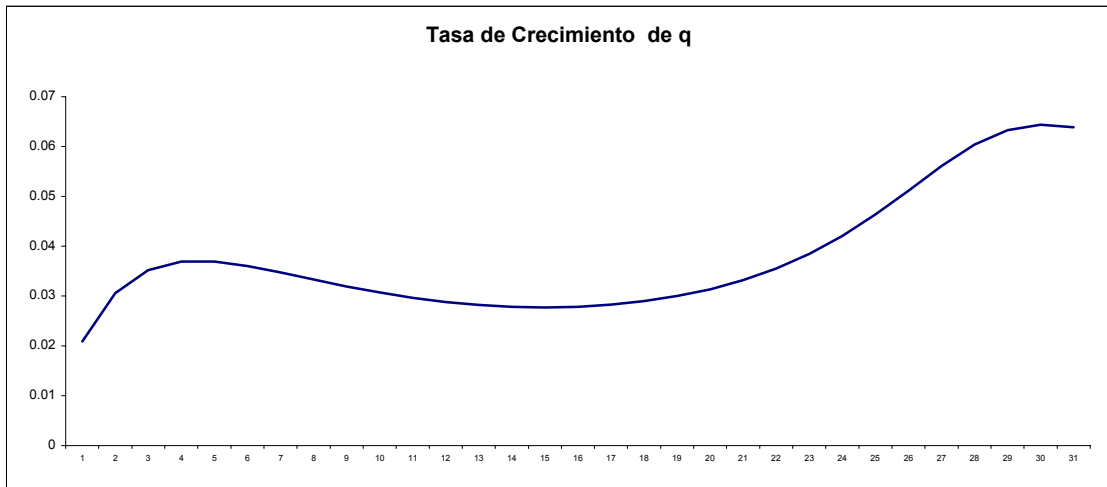
## Simulación 1



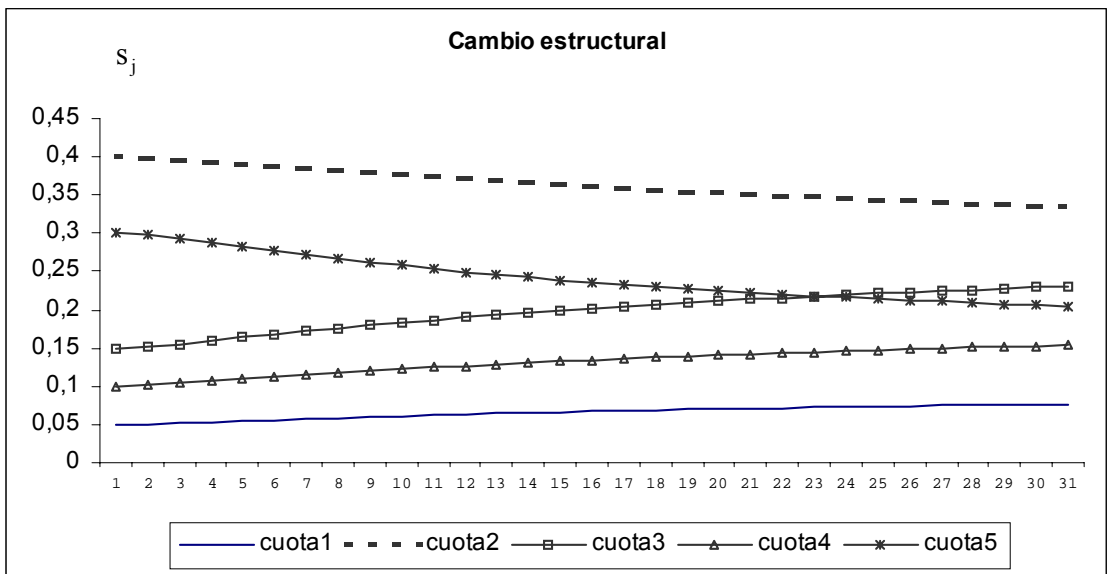
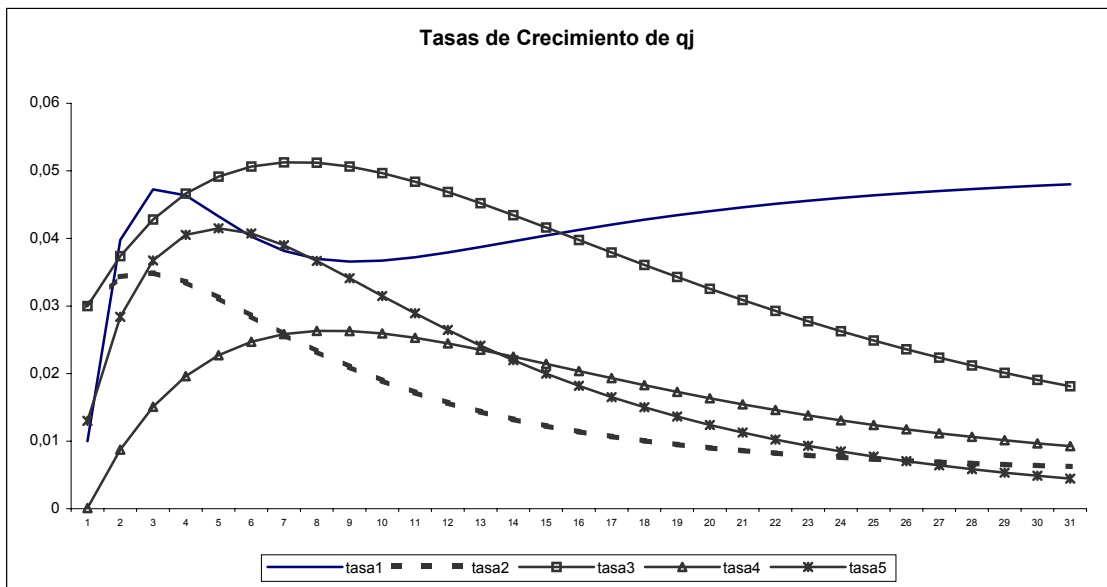
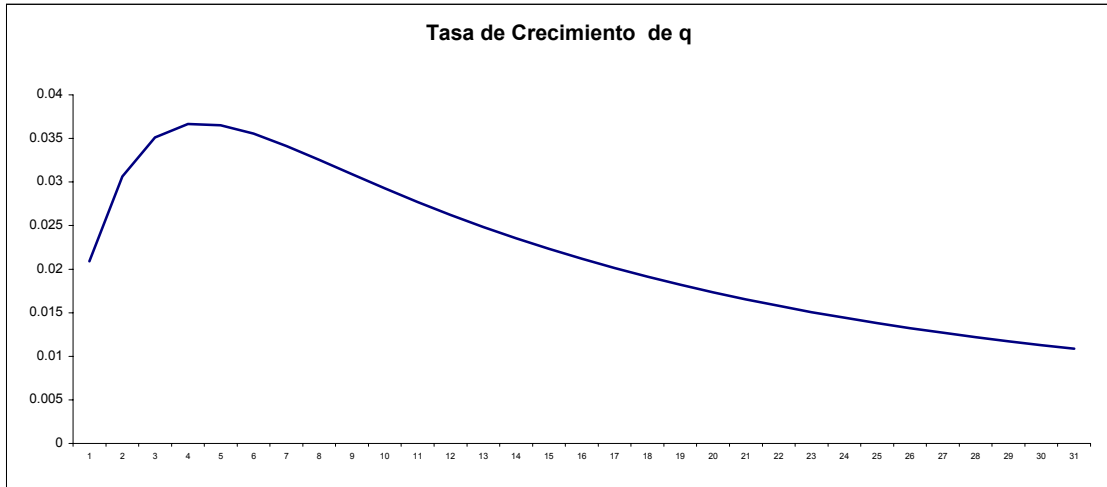
## Simulación 2



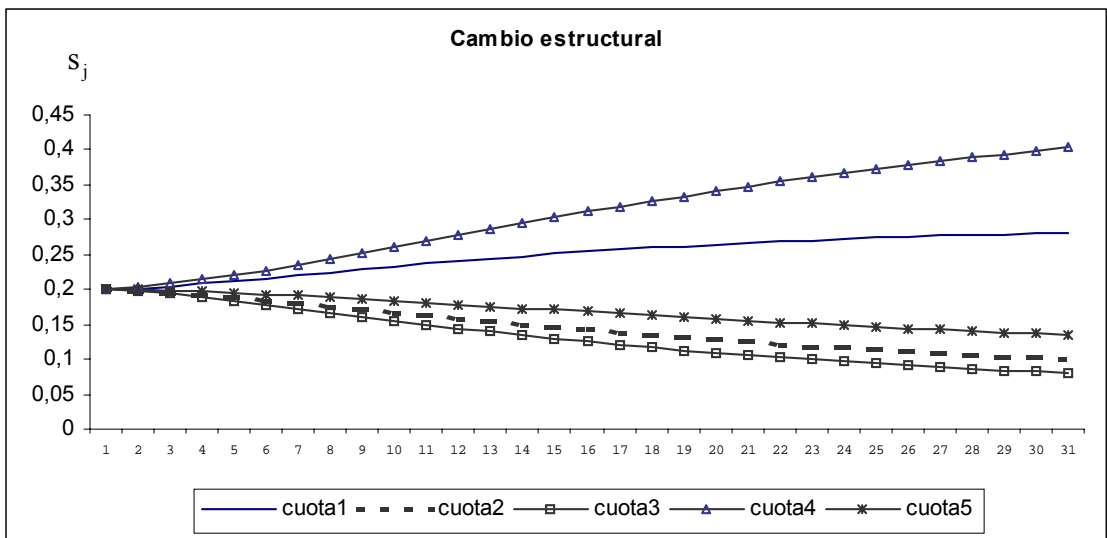
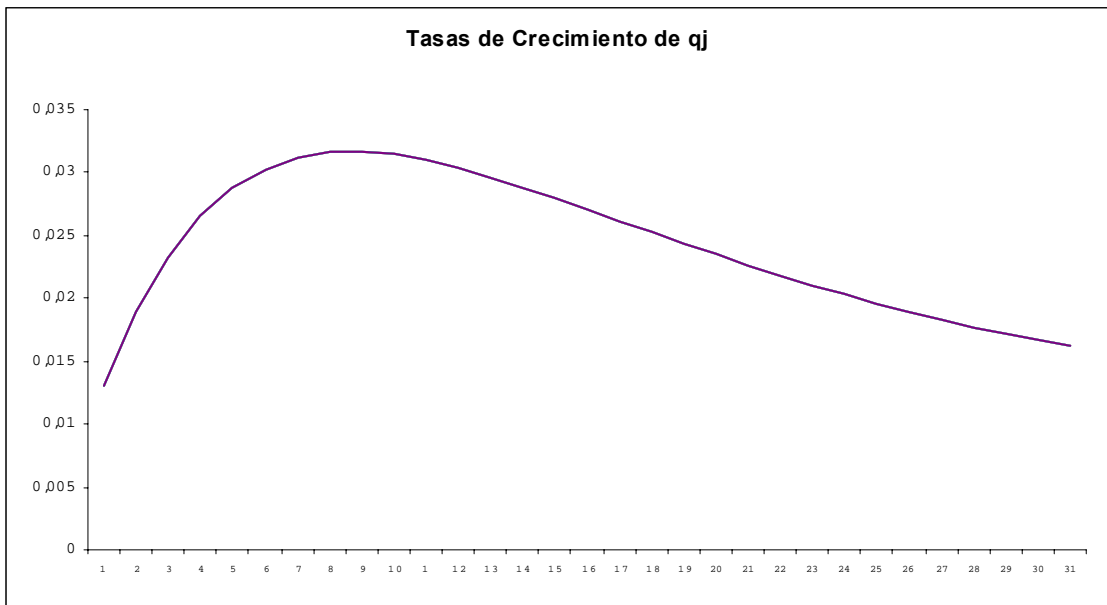
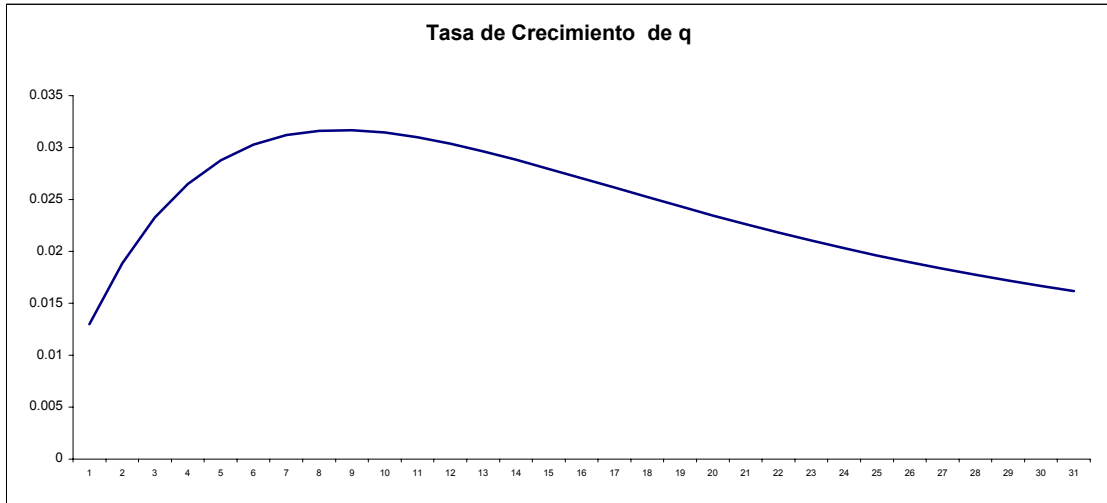
### Simulación 3



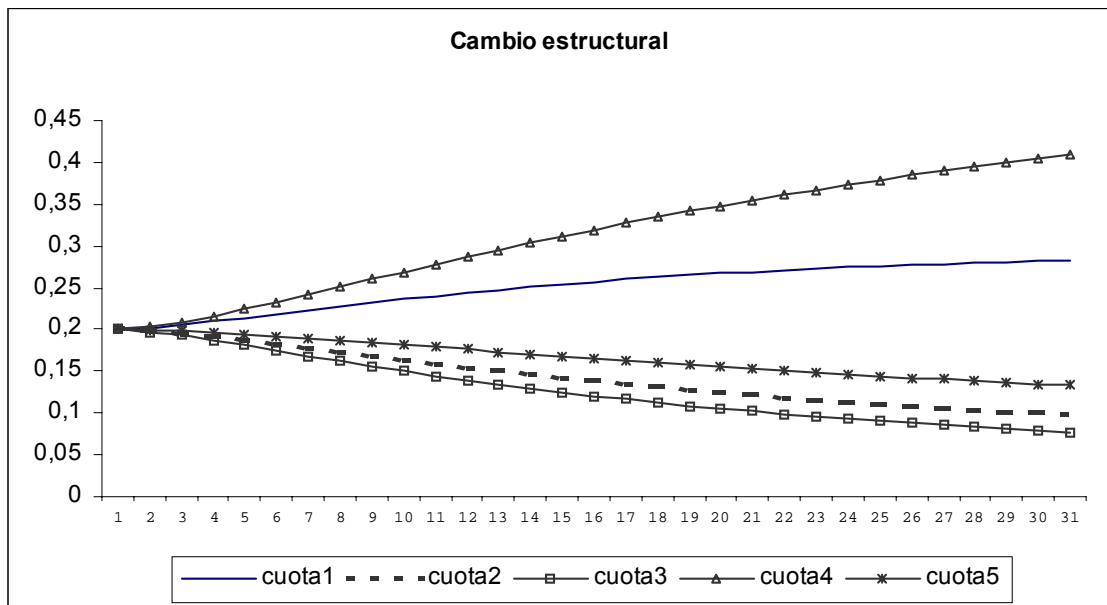
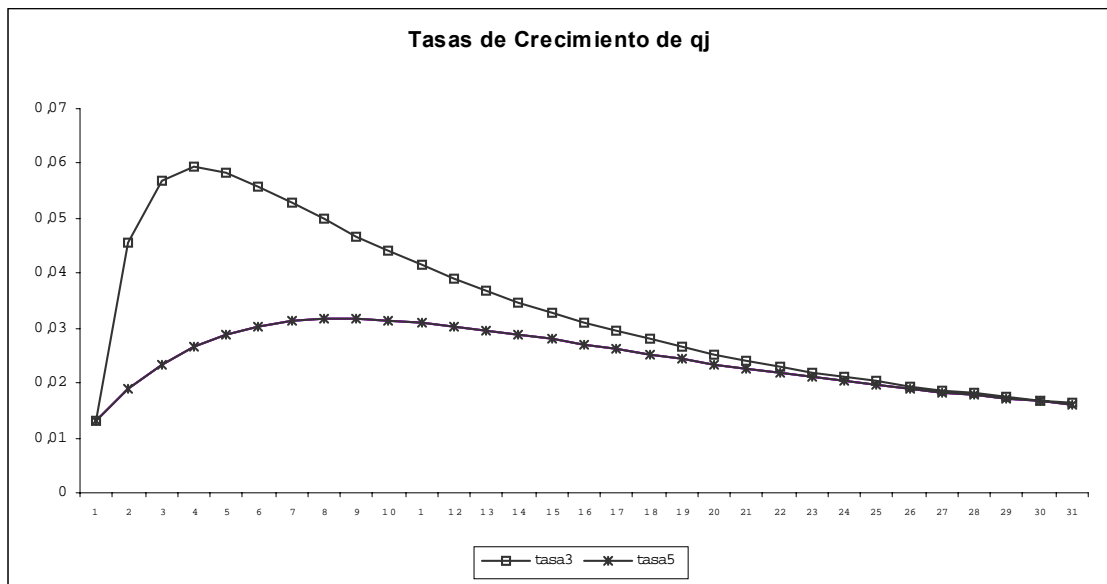
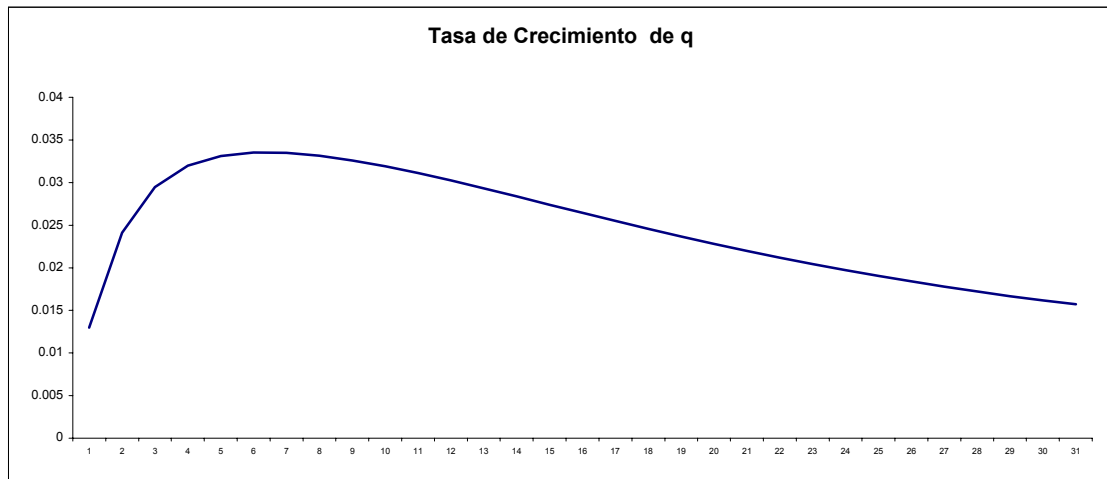
### Simulación 3'



## Simulación 4

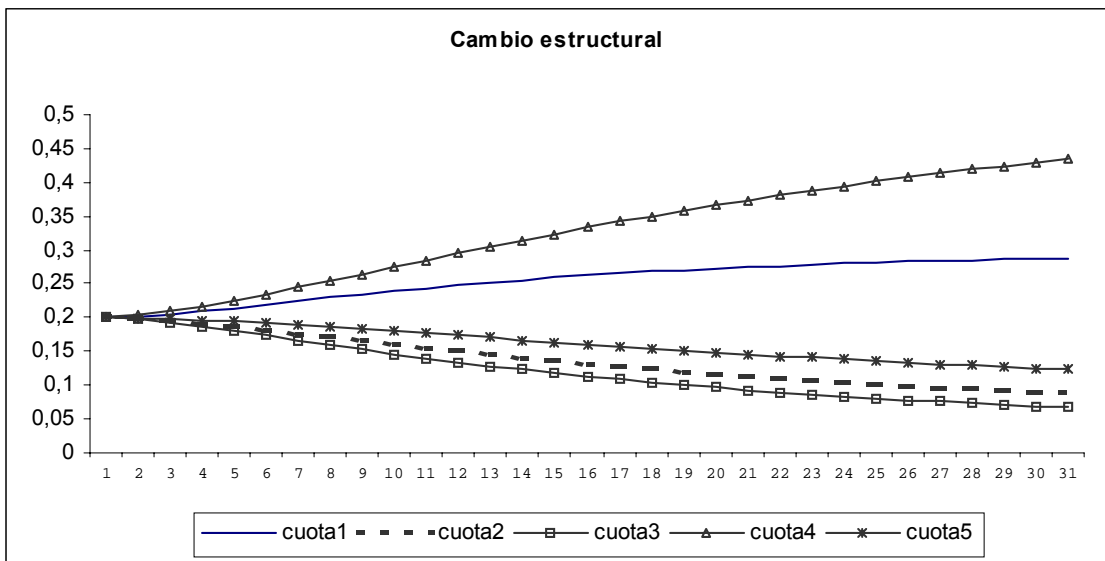
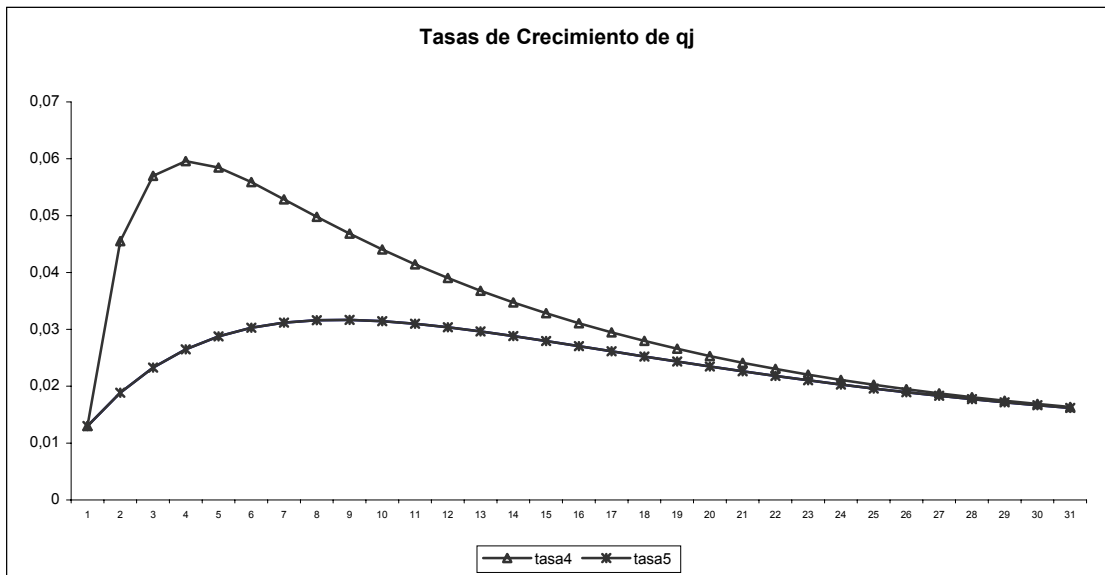
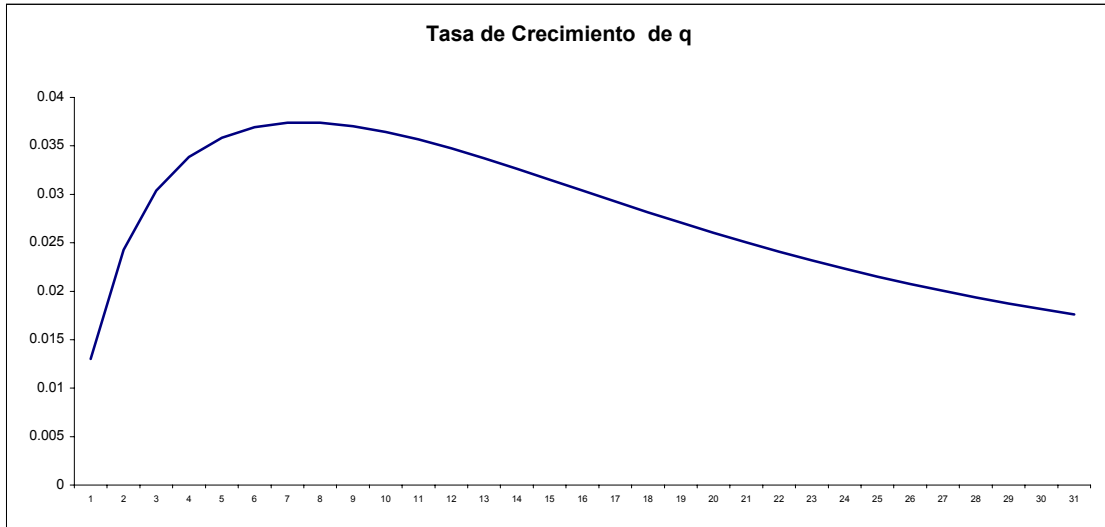


## Simulación 4'

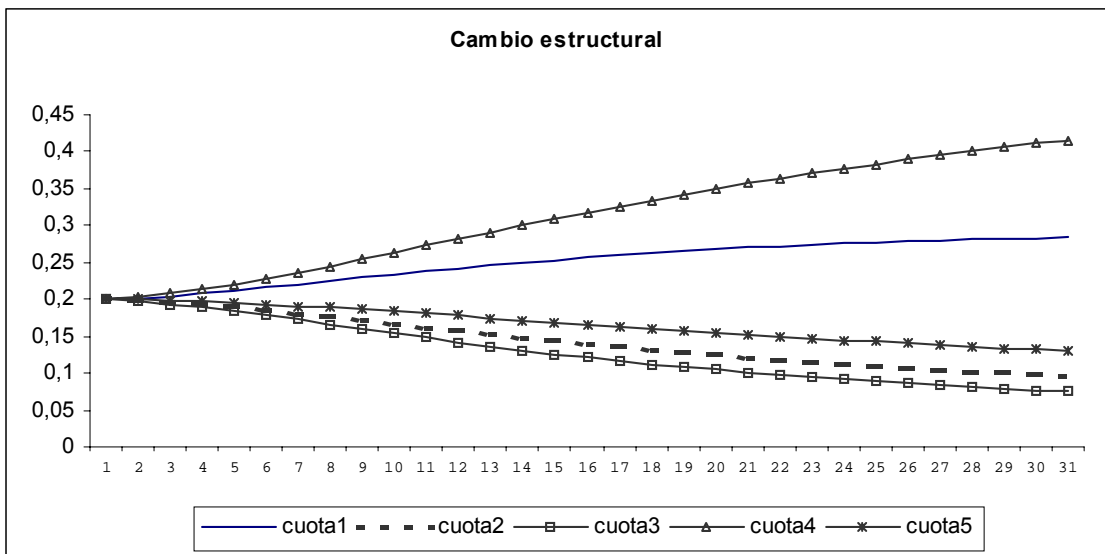
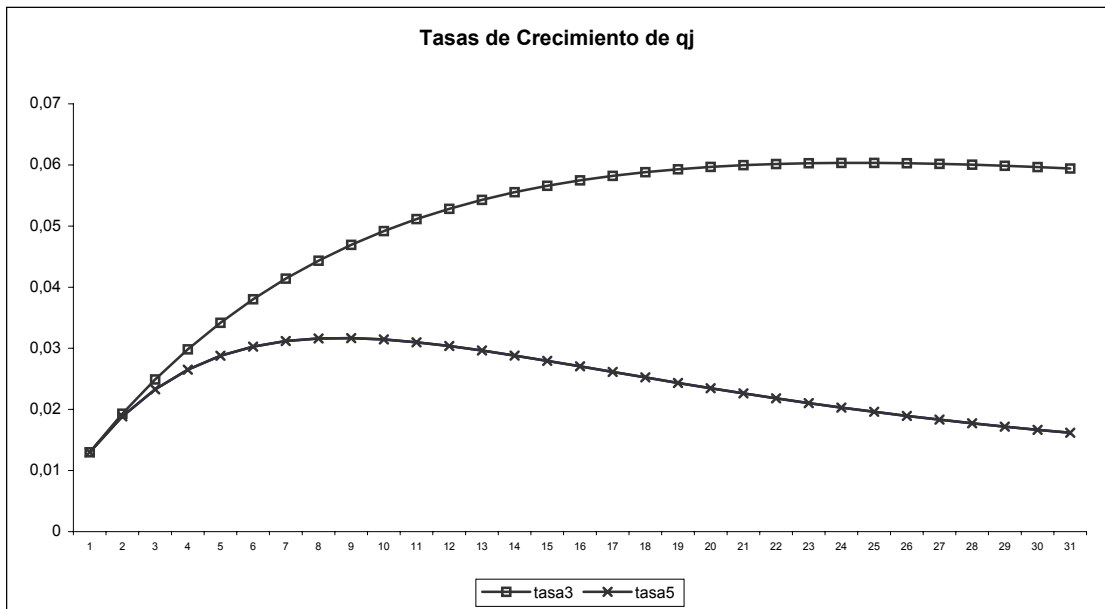
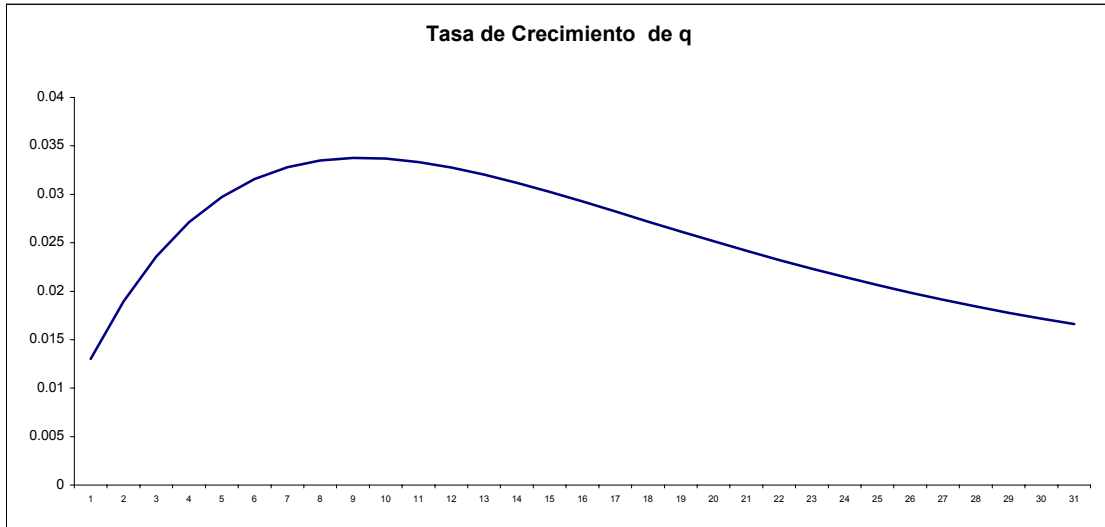




## Simulación 4''



## Simulación 5



## Simulación 6

