

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA ECONÓMICAS, A.C.



**NANOTECNOLOGÍA: TECNOLOGÍA DE PROPÓSITO  
GENERAL, PRODUCTIVIDAD Y CRECIMIENTO**

**TESINA**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADA EN ECONOMÍA**

**PRESENTA**

**MAYARÍ ISABELLE MONTES DE OCA SALINAS**

**DIRECTOR DE TESINA: DR. DAVID MAYER FOULKES**

**MÉXICO, D.F. OCTUBRE DE 2011**

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA Y MARCO TEÓRICO.....	4
3. ANÁLISIS EMPÍRICO.....	15
4. CONCLUSIONES.....	27
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29
6. APÉNDICE A.....	32
7. APÉNDICE B.....	36
8. APÉNDICE C.....	39

## I. Introducción.

La innovación es un tema de fundamental importancia para el crecimiento económico, es una de las principales variables necesarias para desplazar los límites que los rendimientos decrecientes del capital y del trabajo imponen al crecimiento. Autores como Jones y Williams (1998) han demostrado anteriormente la existencia de altos rendimientos sociales a la inversión en el desarrollo de la ciencia y la tecnología, por lo que ésta se perfila cada vez más como un componente central de la inversión pública. En este contexto, las Nanociencias y Nanotecnologías (NCT) se han convertido recientemente en una prioridad en las agendas de los gobiernos de varios países desarrollados y han comenzado a surgir como un tema de importancia en algunos países en vías de desarrollo. Sin embargo, pocos estudios empíricos se han realizado con miras a determinar los impactos de su desarrollo en la industria y de la inversión realizada desde los gobiernos.

Los estudios empíricos hasta ahora existentes, basados principalmente en el análisis de patentes, ayudan a identificar la relevancia central de este campo y la razón por la cual ha generado grandes expectativas en tan poco tiempo. Esto es, que las NCT no son una tecnología incremental. Por el contrario, la información disponible presentada en Youtie, Iacopetta y Graham (2008) indica que es una *tecnología de propósito general* que traerá transformaciones sustanciales a los procesos productivos, penetrando distintos sectores de la economía y volviendo obsoletas las habilidades relacionadas con el manejo de la actual tecnología.

Sin embargo, los análisis de patentes tienen grandes limitaciones cuando se trata de identificar los retornos de esta nueva tecnología. Pues, aunque de éstos se extrae que los solicitantes prevén retornos positivos, no arrojan información alguna sobre la magnitud de dichos retornos (Malanowski & Zweck, 2007, p. 1814).

Para facilitar el aprovechamiento y la comprensión de los nichos de oportunidad que prometen las NCT, se procuró realizar un estudio empírico más amplio, incorporando el bienestar de la economía a través de variables macroeconómicas observables. Aunque los resultados del análisis empírico obtenidos en este trabajo son preliminares y deben tomarse con cuidado, parecen ser consistentes con las conclusiones de la teoría de *tecnologías de propósito general* y crecimiento, así como con

las expectativas globales; pues éstos sugieren una relación positiva y significativa entre la inversión pública en NCT y la productividad a nivel país.

Esta tesina se divide en cuatro partes principales. La segunda sección expone una breve revisión de la literatura sobre los potenciales impactos de una tecnología con las características de las NCT, así como del sustento teórico para el estudio empírico realizado en este trabajo.

La siguiente sección presenta un análisis empírico con los datos que hasta el momento se tienen disponibles y de acceso público, con el fin de estimar la repercusión de la inversión pública en las NCT sobre indicadores de productividad y crecimiento. Para revisar el impacto sobre la productividad a nivel país, se retomó la adaptación de un modelo empleado anteriormente en Guellec y Pottelsberghede-la-Potterie (2001).

Finalmente, se procede a evaluar si los resultados refuerzan las conclusiones del análisis teórico y del consenso de la literatura. Con lo cual, el estudio se propone proveer a los gobiernos de países en vías de desarrollo con herramientas útiles, basadas en datos recientes, que ofrezcan un panorama más claro de los retornos obtenidos por aquellos que ya están inmersos en esta carrera tecnológica, y que permitan tomar decisiones más informadas en el campo.

## II. Revisión de literatura y Marco Teórico

### *Tecnología y Crecimiento*

Estudios recientes de Helpman-Trajtenberg (1994), van Zon-Fortune-Kronenberg (2003) y Howitt-Mayer Foulkes (2005) que han estudiado los motores del crecimiento económico, afirman que la principal explicación para la existencia de tasas de crecimiento positivas es la mejora tecnológica; al ser ésta, a su vez, la que determina el crecimiento de la productividad de largo plazo.

Howitt y Mayer Foulkes (2005), por ejemplo, construyen un modelo de crecimiento, que utilizan para explicar la divergencia actual del ingreso entre países. Este trabajo encuentra que tales diferencias de ingreso son consecuencia de los cambios tecnológicos del s. XIX, que resultaron en transformaciones fundamentales de los procesos productivos. De acuerdo a los autores, la convergencia del ingreso *per cápita*, ocurre entre los países que logran desarrollar una nueva tecnología para producir innovaciones, en tanto que aquellos países que se limitan a implementar dichas innovaciones y que utilizan la tecnología anterior para producir sus propias innovaciones, alcanzarán niveles de ingreso menores incluso en el largo plazo. El resultado sobre la desigualdad entre países se atribuye, en particular, a las dificultades o facilidades para la transferencia y apropiación de la nueva tecnología.

El motor para el crecimiento sostenido identificado en otros estudios, es en el fondo muy similar al anterior. Por ejemplo, en 1994, Helpman y Trajtenberg desarrollaron un modelo teórico que explica el crecimiento, la productividad y los ciclos a través del desarrollo de tecnologías de aplicación general; al cual se hará referencia más adelante.

### *Tecnologías de Propósito General*

Varios estudios (Youtie, Iacopetta & Graham, 2008; OCDE<sup>1</sup>; van Zon, Fortune, y Kronenberg, 2003; Afonso y Aguiar, 2005) coinciden en que las llamadas *tecnologías de propósito general* (TPG) tienen consecuencias importantes sobre el crecimiento económico y la productividad de un país.

---

<sup>1</sup> Siglas para: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.

Afonso y Aguiar (2005) realizan una simulación de la difusión, dentro y entre países, de una TPG en una dinámica de equilibrio general. De sus resultados se extrae que, una vez lograda la difusión exitosa de una TPG a través de varios sectores y países, se logran considerables mejoras en la productividad que implican un incremento en la tasa de crecimiento mundial, modificando el estado estacionario de la economía a nivel global.

En 1994, Helpman y Trajtenberg desarrollaron un modelo teórico<sup>2</sup> que separa el impacto de las *tecnologías de propósito general* sobre la economía en dos etapas. La primera conduce a un pobre crecimiento, o incluso contracción, de la producción y la productividad; en tanto que en la segunda se observa una recuperación y crecimiento sostenido en el largo plazo. Los autores explican la dinámica de largo plazo por medio de ciclos que comprenden estas dos etapas y que se repiten con la llegada de nuevas TPG. De acuerdo a los resultados del modelo, la tasa de crecimiento de la economía durante todo el ciclo está determinada por la tasa de progreso de la TPG.

David (1990), Bassanini-Scarpetta-Visco (2000) y Youtie-Iacopetta-Graham (2008) coinciden con Helpman-Trajtenberg (1994) en que la aparición de una *tecnología de propósito general* suele ser seguida por un periodo de estancamiento o caída en la productividad. Esto debido a la reasignación de recursos de la actividad productiva regular, al desarrollo de tecnologías complementarias a la TPG en la industria (Youtie, Iacopetta & Graham, 2008, p 321).

Un estudio de la OCDE ilustra, con los datos disponibles: 1) La relación entre los inicios de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) y un periodo de ralentización de la productividad en Estados Unidos. 2) La subsecuente aceleración de la productividad, vinculada con la diseminación de las TICs a varios procesos productivos. El análisis concluye que la evidencia empírica del desarrollo de las TPGs y la productividad es consistente con la teoría de ciclos y crecimiento en esta materia (Bassanini, Scarpetta & Visco, 2000, p 28).

Más tarde van Zon, Fortune, y Kronenberg (2003) propusieron un modelo de crecimiento endógeno dónde, nuevamente, la dinámica de crecimiento de largo plazo, incluyendo los ciclos, es explicada por el surgimiento de TPGs. Pero dicho trabajo se centra en la importancia de los factores que dan origen a las nuevas TPGs y que provocan su desarrollo exitoso. Factores que, a su vez, determinan la magnitud de los ciclos económicos y la transición entre ellos. Sin embargo, este estudio llega a resultados distintos en cuanto al efecto de las TPGs sobre el movimiento de los ciclos. Las simulaciones del modelo sugieren que el impacto inmediato sobre el crecimiento es positivo,

---

<sup>2</sup> Este modelo de crecimiento es exógeno pues no explica el surgimiento de la TPG.

durando un par de décadas, y que es en la segunda etapa que se registra un declive del crecimiento que propicia las condiciones para el surgimiento de una nueva TPG.

### ¿Cómo identificar una TPG?

Aunque puedan existir pequeñas diferencias entre los términos utilizados de un autor a otro, Helpman-Trajtenberg (1994), Graham-Iacopetta (2009) y Youtie-Iacopetta (2008), entre otros, caracterizan a las *tecnologías de propósito general* con tres componentes básicos: *permeabilidad*<sup>3</sup>, existencia de *margen de mejora*, y tener la capacidad de diseminar innovación a lo largo de la economía por medio de *complementariedades* con la tecnología que se emplea en los sectores de aplicación.

En el proceso de identificación de TPGs, uno de los métodos más usados para evaluar *permeabilidad*, diseminación de innovación a tecnologías complementarias y *el margen de mejora*, ha sido el análisis de patentes. Trabajos como los de Hall-Trajtenberg (2004) y Moser-Nicholas (2004) se basan únicamente en el número de citas de las patentes y en si éstas ocurren dentro o fuera del área en que se originan (Youtie, Iacopetta & Graham, 2008, p 323).

Para medir la *permeabilidad* de una tecnología Hall y Trajtenberg (2004) han construido un índice de generalidad definido como  $G_i = 1 - \sum S_{ij}^2$ . Donde el segundo término es un índice que refleja la concentración de las citas de una patente a través de las distintas áreas o clases de patentes<sup>4</sup>.

Sin embargo, de acuerdo a Youtie, Iacopetta y Graham (2008) cuando se estudian tecnologías emergentes, no se cuenta con un historial de registro de patentes lo suficientemente grande para tener un panorama completo de su utilidad para el desarrollo de patentes futuras. De igual modo, sugieren que los resultados de los estudios basados únicamente en análisis de patentes pueden estar sesgados a favor de las tecnologías de mayor base científica (Youtie, Iacopetta & Graham, 2008, p 323), lo cual no es necesariamente característica de una *tecnología de propósito general*.

Por otra parte, tanto Jovanovic-Rousseau (2005), como Youtie-Iacopetta-Graham (2008) sugieren que existen factores observables que pueden interpretarse como una señal de que existe *margen de*

---

<sup>3</sup> Implica que la tecnología es empleada como insumo en una amplia gama de sectores.

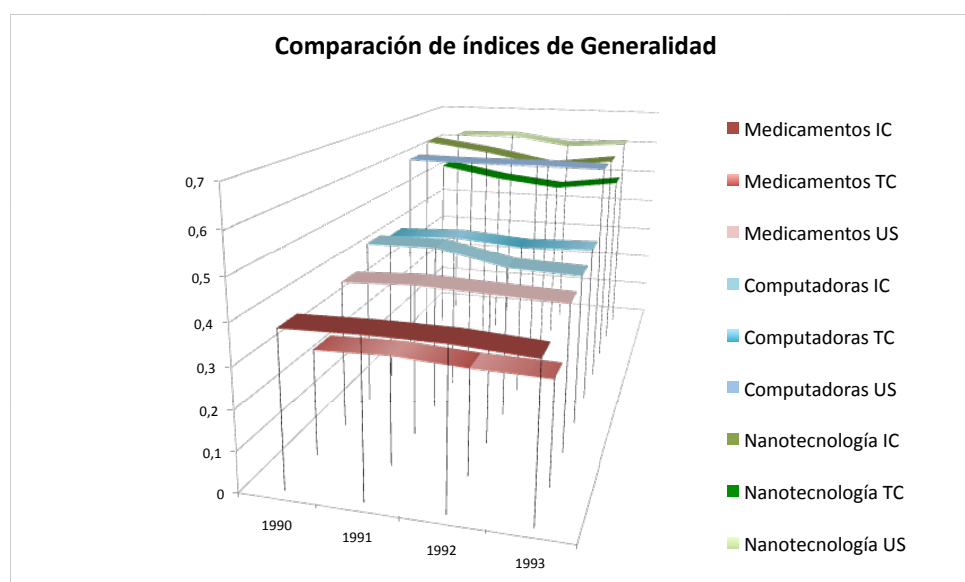
<sup>4</sup>  $\sum S_{ij}^2$  está basado en el índice de concentración Herfindahl-Hirschman.  $S_{ij}$  indica la proporción del total de citas de la patente  $i$  que se realizaron en patentes del área  $j$ . De modo que si las citas están dispersas a lo largo de diversas clases de patentes, el índice de concentración se reduce y el índice de generalidad aumenta. (Hall & Trajtenberg, 2004, p 9)

mejora, como la caída en precios del equipo necesario para el desarrollo de la tecnología en cuestión.

### Nano & TPG

Youtie-Iacopetta-Graham (2008) y Huang (2003) entre otros, han realizado estudios para determinar la *permeabilidad*, *diseminación* de la innovación y *margen de mejora* de la nanotecnología, con base en el análisis de patentes.

Una vez que se lograron compilar suficientes años de registro de patentes en el campo de las NCT, Youtie, Iacopetta y Graham (2008) realizaron un análisis empleando el índice propuesto por Hall y Trajtenberg (2004). Los resultados, proporcionan información significativa en favor de la caracterización de las NCT como TPG; pues sugieren que éstas tienen un alto grado de *permeabilidad*. Al compararse los índices de generalidad de las patentes de NCT con aquellos de medicamentos y TICs (siendo los primeros una tecnología que no es de propósito general y la segunda una ya reconocida TPG) se encontró que son claramente mayores que los de la industria farmacéutica e incluso considerablemente mayores que los estimados para las tecnologías de la información (Youtie, Iacopetta y Graham, 2008, p 325).



Fuente: Jan Youtie et Maurizio Iacopetta & Stuart Graham, 2008. Tabla 1 p 326  
IC: Índice de Generalidad estimado usando la Clasificación Internacional de Patentes.  
TC: Índice de Generalidad estimado usando clases del NBER.  
US: Índice de Generalidad estimado usando clases de la USPTO.



Youtie, Iacopetta y Graham (2008) afirman que existen otros indicadores que arrojan evidencia de que existe margen de mejora en el campo de las NCT. Ejemplos de esto son la rápida reducción<sup>5</sup> de la escala<sup>6</sup> a la que se fabrican los productos nanoestructurados y la considerable disminución de costos de instrumentos empleados en su desarrollo. Los autores afirman, también, que hay evidencia de *diseminación de innovación y complementariedades* en la cadena de productos nanotecnológicos (Youtie, Iacopetta & Graham, 2008, p 318-319).<sup>7</sup>

## **Marco Teórico**

### *Crecimiento y TPG*

El sustento teórico que motiva a realizar un análisis empírico del impacto de una potencial TPG (en este caso las NCT) sobre el crecimiento económico, se basa en la teoría de crecimiento endógeno propuesta por van Zon, Fortune y Kronenberg en 2003. Un modelo que combina componentes de los trabajos sobre crecimiento y cambio tecnológico de Romer (1990) y de Aghion-Howitt (1992). El modelo se basa en las nociones de creación destructiva para bienes intermedios e innovación para expansión de variedad.

El aporte fundamental de esta modelización es que incorpora dos clases de innovación: la TPG y aquellas que la complementan o mejoran. Desde el enfoque de la teoría económica de crecimiento, la distinción principal entre una tecnología de propósito general y el resto del cambio técnico es su naturaleza drástica y permeable (pues se asume que ocurre en todos los bienes intermedios) mientras que el resto del progreso técnico es incremental y se basa en la TPG (van Zon, Fortune & Kronenberg, 2003, p 4).

De modo que el modelo considera el empleo simultáneo de distintas tecnologías (centrales y periféricas) que, además, tienen calidades diferentes; tal hecho está representado por su

---

<sup>5</sup> Reducción a la mitad en lapsos menores a tres años.

<sup>6</sup> No en cantidad, sino en tamaño.

<sup>7</sup> Un caso muy representativo de estas características es la cadena de valor de los Nanotubos de Carbono, empleados en la fabricación de recubrimientos que a su vez tienen aplicaciones en las industrias: electrónica, automotriz, textil, de construcción, de fabricación de aviones y de aparatos electrodomésticos, entre otras.

contribución asimétrica al producto. La asimetría entre los bienes intermedios y las diferencias en el margen de extensión de cada TPG implican, a su vez, asimetría en la contribución de cada TPG al producto; dinámica que lleva a un continuo reacomodo de recursos y creación de nuevas TPGs dando cabida al crecimiento de largo plazo.

La función de producción para el bien final puede verse de la siguiente forma:

$$Y = L_y^{1-\alpha} K_e^\alpha$$

Donde  $L_y$  es el trabajo dedicado a la producción del bien final y  $K_e$  es el capital efectivo. La clave del modelo está en la definición de capital efectivo, expresado como una función cóncava de las TPGs. Más adelante se explorará su relación con el capital físico.

Como el modelo considera diferencias de “calidad” entre *tecnologías periféricas* (TPs) y, a su vez, asimetrías en la contribución de cada TPG al producto final, es necesario expresar tales diferencias en el capital efectivo:

$$K_e = \left( \sum_{j=1}^A \left( \sum_{i=0}^{A_j} c_{i,j} \cdot x_{i,j}^\alpha \right) \right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

Las distinciones mencionadas pueden observarse en  $c_{i,j}$  que varía según la TPG  $j$  a la que pertenezca la TP  $i$  y según el orden de aparición dentro de la misma TPG. Específicamente, si se trata de la innovación básica que da comienzo a la TPG (y permite el desarrollo de sus TPs)  $i$  será igual a 0. Esto, como se verá más adelante, implicará asimetrías en los beneficios de las empresas que producen la innovación (van Zon, Fortune & Kronenberg, 2003, p 5).

Antes que nada, es necesario hallar la producción óptima de innovaciones asociadas a una TPG, para lo cual hay que conocer antes la demanda de las firmas encargadas de la creación de bienes finales por tales tecnologías. Lo anterior se debe al supuesto en el modelo de que hay rentas monopólicas de la comercialización de la innovación en los sectores intermedios; cosa que implica que quién descubre la innovación no es tomador de precios, sino que su decisión óptima depende de la demanda por dicha creación.

Para obtener la demanda de innovaciones, primero hay que resolver el problema de optimización de las empresas del bien final<sup>8</sup>. Utilizando el supuesto de que en el mercado de bienes finales las empresas son tomadoras de precios, la demanda ( $x_{ij}^d$ ) por innovaciones complementarias de la TPG, surge del proceso de maximización de beneficios<sup>9</sup>.

Así, sustituyendo el capital efectivo  $Ke$  en la función de producción<sup>10</sup> se tiene lo siguiente:

$$\text{Max}_{x_{ij}} \quad \Pi = L_y^{1-\alpha} \sum_{j=1}^A \sum_{i=0}^{A_j} c_{ij} \cdot x_{ij}^\alpha - \sum_{j=1}^A \sum_{i=0}^{A_j} p_{ij} \cdot x_{ij}$$

$$x_{ij}^d = \left( \frac{\alpha \cdot c_{ij}}{p_{ij}} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \cdot L_y$$

En seguida se puede considerar el proceso de maximización de bienes intermedios:

$$\text{Max}_{x_{ij}} \quad \pi_{ij} = p_{ij} \cdot x_{ij} - \eta_j \cdot r \cdot x_{ij}$$

Donde  $p_{ij}$  ahora es una función de la cantidad demandada de la innovación  $x_{ij}$ ,  $\eta_j$  son las unidades de capital bruto empleadas para la creación de la innovación incremental  $x_{ij}$ , en tanto que  $r$  es la tasa de interés. Resolviendo el problema de maximización para las empresas de bienes intermedios se obtiene el precio óptimo<sup>11</sup>:

$$p_{i,j} = \frac{r \cdot \eta_j}{\alpha}$$

y los beneficios de la producción de la mejora tecnológica  $i$  para la TPG  $j$  son:

$$\pi_{ij} = L_y \cdot c_{ij}^{\frac{1}{1-\alpha}} \cdot (1-\alpha) \cdot \alpha^{\frac{(1+\alpha)}{(1-\alpha)}} \cdot (\eta_j \cdot r)^{-\frac{\alpha}{(1-\alpha)}}$$

Sin embargo, una de las características distintivas de este modelo está en su descomposición de los coeficientes para cada innovación periférica  $c_{ij}$  y la implicación que esto tiene sobre sus

<sup>8</sup> Por simplicidad se ha normalizado a uno el precio del bien final.

<sup>9</sup> Detalles algebraicos en Apéndice B.

<sup>10</sup> Donde el primer término de la sustracción es el ingreso de la empresa representativa de bienes finales, en tanto que el segundo término se refiere a sus costos.

<sup>11</sup> Detalles en Apéndice B.

rendimientos en la función de producción. Los autores asumen que dichos coeficientes dependen negativamente del lugar que ocupa el componente  $i$  en el orden de aparición de las innovaciones complementarias tras la llegada de la TPG.

Más específicamente, los autores lo definen como:

$$c_{ij} = c_{0j} \cdot \zeta_j^i \quad 0 < \zeta_j < 1$$

Es decir, mientras más innovaciones complementarias se hayan hecho con base en la transformación tecnológica original, la aportación de las nuevas mejoras a la producción es cada vez menor (van Zon, Fortune & Kronenberg, 2003, p 15).

De forma que, al sustituir la última ecuación en los beneficios  $\pi_{ij}$ , se encuentra que estos son decrecientes con respecto al número de mejora  $i$  de la TPG que hace uso de la innovación en cuestión.

Como se vio antes, la producción de innovación puede dividirse en dos sectores, aunque ambos funcionan bajo la misma lógica: el que se dedica a la investigación básica, es decir, a encontrar una nueva TPG, y el que se dedica a desarrollar innovaciones periféricas. De la misma forma, la fuerza laboral dedicada al sector de innovación ( $L_I$ ) se divide en estos dos grupos; sin embargo, tiene libre movilidad y puede pasar de uno a otro dependiendo de los rendimientos esperados (y, por tanto, de los salarios) en cada una de estas actividades (van Zon, Fortune & Kronenberg, 2003, p 16).

De forma similar al modelo de Aghion-Howitt (1992), la llegada de una innovación es un proceso aleatorio según la distribución de *Poisson*, con una tasa de llegada  $\lambda$ , y la probabilidad de hallar una innovación con aplicación productiva en un periodo de duración  $T$  es  $F(T) = 1 - e^{-\lambda \cdot T}$ .

Además, si se considera un intervalo de tiempo  $T$  muy pequeño, es decir,  $T \rightarrow 0$  entonces la probabilidad de que ocurra la innovación en ese corto periodo es  $\lambda$ . Sin embargo, en este modelo se consideran distintas tasas de llegada dependiendo de si se trata de una TPG o de una TP. Claramente la aparición de una TPG siempre será más incierta que la de una TP, por lo que se espera una probabilidad menor para la primera:  $\lambda_0 < \lambda_i, \forall i > 0$ .

Esta especificación es importante en el modelo pues, en la toma de decisiones lo que se considera es el valor presente de los beneficios esperados (vpBe) de dedicarse a desarrollar una nueva TPG o una nueva tecnología periférica.

Este último puede verse como:

$$vpBe_{ij} = \frac{\pi_{ij}}{r} \cdot \lambda_i \quad i = 0, 1, \dots$$

Donde la tasa de llegada de la innovación ( $\lambda_i$ ) depende de la fuerza laboral dedicada a descubrir la TPG/TP  $L_{1,i}$ , de la productividad de la fuerza laboral en el campo  $\delta_i$ , y del parámetro de frecuencia de llegada por unidad de investigación efectiva<sup>12</sup>  $\mu_i$ . Aquí, hay que tomar en cuenta que si  $i = 0$  entonces se trata de la tasa de llegada de una TPG, mientras que, si  $i > 0$  se trata de la tasa de llegada de una TP.

La ecuación anterior se puede reescribir como<sup>13</sup>:

$$vpBe_{ij} = \frac{\pi_{ij}}{r} \cdot \mu_i \cdot \delta_i \cdot L_{1,i}^\beta$$

Para el caso particular del  $vpBe$  de crear una nueva TPG, se tendría  $i=0$  y  $j=A+1$ , con A igual al número total de TPGs realizadas. En tanto que en el  $vpBe$  de crear una nueva TP para la TPG  $j$  se tendría  $i=A_j+1$ , con  $A_j$  igual al número de TPs para la TPG  $j$  existente hasta la fecha. Así, los beneficios marginales de dedicarse a buscar una TP o una TPG son, respectivamente:

$$\frac{\partial vpBe_{A_j+1,j}}{\partial L_{1,A_j+1}} = \beta \pi_{A_j+1,j} \cdot \mu_j \cdot \delta_j \cdot L_{1,A_j+1}^{\beta-1} \quad y \quad \frac{\partial vpBe_{0,A+1}}{\partial L_{1,0}} = \beta \pi_{0,A+1} \cdot \mu_0 \cdot \delta_0 \cdot L_{1,0}^{\beta-1}$$

Los retornos positivos, pero decrecientes, del factor trabajo en cada campo hacen que siempre haya personal en ambas áreas, a pesar de la continua movilidad.<sup>14</sup> Además, la colocación óptima de los investigadores debe ocurrir cuando los retornos de una unidad más de trabajo dedicado a descubrir una TP sean iguales a los de dedicarla a descubrir una TPG. Luego, se obtiene la siguiente relación:

<sup>12</sup> En este caso la unidad de I+D efectiva es  $L_{1i}^e = \delta_i \cdot L_{1i}^\beta$

<sup>13</sup> Esto se obtiene tras sustituir la definición de la tasa de llegada y del trabajo efectivo en I+D, dada por van Zon, Fortune & Kronenberg (2003) en la ecuación del valor presente esperado de los beneficios de la empresa del sector intermedio.

<sup>14</sup> Esto es claro cuando se observa que el retorno marginal de una unidad laboral más cuando el trabajo en alguno de los campos es igual a cero, es infinito.

$$\frac{L_{I,A_{j+1}}}{L_{I,0}} = \left( \frac{\pi_{A_{j+1},j} \cdot \mu_j \cdot \delta_j}{\pi_{0,A+1} \cdot \mu_0 \cdot \delta_0} \right)^{\frac{1}{1-\beta}}$$

Como es de esperarse, qué tanto trabajo se dedica al sector de investigación básica depende de factores como la productividad del sector y de los beneficios esperados de comercializar una TPG en relación a los del sector de Investigación y Desarrollo (I+D) aplicados, y viceversa.

Algunos de los supuestos importantes especificados por van Zon, Fortune, y Kronenberg (2003) para esta parte son que los mercados laborales se vacían y que la cantidad de trabajo de I+D está dada. Además, los autores no consideran la depreciación del capital físico y asumen que los mercados financieros son perfectos.

Luego, el modelo considera una dinámica de acumulación de capital físico de corte neoclásico donde, el aumento en el capital físico es una proporción del producto; específicamente es el ahorro, la parte de la producción que no se dedica a consumo. Pero es importante recordar que aquí el producto final no depende directamente del capital físico, sino del capital efectivo  $K_e$ .

Sustituyendo la cantidad de bienes intermedios  $x_{ij}$  para la TPG  $j$  en la definición de capital efectivo por su equivalente en insumos de capital físico, se puede observar la relación entre el capital efectivo generado por la TPG  $j$  y el capital físico bruto empleado en ella, quedando expresada de la siguiente forma<sup>15</sup>:

$$K_e^j = K_j \cdot \frac{c_{o,j}^{1/\alpha}}{\eta_j} \left\{ \frac{1 - \zeta_j^{1+A_j}}{1 - \zeta_j} \right\}^{\frac{1}{\alpha}}$$

A través de ésta ecuación queda clara la dependencia de la productividad del capital físico (el segundo término) de algunas características básicas de las TPGs como el *margen de mejora*, que puede constatarse en la dependencia negativa del costo del capital físico empleado para producir la tecnología  $\eta_j$ ; la existencia de *complementariedades*, capturada en la relación positiva de dicha productividad con el número de TPs  $A_j$  (recordemos que  $0 < \zeta_j < 1$ ); o bien, su *permeabilidad* en los procesos productivos, cualidad que puede aproximarse a través de la contribución positiva  $c_{o,j}$

<sup>15</sup> Para los detalles sobre la obtención de esta ecuación refiérase al Apéndice B.

de la TPG a la productividad del capital bruto y de la dependencia positiva del margen de extensión  $\zeta_j$  de la TPG.

Así, de acuerdo a van Zon-Fortune-Kronenberg (2003) el motor del crecimiento son las TPGs, siendo éstas las que determinan la productividad del capital físico; y dicho motor puede separarse en dos componentes: el impacto en el crecimiento por la variedad de TPGs existentes y el impacto en la productividad (y, por tanto, sobre el crecimiento) del número de TPs existentes para cada TPG.

Lo anterior es posible porque, a diferencia del modelo de Romer (1990), la productividad de cada “bien intermedio”  $i$  no es simétrica y su contribución al producto es decreciente con respecto a su orden de aparición; y, a diferencia del modelo de Aghion-Howitt (1992), la aparición de una nueva TPG frena la expansión de la anterior pero no destruye completamente su participación en el producto.

De esta forma, la llegada de una nueva TPG exitosa dispara la productividad y el crecimiento pero la rentabilidad de seguir creando TPs para ésta se vuelve cada vez menor y, cuando comienzan a agotarse los retornos a la inversión en TPs para la TPG  $j$ , se vuelve más rentable dedicar recursos a encontrar una nueva TPG que impulse el crecimiento. De esta dinámica se obtiene un comportamiento cíclico en la productividad y el crecimiento.

Ya se han venido anunciando las limitaciones en el margen de mejora de las Tecnologías de la Comunicación y la Información, así como su rescate por la Nanotecnología al remplazar componentes básicos como los transistores actuales por unos basados en *nanotubos de carbono*<sup>16</sup> que permiten seguir aumentando la eficiencia de las TICs. De modo que la teoría propuesta por van Zon-Fortune-Kronenberg (2003) logra dar una explicación, en buena medida, a las expectativas globales sobre la importancia de la Nanotecnología para el crecimiento futuro.

---

<sup>16</sup> *Material nanoestructurado que presentan gran resistencia a condiciones adversas, e importantes propiedades térmicas y eléctricas.*

### **III. Análisis Empírico**

#### *Los Datos*

En este estudio se trabajó con una base de datos de panel desbalanceado para varios países con un horizonte temporal corto. Esto se debe a que el objeto de estudio es el impacto del gasto público en una ciencia emergente sobre otras variables macroeconómicas y dicho gasto comenzó muy pocos años atrás.

La base que se utilizó para estudiar las relaciones con el crecimiento y la productividad laboral consiste en un panel desbalanceado para 15 países; en tanto que la empleada para estudiar la relación del gasto en NCT sobre la productividad total de los factores fue un panel desbalanceado con 16 países. Sin embargo, en la regresión de productividad el panel se reduce al análisis de 8 países, debido a la pérdida de observaciones provocada por el corto horizonte temporal que abarcan los datos y el empleo de variables rezagadas.

Gran parte de los datos empleados se obtuvieron de las bases de la OCDE, del Banco Mundial y de la UNESCO; en particular de sus indicadores económicos y de ciencia y tecnología. Sin embargo, la variable de estudio (el gasto público en NCT) no pudo ser obtenida de una base estandarizada, como el resto de los datos, que permita realizar comparaciones entre países fácilmente. Como aproximación se utilizaron cifras oficiales de gasto público anual en iniciativas nacionales en NCT, provistas por los gobiernos de cada país o en publicaciones de organismos internacionales como la OCDE y la Unión Europea. Fuentes que podrán encontrarse en el *Apéndice A*.

Es importante recalcar que además de esto, la dificultad para recopilar suficientes cifras en el campo, por la confidencialidad de este gasto en varios países y por el corto horizonte temporal de las mismas NCT, implica una importante limitante en los datos que debe ser tomada en cuenta en todo momento al considerar los resultados de este estudio.

No obstante, se espera que el *Working Party on Nanotechnology*, en coordinación con la Organización Internacional para la Estandarización y el grupo de Expertos en Indicadores de Ciencia y Tecnología de la OCDE, publique un Marco Estadístico para la Nanotecnología en el

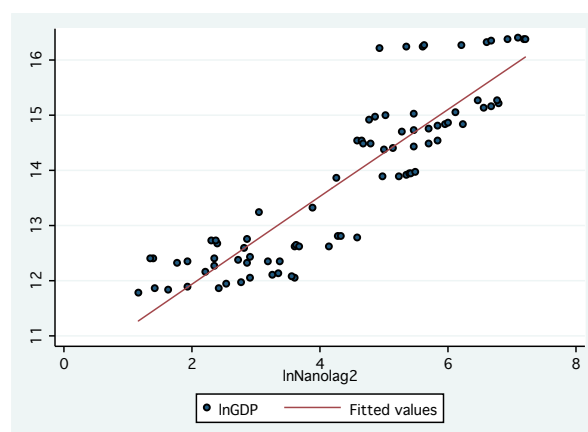
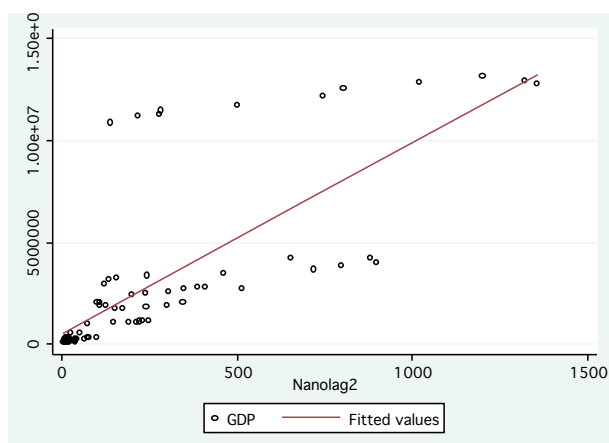


curso de 2011 y provea de más indicadores en materia de NCT comparables entre países. Esto permitirá obtener estimadores más confiables en el corto plazo.

### Correlaciones

Antes de pasar al análisis econométrico e intentar evaluar el impacto del gasto público en NCT sobre algunas variables macroeconómicas, se examinarán brevemente las correlaciones entre éstas. Lo anterior con la intención de identificar de antemano si los datos de gasto público en NCT recopilados presentan una relación positiva o negativa con el crecimiento y la productividad, y así tener una idea más clara de lo que debe esperarse de las estimaciones.

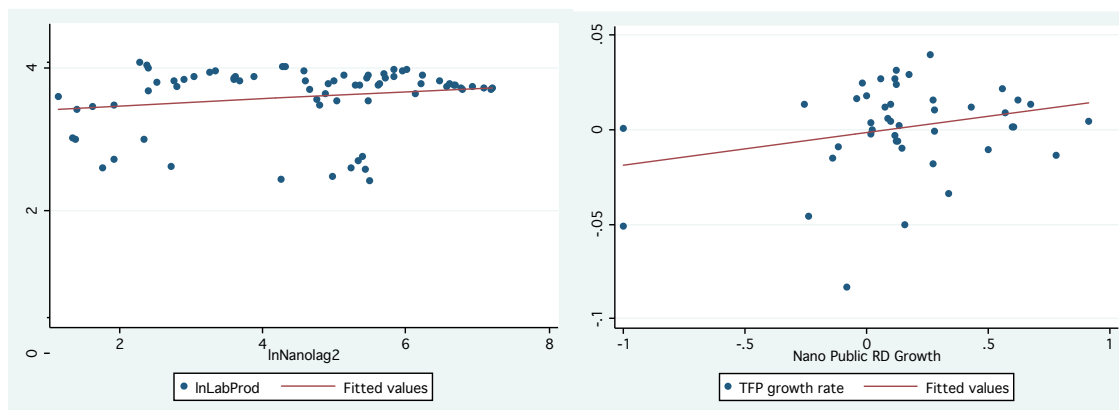
El coeficiente de correlación entre los datos de gasto en NCT para dos periodos anteriores<sup>17</sup> y el PIB real del periodo actual es de .7635 e indica una relación positiva no muy sorprendente. Cuando se toma la correlación entre los logaritmos de las variables la relación lineal parece ser más fuerte, alcanzando un coeficiente de .8959.



Sin embargo, salta a la vista la existencia de tendencias separadas por países, esto se observa de forma más clara al poner atención al *plot* de la izquierda. Por ejemplo, en la parte superior se distingue el caso de Estados Unidos, que destaca con el tamaño de su economía y un horizonte temporal más significativo que para el resto de los países. De esto puede extraerse que dentro de cada país la correlación entre estas dos variables debe ser menor. En este contexto es claro que es necesario especificar una regresión adecuada para controlar por las diferencias entre países y, probablemente, por la dinámica de las variables en el tiempo.

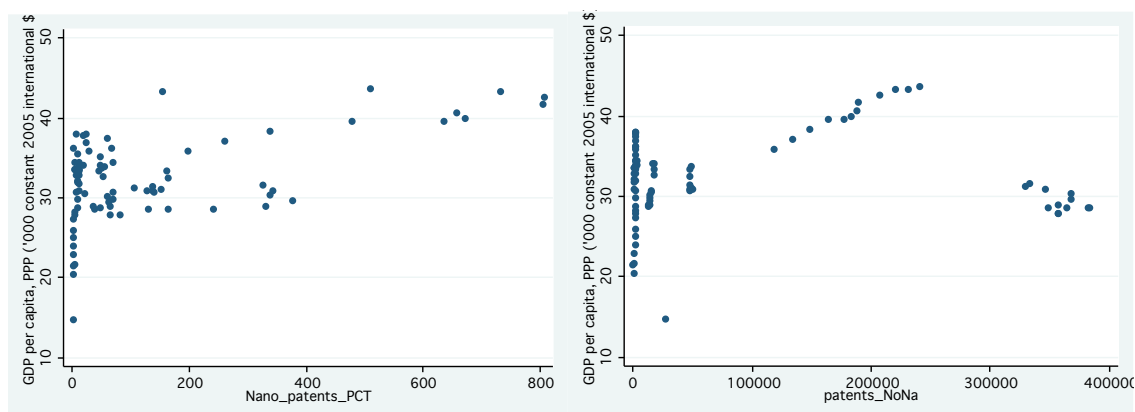
<sup>17</sup> Se utiliza un rezago de dos periodos pues el gasto público en I+D siempre tarda más tiempo que el privado en traducirse en aplicaciones productivas, y se considera que todo gasto privado en I+D tarda al menos un año en dar resultados en la producción.

En cuanto a la correlación del gasto en NCT con indicadores de productividad, la relación parece ser bastante más débil, siendo apenas de 0.1863 con la productividad laboral (aproximada como producto por hora trabajada) y de 0.2352 con un indicador de productividad total de factores.

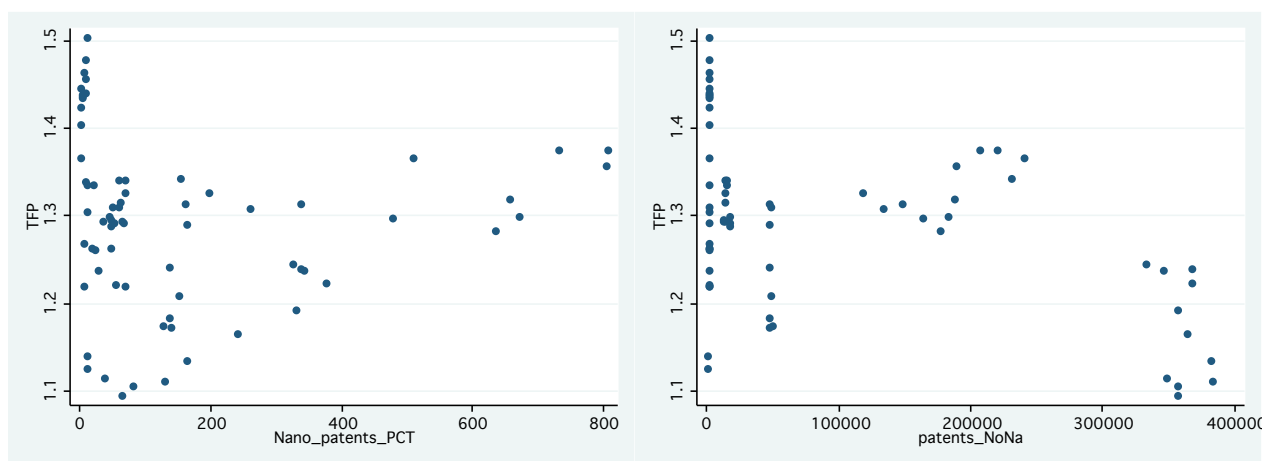


No obstante, sugieren una relación positiva que debe verificarse a través del análisis econométrico que se expondrá más adelante.

Con la intención de explorar la relación entre otro indicador de producción nanotecnológica (en este caso las patentes de NCT) con el PIB y la productividad se realizaron los siguientes *plots*:



Los dos anteriores buscan comparar la relación del PIB *per cápita* con las patentes nanotecnológicas y con las patentes no-nanotecnológicas. Para las patentes de NCT se encuentra un coeficiente de correlación positivo de 0.5433, en tanto que para el resto de las patentes se obtiene un coeficiente de 0.1074. Sin embargo, con una simple correlación no puede hablarse de relaciones de causalidad, y es bastante razonable pensar que lo que esto sugiere es que son exclusivamente los países muy avanzados y con mayor PIB *per cápita* los que más patentes nanotecnológicas logran producir.



A simple vista los dos últimos *plots* muestran una relación muy similar, de ambos grupos de patentes con la productividad, a la que presentaban con el PIB *per cápita*. Sin embargo, ambos coeficientes de correlación resultan negativos. Esto se debe posiblemente a que las observaciones de Japón parecen salirse de la norma. Como se mencionó anteriormente, para evitar este tipo de problemas, es necesario correr las regresiones correspondientes considerando datos de tipo *panel dinámico*.

### Metodología

El modelo empleado en el análisis empírico, se basa en un modelo de I+D y productividad propuesto anteriormente en Guellec y van Pottelsberghe (2001), donde se evalúa el impacto del gasto doméstico en I+D sobre un indicador de productividad.

Por el tipo de datos que se emplearon, se corrieron regresiones con efectos aleatorios y, tras verificar su pertinencia con pruebas de *Breusch-Pagan* y *Hausman*, se prosiguió a correrlas con efectos fijos. En la mayoría de los casos, el estimador más pertinente parece ser el de efectos fijos, por lo que reportar las estimaciones de efectos aleatorios se consideró innecesario.

Además, dada la naturaleza dinámica del modelo y que, cuando se trabaja con variables como el producto o indicadores de productividad es razonable esperar que su nivel actual esté altamente correlacionado con su nivel en periodos anteriores, se utilizó para ambos modelos una regresión de panel dinámico sin intercepto y con errores estándar consistentes con *heteroscedasticidad*.

### *Elección de las variables*

Existen diversas formas para la creación y transmisión del cambio técnico, como pueden ser el aprendizaje por la práctica<sup>18</sup>, el diseño de bienes intermedios<sup>19</sup> o la mejora de bienes intermedios ya existentes<sup>20</sup>. Sin embargo, es razonable pensar que son necesarios esfuerzos sistemáticos en I+D para que alguna de éstas ocurra. Una de las variables agregadas que suele emplearse en estudios empíricos para aproximar dichos esfuerzos es el gasto en I+D a nivel país. De acuerdo a Guellec y van Pottelsberghe (2001) dicho gasto se traduce en nuevos bienes y procesos, cosa que lo hace un indicador adecuado de la creación de mejoras técnicas.

Para evaluar el impacto del gasto en I+D sobre la productividad, el artículo original considera la posibilidad de tener efectos diferenciados dependiendo de la fuente de financiamiento de la I+D y descompone dicho gasto en tres variables a incluir en la regresión: gasto público, privado y extranjero. Además, en este estudio, se dividió el gasto público entre el gasto dedicado a I+D en NCT y el dedicado al resto de las áreas; nuevamente con el objetivo de considerar rendimientos distintos sobre la productividad de la I+D asociada a las NCT y aquella que no lo está.

La principal razón por la que en el análisis se considera únicamente el impacto del gasto público en nano-I+D<sup>21</sup> es la dificultad de recopilar datos del gasto privado en nano-I+D, información aún considerada como confidencial para una gran porción de las firmas que lo ejercen. Lo anterior, en consecuencia, implica complicaciones aún mayores para recopilar cifras agregadas de la variable nano-I+D.

Además, el papel del gasto público en la materia no es de ninguna manera irrelevante, pues es éste el que suele proporcionar las bases del conocimiento que permiten el desarrollo de la I+D privada<sup>22</sup> en un área particular.

---

<sup>18</sup> ver Arrow (1962) y Romer (1986)

<sup>19</sup> ver Romer (1990)

<sup>20</sup> ver Aghion-Howitt (1992) y Grossman-Helpman (1993)

<sup>21</sup> Investigación y Desarrollo dedicado a las nanociencias y nanotecnologías.

<sup>22</sup> Para más información acerca de los impactos directos e indirectos del gasto público en I+D sobre la productividad y de sus mecanismos de transmisión, verificar: OCDE (2001), ADAMS, J. (1990) y Baghana, R. (2010).

### Productividad

Como se mencionó anteriormente, la estructura del modelo empleado se tomó de un estudio empírico realizado por Guellec & van Pottelsberghe (2001) que consiste, originalmente, en una función Cobb-Douglas expresada de la siguiente forma<sup>23</sup>:

$$PTF_{it} = \exp(\varepsilon_{it}) IDPR_{it-1}^{\beta_{pr}} \cdot IDE_{it-1}^{\beta_E} \cdot IDPN_{it-2}^{\beta_{PN0N}} \cdot IDPN_{it-2}^{\beta_{PN}} \cdot E_{it}^{\alpha_{Em}}$$

A diferencia del modelo original, en el presente estudio no se emplean *dummies* de país ni de año, debido al tamaño de la muestra. Dado que se emplea un panel desbalanceado con un horizonte temporal muy corto en el caso de varios países, incluido Alemania, no es relevante incluir la *dummy* para Alemania en 1991 como en el modelo de referencia.

Además, como se trata con países no demasiado heterogéneos, se consideró una regresión en niveles por la comodidad que implica interpretar los resultados en términos de los rendimientos de un dólar invertido en I+D sobre la productividad. Adicionalmente, se empleó una estructura de rezagos uniforme para todas las variables independientes para evitar que los efectos del ciclo económico sean capturados por una o más variables, ensombreciendo su verdadero impacto sobre la variable dependiente y, a su vez, para evitar problemas de *endogeneidad* entre variables como la productividad y el empleo.

En este caso, la variable  $PTF_{it}$  se refiere a la productividad total de los factores de producción en el país  $i$  durante el periodo  $t$ . Ésta fue estimada utilizando la definición general especificada en 2004 por la OCDE en las publicaciones de su base de datos de productividad, donde se expresa como el cociente de el PIB real entre el costo total de los factores<sup>24</sup>. Para ello se consideraron los datos de costo total del factor trabajo y la proporción del costo total del factor trabajo sobre el costo total de los factores; datos que se encuentran con facilidad en las bases de datos de la OCDE.

<sup>23</sup>Es importante recalcar que en la ecuación presentada ya se ha alterado el modelo original al realizar la descomposición del gasto público en I+D como se advirtió previamente. Otras alteraciones se realizaron al modelo debido a las características de los datos empleados y serán especificadas más adelante.

<sup>24</sup>Dicho cociente se obtuvo empleando los datos de la OCDE del PIB, inflación, tipo de cambio, costo total del factor trabajo y proporción del costo del factor trabajo en el costo total de los factores.

Las variables  $IDPr_{it-1}$  e  $IDE_{it-1}$  son, respectivamente, el gasto privado y extranjero en I+D dentro del país  $i$  durante el periodo  $t-1$ . Los datos para estas variables se tomaron de la base de datos de la OCDE *Main Science and Technology Indicators*.

La variable  $IDPN_{it-1}$  representa el gasto público en I+D en el campo de las NCT dentro del país  $i$  durante el periodo  $t-1$ . Los datos para esta variable fueron recolectados utilizando la información de publicaciones anteriores de la OCDE y reportes oficiales de acceso público de distintos gobiernos<sup>25</sup>. En el segundo caso, se emplearon las bases de datos de la OCDE para ajustar por inflación y poder de paridad de compra.

En tanto que la variable  $IDPN_{oN_{it-1}}$  representa el gasto público en I+D en campos distintos al de las NCT y se estimó restando la variable  $IDPN_{it-1}$  al gasto en I+D realizado desde el gobierno durante el periodo  $t-1$ , de acuerdo a los datos de la OCDE (2010).

Por último la variable  $E_{it-1}$  se refiere a la tasa de empleo y es utilizada por Guellec y van Pottelsberghe (2001) como proxy en el modelo para controlar por el efecto del ciclo económico. Lo anterior con base en la teoría macroeconómica, que asocia altas o bajas tasas de empleo dependiendo si la economía se encuentra por encima o por debajo del producto potencial<sup>26</sup>. Los datos nuevamente fueron tomados de las estadísticas de la OCDE y la variable se definió como 1 menos la tasa de desempleo.

En primera instancia, por tratarse de datos panel se corrieron dos regresiones: una estimación por mínimos cuadrados generalizados con efectos aleatorios y otra con efectos fijos, para controlar por características individuales que puedan estar correlacionadas con la productividad.

Tras realizar una prueba de *Hausman* se obtiene un estadístico de 7.26 con un *p-value* de 0.0265, que permite rechazar la hipótesis de que la diferencia en los coeficientes de las dos regresiones mencionadas no es sistemática. Así, pareció más apropiado emplear el estimador con efectos fijos y descartar efectos aleatorios.

---

<sup>25</sup> Dichas fuentes se presentan al final del documento en el Anexo A.

<sup>26</sup> ver Keynes (1936) *The General Theory of Employment, Interest and Money*. London: Macmillan (2007)

No obstante, como parece razonable considerar que la productividad actual dependa de su propio nivel en el periodo anterior, los estimadores obtenidos por las regresiones de efectos fijos y aleatorios estarían sesgados. Para evitar obtener errores estándar sesgados se utilizó también el método de *Arellano-Bond* con especificación para estimación con errores estándar robustos.

Luego, el modelo empleado para las regresiones toma la siguiente forma, donde  $PTF_{t-1}$  es la variable dependiente en el periodo anterior:

$$PTF_{it} = \rho PTF_{it-1} + \beta_{pr} IDPR_{it-1} + \beta_E IDE_{it-1} + \beta_{PN0N} IDPN0N_{it-1} + \beta_{PN} IDPN_{it-1} + \alpha_{Em} E_{it-1} + \varepsilon_{it}$$

A continuación se presentan los resultados de las dos estimaciones.

Variable dependiente PTF	Fixed Effects	Arellano-Bond (Robust SE)
<b><math>PTF_{t-1}</math></b>	<b>0.621992 ***</b> (.1752834)	<b>0.621992 ***</b> (.0745264)
<b><math>IDPN_{t-1}</math></b>	<b>5.91E-08 *</b> (3.45e-08)	<b>5.91E-08 ***</b> (1.31E-08)
<b><math>IDPN0N_{t-1}</math></b>	<b>2.2E-09</b> (5.87e-09)	<b>2.2E-09</b> (4.51E-09)
<b><math>IDE_{t-1}</math></b>	<b>2.37E-08 *</b> (1.36e-08)	<b>2.37E-08 ***</b> (8.2E-09)
<b><math>IDPr_{t-1}</math></b>	<b>4.77E-10</b> (9.90e-10)	<b>4.77E-10 ***</b> (1.33E-10)
<b><math>E_{t-1}</math></b>	<b>-0.74103 *</b> (.3841788)	<b>-0.74103 **</b> (.35075)
<b>Constant</b>	<b>1.094441 ***</b> (.2453808)	---
R2	0.4332	

A pesar de que, debido al tamaño de la muestra, los *rezagos* empleados son sumamente pobres, en ambos casos los coeficientes obtenidos son iguales para todas las variables independientes, cosa que permite proponer conclusiones un poco más robustas de los resultados. En especial, el hecho de que para ambas estimaciones el coeficiente del gasto público en nano-I+D sea positivo y significativo, al 10%, para efectos fijos, y al 1%, para *Arellano-Bond*, es consistente con la teoría de crecimiento de TPGs.

Más importante aún, es el hecho de que un dólar público invertido en NCT parece traducirse más eficazmente en mejoras en la productividad que un dólar público invertido en un área no relacionada con las NCT.

No obstante, con miras a obtener un poco más de evidencia en favor de esta hipótesis se realizó una prueba de *Wald* para probar la hipótesis nula de que ambos coeficientes son idénticos. Aunque para la regresión de efectos fijos esta hipótesis no puede rechazarse sino al 12.92% de significancia, al hacer la prueba para la estimación de *Arellano-Bond* la hipótesis se rechaza robustamente al .001% de significancia con un estadístico de 17.89. Lo anterior puede sugerir que efectivamente el coeficiente para el gasto público no relacionado con nanotecnología es menor que aquel que sí lo está.

Nuevamente, es necesario poner énfasis en la naturaleza y limitantes de los datos, que no permiten que estos resultados puedan tomarse como definitivos, pero sí parecen ser consistentes con la literatura relacionada.

#### *Análisis de Permeabilidad y Complementariedades*

Con fines únicamente descriptivos se realizó otro tipo de acercamiento para analizar el potencial impacto del conocimiento en NCT sobre la productividad (y por tanto sobre el crecimiento) con base en el análisis de los datos disponibles de patentes. A través de los *Main Science and Technology Indicators* de la OCDE es posible obtener el número de patentes del campo de las NCT y el total de las mismas.

Con tal información se realizó un ejercicio similar al anterior separando el total de patentes entre patentes de Nanotecnología y el resto. Luego, se corrió una regresión sencilla de efectos aleatorios del número total de patentes contra el número total de patentes del periodo previo pero dividido entre tipo de patentes de NCT y el resto; con la intención de verificar si la porción de patentes de Nanotecnología tiene en promedio un efecto mayor o menor que el resto de las áreas para producir más patentes en general. Es decir, para corroborar si existen efectos de *permeabilidad y diseminación*, a través de otras áreas, mayores que el promedio de los demás campos del conocimiento.



Los resultados de esta sencilla regresión arrojan un coeficiente de 20.4348 para el rezago de las patentes en NCT y uno de .9785 para el de las patentes de otros campos. Aunque ambos coeficientes son significativos al 1% es claro que la omisión de variables puede arrojar resultados equívocos. Con miras a explorar un poco más de cerca la diferencia entre ambos coeficientes se realizó nuevamente una prueba de *Wald* para verificar que sean realmente distintos y, efectivamente,

Variable dependiente <i>Patentes<sub>t</sub></i>	Random Effects
<i>Patentes_Nano<sub>t-1</sub></i>	20.4348 *** (4.8821)
<i>Patentes_NoN<sub>t-1</sub></i>	0.9785 *** (0.0076)
<i>Constante</i>	-167.5105 (1025.763)
<i>R<sup>2</sup></i>	0.8043

con un estadístico de 15.85 la hipótesis se rechaza incluso al .01% de significancia.

La estimación anterior, aunque modesta, ayuda a reforzar los resultados de la regresión de productividad presentada previamente, en cuanto a la presencia de características en las NCT que implican una mayor y veloz penetración de distintos procesos productivos. Así, con reservas de la calidad de los

datos, el resultado parece señalar que los efectos de *permeabilidad*, considerados en el modelo de TPGs de van Zon, Fortune y Kronenberg (2003), son mayores para campos como las NCT que para el promedio de las áreas. Dado que aquí se trata en particular con patentes, es razonable pensar que esto puede interpretarse como una medida razonable de los rendimientos del conocimiento nanotecnológico sobre la productividad, ya que el conocimiento patentado es normalmente aquel que tiene aplicaciones productivas más inmediatas.

Al explorar las relaciones entre el gasto público en I+D y ambos tipos de patentes (nanotecnológicas y no-nanotecnológicas) empleando nuevamente una regresión de efectos fijos muy sencilla, los datos parecen indicar que existe un *trade-off* entre el gasto público en NCT y el resto de las áreas. Lo anterior es bastante razonable pues es de esperarse que un nuevo campo del conocimiento absorberá recursos de los viejos. Este resultado es también consistente con la teoría de crecimiento propuesta en van Zon, Fortune y Kronenberg (2003) que contempla, no sólo la perfecta movilidad de recursos entre el sector de innovación básica y el de innovación aplicada, sino la existencia de un reacomodo de recursos desde las TPGs anteriores hacia la nueva TPG.<sup>27</sup>

<sup>27</sup> Los autores centran su atención en el efecto que dicho reacomodo de recursos tiene sobre el capital humano dedicado a estos sectores. Contemplan la movilidad de los investigadores como el principal indicador de un cambio en los beneficios esperados de invertir en cada TPG y, por tanto, de un cambio de los recursos invertidos, de facto, en cada TPG. De modo que es el *trade-off* de invertir en una u otra TPG (o bien, en uno u otro sector) quien conlleva al cambio de salarios de los investigadores y a su decisión de moverse de la producción de una innovación a otra. Para tener una visión más clara de este fenómeno puede revisarse la Figura 5 de van Zon, Fortune y Kronenberg (2003), que ilustra dicho *trade-off* para el caso del sector de TPs y se encuentra en el Apéndice C de este trabajo.

<i>Variable dependiente</i> <b>Patentes_Nano<sub>t</sub></b>	<i>FE</i>
<b>Nano_PRD<sub>-1</sub></b>	.00025 ** (0.0001)
<b>PRD_NoN<sub>-1</sub></b>	-9.45E-06 (7.13e-06)
<b>Constant</b>	312.2476 ** (147.4037)

<i>Variable dependiente</i> <b>Patentes_NoN<sub>t</sub></b>	<i>FE</i>
<b>Nano_PRD<sub>-1</sub></b>	-0.00898 (.0096)
<b>PRD_NoN<sub>-1</sub></b>	0.00426*** (.0007)
<b>Constant</b>	5305.43 (14370.51)

Por otro lado, si se comparan las dos últimas regresiones, un resultado importante es que el gasto en NCT parece ser menos efectivo en generar aplicaciones productivas específicas a la nanotecnología que el gasto no-nanotecnológico en generar aplicaciones productivas no vinculadas con las NCT.

Este último resultado puede deberse a la necesidad de infraestructura adecuada y a la presencia de un efecto escala del conocimiento previo en el mismo campo, para que el gasto en el área se traduzca más eficientemente en mejoras sobre la productividad y, por tanto, sobre el crecimiento.

A pesar de que el *trade-off* observado contempla únicamente el proveniente de la reasignación de recursos públicos, como se mencionó en la sección de *elección de las variables*, el gasto público en I+D suele sentar la base para la I+D privada. De modo que un reacomodo de recursos públicos hacia un área que requiera infraestructura y herramientas nuevas para su desarrollo, puede tener consecuencias adversas sobre la I+D privada e, indirectamente, sobre la productividad.

Para analizar tales consecuencias, se exploró el efecto del gasto público en NCT sobre la inversión privada en I+D considerando una interacción del PIB *per cápita* con dicho gasto. Esta interacción permitió identificar la presencia de un efecto escala del nivel de ingreso. Es decir, tal como se pensaba, el efecto del gasto público en nano-I+D por sí solo afecta negativamente a la cantidad de recursos que dedican los privados a la I+D en general; sin embargo, tiene efectos positivos si el país en cuestión cuenta con un nivel de ingreso suficientemente alto. Lo cual puede implicar que, para las empresas de estos países el costo de apropiación<sup>28</sup> de nuevas tecnologías es relativamente bajo.

A continuación se presentan los estimadores obtenidos donde  $LOGPIB_{t-1} * IDPN_{t-1}$  es la interacción del gasto público en nano-I+D con el logaritmo natural del PIB *per cápita*, la variable  $Investigadores_{t-1}$

<sup>28</sup> En cuanto a la adopción de nuevas herramientas y habilidades.

indica el número de investigadores en el país durante el periodo,  $Años\_Educ_{t-1}$  son los años medios de educación de la población,  $E_{t-1}$  es la tasa de empleo y los controles institucionales considerados fueron  $Inflación_{t-1}$  y  $Tasa\_Interés_{t-1}$ . El resto de las variables son *dummies* para controlar por las observaciones faltantes y evitar pérdidas significativas de datos.

<i>Variable Dependiente</i> <b>IDPR<sub>t</sub></b>	<b>Efectos Fijos</b>
<b>IDPN<sub>t-1</sub></b>	-609.9536 *** (111.9849)
<b>LOGPIB<sub>t-1</sub>*IDPN<sub>t-1</sub></b>	181.6674 *** (31.58552)
<b>LOGPIB<sub>t-1</sub></b>	3.18e+07 * (1.80e+07)
<b>IDPNoN<sub>t-1</sub></b>	-2.535873 *** (.6675332)
<b>IDE<sub>t-1</sub></b>	-1.860253 (3.398132)
<b>Investigadores<sub>t-1</sub></b>	21.08198 ** (9.838866)
<b>Años_Educ<sub>t-1</sub></b>	-699428.3 (1628735)
<b>Inflación<sub>t-1</sub></b>	357617.5 (725452.1)
<b>Tasa_Interés<sub>t-1</sub></b>	1288916 ** (599066.2)
<b>E<sub>t-1</sub></b>	3.29e+07 (9.95e+07)
<b>Dum_IDPNoN<sub>t-1</sub></b>	---
<b>Dum_IDE<sub>t-1</sub></b>	---
<b>Dum_Investigadores<sub>t-1</sub></b>	5948683 (4462249)
<b>Dum_Años_Educ<sub>t-1</sub></b>	-1.50e+07 (2.55e+07)
<b>Dum_Inflación<sub>t-1</sub></b>	---
<b>Dum_ITasa_Interés<sub>t-1</sub></b>	1406213 (3784300)
<b>Dum_E<sub>t-1</sub></b>	---
<b>Constante</b>	-3.79e+07 (6.81e+07)

La relación negativa entre el gasto público en nano-I+D y la inversión privada en I+D sin duda representa algunas de las consecuencias no consideradas en el modelo de van Zon, Fortune, y Kronenberg (2003), pero sí identificadas por los autores como potenciales problemas de las TPGs. En particular, estos resultados ponen en evidencia algunos huecos del modelo entre los que resaltan la consecuente obsolescencia de capital físico y de habilidades, tras la llegada de una TPG.

En tanto que el coeficiente positivo de la interacción sugiere que el gasto público en nano-I+D tiene mayores rendimientos en países más avanzados. Este hallazgo es bastante razonable si se considera que aquellos países con mayores niveles de ingreso suelen tener una industria más moderna y que probablemente ya está inmersa en la carrera tecnológica de las NCT. De modo que, para países muy avanzados, los recursos dedicados del gobierno a las NCT pueden tener un efecto de externalidad positiva, a través de aumentar la base de conocimiento de NCT, para las empresas impulsando los esfuerzos privados en NCT.

#### **IV. Conclusiones**

A pesar de que las limitantes de los datos empleados en este estudio son grandes, el análisis permite arrojar luz a cerca del impacto de iniciativas nacionales en un área emergente como las NCT, sobre países que han tenido una participación activa en el campo en años recientes. Aunque se espera poder verificar esto con datos estandarizados y más completos en el corto plazo, este modesto estudio realizado con la información disponible sugiere que sus impactos a nivel macroeconómico son positivos y que los esfuerzos gubernamentales orientados a este campo son más rentables (en cuanto a su impacto en la productividad) que el gasto en I+D para el promedio de las áreas restantes.

De modo que los resultados del estudio son aparentemente consistentes con las expectativas privadas y gubernamentales a nivel global. Además, el estudio de patentes sugiere que el *stock* de conocimiento en NCT es más multidisciplinario y genera más conocimiento que el promedio de los campos del conocimiento no-nanotecnológico. Hecho que hace más robusta la clasificación de las NCT en la literatura como TPG.

Sin embargo, un foco rojo que presenta el análisis empírico es la poca eficiencia, hasta el momento, del gasto público en Nanotecnología para traducirse en aplicaciones productivas, lo cual no es de

extrañar al tratarse de un campo emergente que requiere de infraestructura y un acervo de conocimiento aún no disponibles.

Otra alerta importante a tomar en cuenta es que el efecto del gasto público sobre variables clave como el gasto privado en I+D está sujeto a un efecto escala, dependiendo del nivel de ingreso de los países y mostrando mayores rendimientos en países más ricos.

Cabe destacar que, los resultados aquí presentados no son necesariamente un indicador del total de los potenciales beneficios de la Nanotecnología sobre las variables económicas de interés, sino exclusivamente del gasto público en esta materia; por lo cual, es deseable realizar más estudios que incorporen también los esfuerzos privados en NCT.

Como se mencionó anteriormente, se espera que en el curso de 2011 se tenga acceso a indicadores estandarizados, provistos por el *Working Party on Nanotechnology*; lo cual permitirá ampliar y mejorar este estudio, así como sus recomendaciones en materia de política en ciencia y tecnología para países en desarrollo.

Una vez que se tengan elementos más robustos, y de confirmarse los resultados aquí obtenidos, será importante tomar a consideración en la elaboración de políticas públicas los hallazgos de autores como Afonso y Aguiar (2005); en cuanto a que, aunque el surgimiento de una TPG conduzca a un mayor crecimiento global, puede ser causante también de desigualdad de salarios entre y dentro de los países.

Otros problemas y costos de la aparición de una TPG se han considerado en la literatura y es importante tenerlos presentes mientras se consideran estudios como éste. Youtie, Iacopetta y Graham (2008) incorporan a la discusión la importancia de sincronización entre creador y sectores de aplicación como un elemento crucial para minimizar el costo de apropiación, y por tanto, el tiempo de ralentización de la productividad de la economía. Lo cual, afirman, puede ser logrado si se identifica a tiempo la TPG y se planifica la coordinación necesaria.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ADAMS, J. (1990). Fundamental stocks of knowledge and productivity growth. *Journal of Political Economy*. vol. 98(4), pp. 673-702.
2. Afonso, O. & Aguiar, A. (2005). North-South Diffusion of a General Purpose Technology. DEGIT Conference Papers, Dynamics, Economic Growth, and International Trade.
3. Aghion, P. & Howitt, P. (1992). A Model of Growth through Creative Destruction. *Econometrica* vol. 60 (2), p 323-351.
4. Arrow, K. J. (1962). The Economic Implications of Learning by Doing. *Review of Economic Studies* 29, p 155-173.
5. Baghana, R. (2010). Public R&D Subsidies and Productivity: Evidence from Firm-Level Data in Quebec. UNU-MERIT Working Paper Series 055, United Nations University, Maastricht Economic and social Research and training centre on Innovation and Technology.
6. Bassanini, Scarpetta & Visco (2000). Knowledge, Technology and Economic Growth: Recent Evidence from OCDE Countries. OCDE Economics Department Working Papers, No. 259, OCDE Publishing.
7. David, P. (1990). The dynamo and the computer: An historical perspective on the modern productivity paradox. *The American Economic Review*, vol. 80(2), p 355–361.
8. Graham, S. & Iacopetta, M. (2009). Nanotechnology and the Emergence of a General Purpose Technology. University of California, Berkeley Center for Law and Technology. Disponible en SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1334376>
9. Grossman, G. M. y Helpman, E. (1993). *Innovation and Growth in the Global Economy*. MIT Press Books, The MIT Press, volumen 1, No. 0262570971.
10. Guellec & van Pottelsberghe (2001). R&D and Productivity Growth: Panel data analysis of 16 OCDE countries. OCDE

11. Hall, B. & Trajtenberg, M. (2004). Uncovering GPTS with Patent Data. NBER Working Papers 10901, National Bureau of Economic Research, Inc.
12. Helpman, E. & Trajtenberg, M. (1994). A Time to Sow and a Time to Reap: Growth Based on General Purpose Technologies. NBER Working Papers 4854, National Bureau of Economic Research, Inc.
13. Howitt, P. & Mayer-Foulkes, D. (2005). R&D, Implementation, and Stagnation: A Schumpeterian Theory of Convergence Clubs. *Journal of Money, Credit and Banking*, Blackwell Publishing, vol. 37
14. Huang, Z., et al. (2003). Longitudinal patent analysis for nanoscale science and engineering: Country, institution, and technology field. *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 5, p 333–363.
15. Jones, C. & Williams, J. (1998). Measuring The Social Return To R&D. *The Quarterly Journal of Economics*, MIT Press, vol. 113(4), p 1119-1135, Noviembre.
16. Jovanovic & Rousseau (2005). General purpose technologies. *Handbook of Economic Growth*, in: Philippe Aghion & Steven Durlauf (ed.), *Handbook of Economic Growth*, volumen 1, capítulo 18, p 1181-1224, Elsevier.
17. Malanowski, N. & Zweck, A. (2007). Bridging the gap between foresight and market research: Integrating methods to assess the economic potential of nanotechnology. *Technological Forecasting & Social Change*, p. 1805 – 1822, Duesseldorf, Germany
18. Moser, P. & Nicholas, T. (2004). Was electricity a General Purpose Technology? *The American Economic Review, Papers and Proceedings*, 388-394
19. OCDE (2004). OCDE Productivity Database: Calculation of Multi-factor productivity growth
20. OCDE (2010). Main Science and Technology Indicators. OCDE Science, Technology and R&D Statistics
21. Romer, P. (1986). Increasing Returns and Long-Run Growth, *Journal of Political Economy* vol. 94, p 1002-1037.

22. Romer, P. (1990). Endogenous Technological Change, *Journal of Political Economy*. University of Chicago Press, vol. 98, parte II, p 71-102.
23. STInano, (2011). Statistical Framework for Nanotechnology. OCDE. Extraído en Junio de 2011 desde [http://www.OCDE.org/document/53/0,3746,en\\_21571361\\_41212117\\_42324533\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.OCDE.org/document/53/0,3746,en_21571361_41212117_42324533_1_1_1_1,00.html)
24. van Zon, Fortune & Kronenberg (2003). How to Sow and Reap as You Go: a Simple Model of Cyclical Endogenous Growth. Research Memoranda 029, Maastricht: MERIT, Maastricht Economic Research Institute on Innovation and Technology.
25. Youtie, J., Iacopetta, M. & Graham, S. (2008). Assessing the nature of nanotechnology: can we uncover an emerging general purpose technology? *The Journal of Technology Transfer*, Springer, vol. 33(3)



## **Apéndice A - Publicaciones con Cifras del Gasto Público en NCT**

1. National Nanotechnology Strategy (NNS). Annual Report 2007–08. Australian Office of Nanotechnology
2. National Nanotechnology Strategy (NNS) Annual Report 2008–09. Australian Office of Nanotechnology
3. Billon, A., Dupont, J. & Ghys, G. (2004). Le financement des nanotechnologies et des nanosciences, L'effort des pouvoirs publics en France. MINISTERE DE LA JEUNESSE, DE L'EDUCATION NATIONALE ET DE LA RECHERCHE, France
4. Czech Statistical Office (2006). Research and Development Indicators year 2005. Extraído en Agosto de 2010 de <http://notes3.czso.cz/csu/2010edicniplan.nsf/engp/9601-10>
5. Czech Statistical Office (2007). Research and Development Indicators year 2006. Extraído en Agosto de 2010 de <http://notes3.czso.cz/csu/2010edicniplan.nsf/engp/9601-10>
6. Czech Statistical Office (2008). Research and Development Indicators year 2007. Extraído en Agosto de 2010 de <http://notes3.czso.cz/csu/2010edicniplan.nsf/engp/9601-10>
7. Czech Statistical Office (2009). Research and Development Indicators year 2008. Extraído en Agosto de 2010 de <http://notes3.czso.cz/csu/2010edicniplan.nsf/engp/9601-10>
8. Czech Statistical Office (2010). Research and Development Indicators year 2009. Extraído en Agosto de 2010 de <http://notes3.czso.cz/csu/2010edicniplan.nsf/engp/9601-10>
9. Department of Innovation Industry, Science and Research (2011). Nanotechnology Factsheet. Australian Government.
10. European Commission (2005). Some Figures about Nanotechnology R&D in Europe and Beyond.

11. Federal Ministry for Transport, Innovation and Technology (2004). Achievements 2003. Division for Innovation, [www.bmvit.gv.at](http://www.bmvit.gv.at)
12. Federal Ministry of Education and Research (2007). Nano-Initiative – Action Plan 2010. Public Relations Division. Berlin.
13. Federal Ministry of Education and Research (2009). Nano.DE-Report 2009: Status Quo of Nanotechnology in Germany. Department: “Nanomaterials; New Materials”. Bonn, Berlin.
14. FORFÁS (2004). ICSTI Statement on Nanotechnology. Irish Council for Science, Technology and Innovation. Dublin.
15. FORFÁS (2010). Ireland’s Nanotechnology Commercialisation Framework 2010-2014. Dublin.
16. Japan’s Statistical Survey Department. Intramural Expenditure (Disbursement) of Selected Objective R&D by Research Organization (1970--2005). Statistics Bureau, Ministry of Internal Affairs and Communications.
17. Markku Lämsä. The FinNano programme. Tekes. Helsinki, Finland
18. NanoNed (2006). Annual Report 2005. NanoNed office. Technology Foundation STW, Utrecht, NL
19. Nanoscale Science, Engineering and Technology Subcommittee (2011). NNI 2012 Supplement to the President's Budget. Committee on Technology, National Science and Technology Council. USA
20. National Science and Technology Council (2010). NNI Supplement to the President's FY 2011 Budget
21. Obadia, M. (2008). Les Nanotechnologies. Avis et rapports du Conseil Économique et Social. RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

22. Palmberg, C., Dernis, H. & Miguet, C. (2009). Nanotechnology: an overview based on indicators and statistics, OCDE Directorate for Science, Technology and Industry.
23. OSEC (2011). Russia: Nanotechnology. Swiss Business Hub Russia. Moscú.
24. Rocco, M. (2005). International perspective on government nanotechnology funding in 2005. *Journal of Nanoparticle Research* p 707–712
25. Singapore's Institute of Bioengineering and Nanotechnology (2005). Annual Report FY 2004. INSTITUTE OF BIOENGINEERING AND NANOTECHNOLOGY.
26. Singapore's Institute of Bioengineering and Nanotechnology (2007). Annual Report IBN FY 2006.
27. Singapore's Institute of Bioengineering and Nanotechnology (2008). Annual Report FY 2007. INSTITUTE OF BIOENGINEERING AND NANOTECHNOLOGY.
28. Singapore's Institute of Bioengineering and Nanotechnology. (2010). Innovations for tomorrow: Institute of Bioengineering and Nanotechnology Annual Report FY 2009
29. Tekes (2010). Tekes Annual Review 2009. Helsinki
30. The Research Council of Norway, National strategy for nanoscience and nanotechnology, [www.forskningsradet.no](http://www.forskningsradet.no)
31. Technisch Wetenschappelijk Attachés (2010). Korea's Nanotechnology Roadmap for the next ten years. Agenschap NL Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie.
32. Wolfe, R. (2007). Research and Development in Industry: 2003. Division of Science Resources Statistics. National Science Foundation, NSF 07-314.
33. Wolfe, R. (2008). Research and Development in Industry: 2004. Division of Science Resources Statistics. National Science Foundation, NSF 09-301.

34. UK House of Commons (2004), Too little too late? Government Investment in Nanotechnology, Science and Technology Committee.

## Apéndice B -Detalles Algebraicos del Modelo

### 1) Maximización de beneficios en sector de bien final

$$\text{Max}_{X_{ij}} \quad \Pi = L_y^{1-\alpha} \sum_{j=1}^A \sum_{i=0}^{A_j} c_{ij} \cdot x_{ij}^\alpha - \sum_{j=1}^A \sum_{i=0}^{A_j} p_{ij} \cdot x_{ij}$$

Condiciones de primer orden:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial x_{ij}} : \alpha L_y^{1-\alpha} \cdot c_{ij} \cdot x_{ij}^{\alpha-1} - p_{ij} = 0$$

Despejando,

$$x_{ij}^d = \left( \frac{p_{ij}}{\alpha \cdot c_{ij} \cdot L_y^{1-\alpha}} \right)^{-\left(\frac{1}{1-\alpha}\right)}$$

$$\Rightarrow x_{ij}^d = \left( \frac{\alpha \cdot c_{ij}}{p_{ij}} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \cdot L_y$$

### 2) Maximización de beneficios en sector de bienes intermedios

Nótese que los costos de la empresa de bienes intermedios están dados por las unidades de capital bruto  $k_{ij}$  empleadas y por su precio, que es la tasa de interés. Es decir, los costos pueden verse como  $r \cdot k_{ij}$ . Pero al mismo tiempo sabemos que las unidades necesarias de capital para producir una unidad del bien  $x_{ij}$  son  $n_j$ , de modo que las unidades de capital bruto empleadas son  $n_j \cdot x_{ij}$ . Así, los beneficios de la empresa de bien intermedio pueden verse de la siguiente forma:

$$\text{Max}_{X_{ij}} \quad \pi_{ij} = p_{ij} \cdot x_{ij} - \eta_j \cdot r \cdot x_{ij}$$

Donde  $p_{ij} = \alpha \cdot c_{ij} \cdot L_y^{1-\alpha} \cdot x_{ij}^{\alpha-1}$ , es la función de demanda inversa de la innovación  $X_{ij}$ , obtenida del proceso de maximización de bienes finales. De forma que se tiene:

$$\text{Max}_{X_{ij}} \quad \pi_{ij} = \left[ \alpha \cdot c_{ij} \cdot L_y^{1-\alpha} \cdot x_{ij}^{\alpha-1} \right] \cdot x_{ij} - \eta_j \cdot r \cdot x_{ij}$$

Resolviendo las condiciones de primer orden se obtiene el precio óptimo de la innovación complementaria:

$$P_{ij}^* = \frac{\eta_j \cdot r}{\alpha}$$

Sustituyendo en la función de demanda por la innovación periférica:

$$x_{ij}^d = \left( \frac{\alpha \cdot c_{ij}}{\eta_j \cdot r} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \cdot L_y \Rightarrow x_{ij}^d = \left( \frac{\alpha^2 \cdot c_{ij}}{\eta_j \cdot r} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \cdot L_y$$

Sustituyendo en la función de beneficios ambos componentes:

$$\pi_{ij}^* = \frac{\eta_j \cdot r}{\alpha} \cdot x_{ij} - \eta_j \cdot r \cdot x_{ij} \Rightarrow \pi_{ij}^* = \eta_j \cdot r \cdot x_{ij} \left( \frac{1-\alpha}{\alpha} \right) \Rightarrow \left( \frac{\alpha^2 \cdot c_{ij}}{\eta_j \cdot r} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \cdot L_y \eta_j \cdot r \cdot \left( \frac{1-\alpha}{\alpha} \right)$$

### 3) Relación entre capital efectivo $K_e$ y capital bruto $K$ .

Primero, veamos que el capital efectivo empleado en la producción del bien final que ha sido generado por la TPG  $j$  puede expresarse de la siguiente manera:

$$K_e^j = \left\{ Z_j^\alpha \right\}^{\frac{1}{\alpha}}$$

$$= \left\{ \sum_{i=0}^{A_j} c_{o,j} \cdot \zeta_j^i \cdot x_{ij} \right\}^{\frac{1}{\alpha}}$$

Luego, hay que recordar que la cantidad del bien intermedio  $x_{ij}$  empleado en el sector de bienes finales ha sido determinada en el sector de bienes intermedios y depende del capital bruto que utiliza como insumo. Sustituyendo la relación mencionada anteriormente  $x_{ij} = \frac{k_j}{n_j}$ , se obtiene la

siguiente ecuación:

$$K_e^j = \left\{ \sum_{i=0}^{A_j} c_{o,j} \cdot \zeta_j^i \cdot \left( \frac{K_j}{\eta_j} \right)^\alpha \right\}^{\frac{1}{\alpha}}$$

Factorizando, se ve de la siguiente manera:

$$K_e^j = K_j \cdot \frac{c_{o,j}^{1/\alpha}}{\eta_j} \cdot \left\{ \sum_{i=0}^{A_j} \varsigma_j^i \right\}^{\frac{1}{\alpha}}$$

Por último, considérese el elemento entre paréntesis de esta última ecuación. Al tratarse de una serie geométrica puede reescribirse utilizando un pequeño truco, como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} (1 - \varsigma_j) \cdot \sum_{i=0}^{A_j} \varsigma_j^i &= (\varsigma_j^0 + \varsigma_j^1 + \dots + \varsigma_j^{A_j}) - (\varsigma_j^1 + \varsigma_j^2 + \dots + \varsigma_j^{A_j+1}) \\ \Rightarrow \sum_{i=0}^{A_j} \varsigma_j^i &= \frac{1 - \varsigma_j^{A_j+1}}{1 - \varsigma_j} \end{aligned}$$

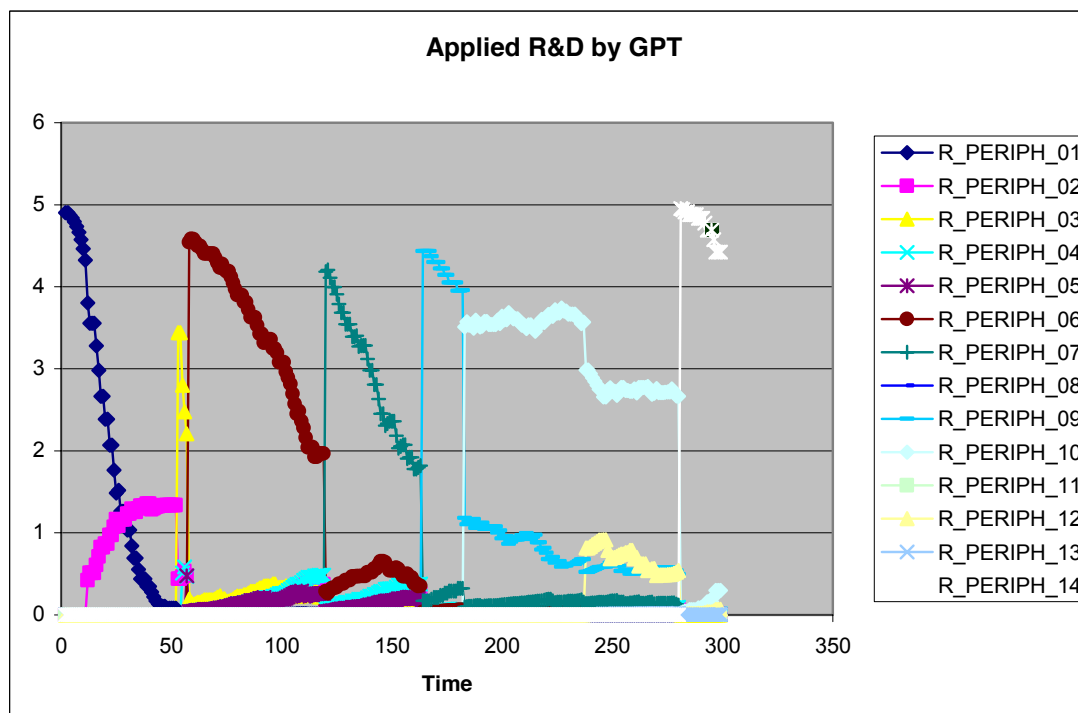
Así, sustituyendo en la relación del capital efectivo, se llega a la ecuación presentada por los autores:

$$K_e^j = K_j \cdot \frac{c_{o,j}^{1/\alpha}}{\eta_j} \cdot \left\{ \frac{1 - \varsigma_j^{A_j+1}}{1 - \varsigma_j} \right\}^{\frac{1}{\alpha}}$$

## Apéndice C- Figuras Complementarias

### 1) Trade-offs en el sector de I+D aplicada entre TPGs

Tras un ejercicio de simulación basado en el modelo propuesto por van Zon, Fortune y Kronenberg (2003), los autores exploran el *trade-off* de los recursos de capital humano (medidos en el eje vertical) entre TPGs a lo largo del tiempo. Del lado derecho se indican las diferentes TPGs que arroja el proceso de simulación para un intervalo de 300 periodos. El gráfico permite observar la absorción de recursos por cada TPG en el momento de su llegada, en detrimento de los recursos dedicados a las tecnologías anteriores.



Fuente: Figura 5 en van Zon, Fortune & Kronenberg (2003). p 32