

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

**FACULTAD DE CIENCIAS
ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES
DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA**



TESIS DOCTORAL

**ENSAYOS EN ANÁLISIS ECONÓMICO DE
INNOVACIÓN, EFICIENCIA Y LOGÍSTICA**

Autor: Manuel Agüeros Sánchez

Directores: Dr. Pablo Coto Millán y Dr. Adolfo Maza Fernández

Santander, Junio de 2015

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO 2. DETERMINANTES DE LA INNOVACIÓN EN LOS PAÍSES DE LA UNIÓN EUROPEA	10
1. Introducción.....	10
2. Revisión literaria	11
3. El modelo teórico	15
3.1. Modelo de producción de innovación tipo Translog.....	18
3.2. Modelo de producción de innovación tipo CES.....	18
3.3. Modelo de producción de innovación tipo Cobb-Douglas.....	20
4. Datos.....	20
4.1. Capital Humano.....	21
4.2. Capital Tecnológico.....	23
4.3. Capital Relacional.....	25
5. Resultados.....	27
6. Conclusiones.....	40
7. Referencias	42
CAPÍTULO 3. EFICIENCIA TÉCNICA DE LA GENERACIÓN DE INNOVACIÓN EN LOS PAÍSES DE LA UNIÓN EUROPEA	46
1. Introducción.....	46
2. Revisión literaria	47
3. El modelo.....	50
3.1. La frontera determinística de eficiencia técnica de la innovación europea.....	51
3.2. La frontera estocástica de eficiencia técnica de la innovación europea	53
4. Datos.....	55
5. Resultados.....	57
5.1. Estimación de la frontera de producción determinística	57
5.2. Estimación de la frontera de producción estocástica.....	60
6. Conclusiones.....	63
7. Referencias	64
CAPÍTULO 4. DETERMINANTES Y EFICIENCIA TÉCNICA DE LA GENERACIÓN DE INNOVACIÓN EN UN CONTEXTO INTERNACIONAL	66
1. Introducción.....	66
2. Revisión literaria	68
3. El modelo.....	71
4. Datos.....	74
5. Resultados.....	77
6. Conclusiones.....	83
7. Referencias	85
8. Anexos.....	87
CAPÍTULO 5. IMPACTO DE LAS TIC's EN EL CRECIMIENTO ECONÓMICO MUNDIAL	91
1. Introducción.....	91
2. Revisión literaria	94
2.1. Teoría del crecimiento económico y sus efectos sobre los procesos de convergencia	95
2.2. TIC's y crecimiento económico	98
2.2.1. Enfoque basado en la contabilidad de crecimiento	98
2.2.2. Enfoque basado en la estimación de funciones de producción	102

2.2.3. Enfoque basado en la estimación empírica de la solución de equilibrio estacionario de un modelo de crecimiento	105
3. El modelo.....	107
4. Datos	114
5. Resultados.....	117
6. Conclusiones.....	130
7. Referencias	133
8. Anexos.....	138
CAPÍTULO 6. IMPACTO DE LAS REDES LOGÍSTICAS EN LA EFICIENCIA TÉCNICA DE LA PRODUCCIÓN MUNDIAL	141
1. Introducción.....	141
2. Revisión literaria	144
3. Modelo teórico.....	146
4. Datos	148
5. Resultados.....	150
6. Conclusiones.....	154
7. Referencias	156
CAPÍTULO 7. RESUMEN Y CONCLUSIONES	159
Referencias.....	163

Agradecimientos

La realización de esta tesis doctoral ha supuesto un esfuerzo personal notable, si bien dicho trabajo nunca habría llegado a buen puerto sin la colaboración e inestimable ayuda de algunas personas pertenecientes a distintos ámbitos de mi vida personal, familiar y laboral. Si bien resultaría prácticamente imposible citarlas a todas ellas y darles el reconocimiento que cada una de ellas se merecen, a continuación sintetizaré las contribuciones más importantes realizadas por cada una de ellas.

En primer lugar, son dos las personas cuya labor ha resultado determinante en la dirección académica y supervisión de esta tesis. La primera de ellas es Pablo Coto Millán, cuyos consejos e indicaciones han resultado fundamentales tanto para el planteamiento inicial de la tesis doctoral como para las mejoras y modificaciones que ha sufrido dicha tesis, que –sin duda- han contribuido a generar unos resultados científicos de notable relevancia. Por su parte, Adolfo Maza Fernández también ha realizado numerosas contribuciones a la presente tesis doctoral, que han resultado esenciales para la obtención de resultados científicos satisfactorios y acordes con la literatura económica existente. Sirvan estas líneas para plasmar mi más sincero agradecimiento hacia estas dos personas, que han formado parte de la dirección de esta tesis. Agradezco también al profesor Xosé Luis Fernández López su intensa colaboración en la confección del capítulo sexto de esta Tesis, tanto en los ámbitos literario y metodológico como en el empírico.

Por otro lado, en el plano familiar, innumerables han sido las muestras de apoyo recibidas durante la realización de este trabajo. Sin duda, los principales artífices de la finalización exitosa de la tesis han sido mis padres, hermanos, tíos, primos... A mi padre, reconocerle la constancia al transmitir ciertos valores éticos y de comportamiento que han resultado elementales para la finalización de éste y otros muchos proyectos; algunos de esos valores han sido el sacrificio, el esfuerzo o la constancia. Gracias de corazón a mi madre, que también me ha transmitido ciertos principios morales coincidentes con los de mi padre y, adicionalmente, algunos consejos de enorme utilidad; considero que los más importantes son la humildad y la integridad. Gracias

papá, gracias mamá, por haber llevado las riendas de la familia Agüeros Sánchez con vigorosidad, seriedad y cariño en todo momento.

Gracias a mis hermanos: Cristina, Esther, Luis Ángel, Marcos y Sara, sabed que –puede que en ocasiones, inconscientemente- habéis resultado para mí personas muy importantes en el plano afectivo y fraternal, sobre todo durante los últimos años. Cómo no, gracias también a vosotros por comenzar a formar una familia; testigos de ello son mis nueve sobrinos (hasta la fecha): Pedro, Marcos, Paula, Tanea, Irene, María, Fidel, Daniela y Ángela. Gracias a mi familia política: Pepo, María, Iván y Nuria, vosotros también formáis parte del respaldo afectivo que he tenido estos años atrás.

Gracias por las continuas e innumerables muestras de cariño y afecto incondicionales recibidas de todos mis tíos, por ambas partes, aunque en especial de Mesio y Bego, Anita y Cilio y Carmen y Lín. También Chita y César, y a Tiki, que aunque no comparte parentesco con esta familia, siempre hemos mantenido una estrecha relación, en los momentos buenos y en las épocas de dificultad.

Sería injusto no mencionar a algunos de mis 32 primos carnales: Gonzalo, Anuska y Francis, Berto, Pablo, Enma, Jaime, Yolanda, Machín, Milio, Javier, Isabel, Ana, Marta...

Gracias además a Luis Villacorta, Antonio Villacorta, Sancho Michell, Alfonso Badiola y Alejandro Liz, pues vuestros consejos (sobre todo en el plano estratégico), vuestras continuas muestras de apoyo y vuestro afecto hacia mí.

Gracias por último a todos mis amigos, a los vecinos del valle de Lamasón, porque vuestras muestras de apoyo nunca quedarán lo suficientemente agradecidas.

*El que busca la verdad corre el riesgo de encontrarla*¹

¹ Isabel Allende.

Capítulo 1: Introducción

Esta tesis doctoral consta, además de los tradicionales capítulos de Introducción y Conclusiones, de cinco ensayos (englobados entre los capítulos dos y seis) sobre innovación, eficiencia técnica e impacto económico de las TIC's y las redes logísticas. Cada uno de estos ensayos considera en su análisis empírico un lapso temporal distinto (como se detalla a continuación), si bien una característica común de todos ellos es que abarcan la reciente crisis económica desatada a finales de 2007. Por este motivo, cada ensayo trata de analizar, entre otras muchas cuestiones, las repercusiones que ha tenido y está teniendo la crisis en cada uno de los ámbitos objeto de estudio.

Así, el segundo capítulo de esta tesis, basado en distintos modelos de generación de la innovación, analiza los determinantes de la innovación en la Unión Europea durante el período 2003-2010. Con este objeto se plantea la innovación como un bien o servicio a producir a partir de unos determinados inputs. Si bien clásicamente estos inputs han sido factores que tienen que ver con el capital humano y tecnológico, la principal contribución de este capítulo estriba en añadir un factor adicional, al que se denomina capital relacional, que trata de recoger las relaciones de colaboración del productor de innovación con otras empresas e instituciones privadas y públicas, así como otros factores colaborativos que –presuponemos– generarán sinergias e impulsarán la generación o producción de innovación.

El tercer capítulo versará sobre la eficiencia técnica de la producción de innovación, también en el contexto de la Unión Europea, durante el período 2003-2010. Se estudia, en primer lugar, cómo se produce la innovación para, a continuación, utilizar dos métodos paramétricos conocidos (fronteras determinísticas y estocásticas) con el objeto de estimar la eficiencia técnica en la producción de innovación, y así construir un ranking de la eficiencia en la producción de innovación de los países que integran la UE.

El cuarto capítulo estudia los determinantes de la innovación en la economía mundial durante el período 2000-2009. Este capítulo trata de ser, en cierta medida, una réplica de los dos anteriores, aunque con tres diferencias notables. En primer lugar, el período de estudio en ambos casos es distinto (2003-2010 en el caso de los capítulos 2 y 3, mientras que en el presente ensayo, se considera el lapso temporal 2000-2009). Otra diferencia fundamental radica en que el análisis económico de la innovación en la UE de los dos capítulos anteriores añadía al modelo clásico de producción de innovación la variable denominada “capital relacional”, mientras que en el presente ensayo se incorpora al planteamiento clásico una variable novedosa denominada “capital científico”. El tercer aspecto que diferencia el capítulo cuarto respecto de los dos anteriores radica en el ámbito geográfico del análisis empírico; si en los capítulos dos y tres nos hemos ceñido a observar la producción eficiente de innovación dentro de los países de la UE, en el capítulo cuarto extrapolamos dicho análisis a una dimensión mundial, considerando 91 países del mundo. Así, se estudia la innovación como un bien o servicio a producir (en concordancia, en este caso, con lo realizado en los capítulos dos y tres). Los factores clásicos de capital humano y tecnológico son empleados, asimismo, en este capítulo.

En el quinto capítulo, de nuevo desde una óptica mundial, se estudia el impacto de las TIC's en el crecimiento económico durante el período 1990-2012. A partir de distintas extensiones de los modelos de crecimiento de Solow y Mankiw-Romer-Weil, se estiman varias ecuaciones de regresión por el método GMM, dados los evidentes problemas de endogeneidad presentes en el modelo. Dadas las características de estos modelos, el concepto de convergencia (en concreto, convergencia condicional) juega un papel clave en el desarrollo de este capítulo. Asimismo, es necesario señalar que el capítulo incluye estimaciones para la muestra total de países (un total de 104), así como para distintos grupos (a partir del criterio de clasificación propuesto por M-R-W y de una clasificación alternativa en función de los niveles de renta) con el objeto de comprobar si los resultados difieren en dos sentidos; primero, en el impacto de las TIC's sobre el crecimiento; segundo, en la velocidad de convergencia entre países.

En el sexto capítulo de esta tesis doctoral se utiliza un panel de datos -que abarca el período 2007-2012- para contrastar empíricamente qué factores contribuyen a explicar la ineficiencia/eficiencia técnica de la producción agregada a nivel mundial; para ello, el trabajo empírico de este capítulo se divide en dos etapas; en la primera de ellas se construye una frontera de producción, que considera un modelo macroeconómico basado en una función de producción translog, cuyos factores de producción son el capital físico y el capital humano; posteriormente y en una segunda etapa, se analiza el impacto de una serie de variables económicas, geográficas y sociales sobre la ineficiencia técnica mundial. Para alcanzar este objetivo se utiliza, en el contexto de los métodos paramétricos de estudio económico de la eficiencia, un modelo de fronteras de producción estocásticas con variabilidad temporal. Además, el fundamento teórico del impacto de estas variables sobre la eficiencia/ineficiencia técnica reside en el conocido modelo Estructura-Conducta-Resultados, desarrollado por la escuela de Harvard. Cabe decir que, de acuerdo a los resultados obtenidos, las redes logísticas influyen significativa y positivamente sobre la evolución de la eficiencia de la producción mundial en el lapso temporal considerado.

Finalmente, y como ya se ha indicado, se ofrece el capítulo 7, en el cual se incluye un resumen y se entresacan las principales conclusiones obtenidas en los cinco ensayos que componen esta tesis doctoral.

Capítulo 2: Determinantes de la innovación en los países de la Unión Europea

RESUMEN

En este capítulo analizamos los determinantes de la innovación en la UE-27 durante el período 2003-2010. Después de mostrar el marco teórico, las estimaciones de funciones de producción transcendentales logarítmicas (translog), CES y Cobb-Douglas en diferentes escenarios confirman los supuestos teóricos, a saber, que el capital tecnológico, el capital humano y lo que se denomina “capital relacional” influyen positiva y significativamente sobre la generación de innovación. Para analizar estas cuestiones, se ha construido un panel de datos que abarca el período 2003-2010.

1. Introducción

En este ensayo se aborda el papel que desempeñan el capital humano, el capital tecnológico y el capital relacional en la producción de innovación. Para ello, y con objeto de explicar el comportamiento de la innovación, se especificará una función de producción que tendrá como variables exógenas el capital humano, el capital tecnológico y el capital relacional. La hipótesis básica que se plantea en este artículo es que la combinación óptima de estos tres factores influye positiva y significativamente sobre la innovación tecnológica (y, por ende, en el crecimiento económico). Más concretamente, se contrasta la hipótesis de que el capital relacional, o si se quiere los factores relacionales, culturales, institucionales y regionales, inciden en el mejor entendimiento y apoyo del capital humano y tecnológico, que actúa sobre la innovación.

Desde el punto de vista metodológico, la estimación del modelo se realizará utilizando técnicas econométricas derivadas de la estimación clásica de datos de panel (en

concreto, se trabaja con los modelos de efectos fijos y efectos aleatorios). En lo que se refiere al lapso temporal analizado, el mismo abarca desde 2003 hasta 2010. Por lo que respecta a la muestra, en primer lugar se incluyen todos los países de la UE-27; posteriormente, se efectuará el mismo proceso analítico, pero modificaremos el número de países, ciñéndonos en tal caso a la UE-15; en un tercer planteamiento, se planteará la función de producción de innovación, que incluirá únicamente los doce países que se han incorporado a la Unión Europea en las dos últimas ampliaciones (los diez países que ingresaron en 2004 más Rumanía y Bulgaria, adheridos en el año 2007). Se realizará el análisis empírico de la producción de innovación considerando tres formas funcionales posibles, como son la función transcendental logarítmica, una aproximación matemática de la función CES y la función de producción Cobb-Douglas.

Como es obvio, se compararán las estimaciones del modelo para las diferentes elasticidades correspondientes al capital humano, tecnológico y relacional respecto a la innovación en los diferentes clusters de países considerados.

Finalmente, se extraen una serie de conclusiones a partir de los resultados obtenidos.

2. Revisión literaria

El papel del capital humano, tecnológico y relacional en el crecimiento económico ha sido un tema de creciente interés y debate entre economistas, historiadores, expertos en geografía humana y regional, así como otros investigadores de las ciencias sociales. Algunas de las investigaciones más destacadas sobre dichas cuestiones se citan a continuación.

En los inicios de la teoría económica se consideraba que la dotación de riquezas naturales de una región o país constituía el principal factor determinante del crecimiento. Posteriormente, esas riquezas naturales fueron sustituidas por las infraestructuras de todo tipo, principalmente de transportes y de ingeniería civil realizadas por el hombre. Con la llegada de la revolución industrial y de las teorías

posteriores de Solow (1956, 1957) el progreso tecnológico pasa a ser el factor explicativo más señalado a la hora de explicar el incremento de la producción agregada de bienes y servicios en los diferentes países occidentales. Actualmente, sobre todo a partir de la contribución de Lucas (1988), tendemos a pensar que el principal factor determinante del crecimiento es el capital humano, entendido éste en un sentido amplio. Con esto se quiere decir que al hablar de capital humano no debemos pensar exclusivamente en la educación, la experiencia y las habilidades de la población ocupada: tendemos a incorporar cuestiones como la capacidad innovadora y los valores humanos. Además, en la línea de la nueva economía institucional podemos pensar en la calidad de las instituciones como factor que impulsa el crecimiento económico, sin olvidar la eficacia y la eficiencia de éstas.

Como puede verse, por tanto, los factores que han sido señalados como determinantes del crecimiento económico difieren según el momento considerado e indudablemente han cambiado a lo largo del tiempo. No obstante lo dicho, tanto el capital humano como la innovación tecnológica adquieren, sin lugar a dudas, un papel fundamental en los procesos de crecimiento.

Desde un punto de vista cronológico, podemos considerar los trabajos de Solow (1956, 1957, 1970) como precursores a la hora de señalar los avances en el progreso técnico como la fuerza conductora del crecimiento económico. En este sentido, cabe destacar el trabajo de Solow (1970) quien resalta la relevancia del efecto del cambio tecnológico sobre el crecimiento económico.

También creemos importante señalar en este ámbito, por su carácter precursor, los trabajos de Jacobs (1961, 1969), quien analizó la contribución al PIB de la transferencia de conocimiento dentro de las ciudades. En su razonamiento, las ciudades juegan un papel crucial en el desarrollo económico mediante la interacción entre las personas y la generación de nuevos productos y nueva tecnología.

Posteriormente, Romer (1986, 1987, 1990) establece la conexión entre conocimiento, capital humano y crecimiento económico mediante su modelo de crecimiento endógeno, argumentando que las inversiones en capital humano dan lugar a externalidades

positivas y rendimientos crecientes de escala en la generación de innovación y de progreso científico.

En el mismo contexto, el modelo de crecimiento endógeno desarrollado por Lucas (1988) muestra que las ciudades actúan transfiriendo conocimiento y generando externalidades humanas nada despreciables, las cuales incrementan la productividad e impulsan el crecimiento económico.

Asimismo, la conexión entre capital humano y crecimiento es apoyada por un amplio cuerpo de evidencia empírica contrastada tanto a nivel nacional como regional. En esta misma línea, investigaciones más recientes (Barro (1991), Glaeser, Sheinkman y Sheifer (1995), Glaeser (1998, 1999, 2000a, 2000b), Simon (1998), Glaeser, Kolko y Sáiz (2001), Berry y Glaeser (2005), Rauch (1993), Young (1998), Eaton y Eckstein (1997), Black y Henderson (1998), Glendon (1998) y Shapiro (2006)) han contrastado empíricamente la conjetura de Lucas, resaltando el papel del capital humano en el crecimiento económico.

En el estudio de la relación entre innovación y crecimiento económico no puede faltar, por otro lado, una referencia a los trabajos de Florida (2002a, 2002b, 2002c, 2005a, 2005b, 2006). Este autor manifestó la necesidad de llegar a comprender mejor los factores que generan la innovación y acuñó el nuevo concepto de capital creativo que es el que capacita a los territorios para atraer talento. Señala, asimismo, que el capital creativo opera más como un flujo de carácter dinámico que como una dotación factorial fija.

Finalmente, en España conviene destacar algunos trabajos recientes que definen a la universidad, los centros tecnológicos y la experiencia en inversión en I+D como determinantes que estimulan la creación de innovación y el impulso del progreso científico. El primero de ellos lo realizan Sánchez y Salazar (2010), quienes desglosan con detalle las características de la innovación en España en la década precedente; estudian los principales factores explicativos, como son el capital humano y el gasto (público y privado) en I+D, y destacan, además, la cooperación existente entre la universidad y las empresas para facilitar la innovación; de este modo, hacen referencia a

un aspecto del capital relacional, como son las conexiones entre las empresas privadas y la universidad, factor que vamos a analizar con cierto detalle. El trabajo más reciente a nivel nacional lo desarrollan Barge-Gil, Santamaría y Modrego (2011), quienes destacan la colaboración de las universidades con las empresas para el progreso de la innovación; también analizan el estímulo de los centros tecnológicos al proceso innovador desde un enfoque sectorial, y concluyen que los centros tecnológicos se centran en establecer relaciones colaborativas con empresas pertenecientes a industrias de contenido tecnológico medio y bajo, y las universidades estrechan la mayor parte de sus relaciones con empresas que ponen en marcha proyectos de innovación de alta tecnología, mayoritariamente en empresas manufactureras.

Por su parte, Beneito, Rochina y Sanchís (2011) discuten la determinación de la innovación española haciendo referencia a un análisis histórico de la misma; esto es, establecen en primer lugar que la inversión empresarial en actividades de I+D viene determinada por los flujos de innovación acometidos en períodos anteriores, y en una segunda etapa, demuestran la relación significativa que existe entre dicho flujo y la innovación empresarial y científica en general.

Por último, Porter y Kramer (2011) enfatizan la importancia de la producción conjunta de empresas para obtener economías de escala, y dejan entrever, además, que la cooperación entre empresarios de sectores afines estimula significativamente el proceso innovador y los cambios en la tecnología existente con respecto a un escenario plenamente competitivo en la creación de innovación. Ello es analizado en un contexto de depresión económica internacional, y los autores afrontan este debate tomándolo como una de las alternativas a la esencia del modelo productivo tradicional de los países occidentales.

En este capítulo se constata –en especial, en lo que respecta al capital relacional- que las relaciones colaborativas que se dan entre la universidad, las empresas privadas y la administración pública también representan un factor importante a la hora de explicar el progreso de la innovación en la UE. La universidad proporciona una base de capital humano, científicamente formado, que -adecuadamente relacionado con la empresa privada- puede fomentar significativamente el progreso científico, pero aún es necesaria

la empatía de la empresa privada y de la administración pública para que se implemente el descubrimiento y pase a ser una realidad. También se defiende que el nexo de unión y enlace entre el capital humano y tecnológico es el capital relacional, y cuando ese enlace es colaborativo y adecuado, se propicia la generación de innovación, que se traducen en un avance significativo del crecimiento económico y de la productividad de una economía moderna.

3. El modelo teórico

Para dar luz sobre los determinantes de la innovación en el ámbito de la Unión Europea, supondremos que existe una función de producción de innovación para dichos países, y se plantea dicha relación funcional con el objetivo de aislar y analizar los efectos independientes del capital humano, del capital tecnológico y del capital relacional sobre la innovación.

La función de producción de innovación que se planteará más adelante descansa en unos supuestos de partida; por ello, definiremos una función cualquiera de creación de innovación “ I ”, tal que cumpla las siguientes condiciones:

$I = I(K, H, R)$, donde “ K ”, “ H ” y “ R ” simbolizan el capital tecnológico, el capital humano y el capital relacional, respectivamente. Este planteamiento formal cumplirá, *a priori*, los siguientes requisitos analíticos:

$$\frac{\partial I}{\partial K} > 0; \quad \frac{\partial^2 I}{\partial^2 K} < 0;$$

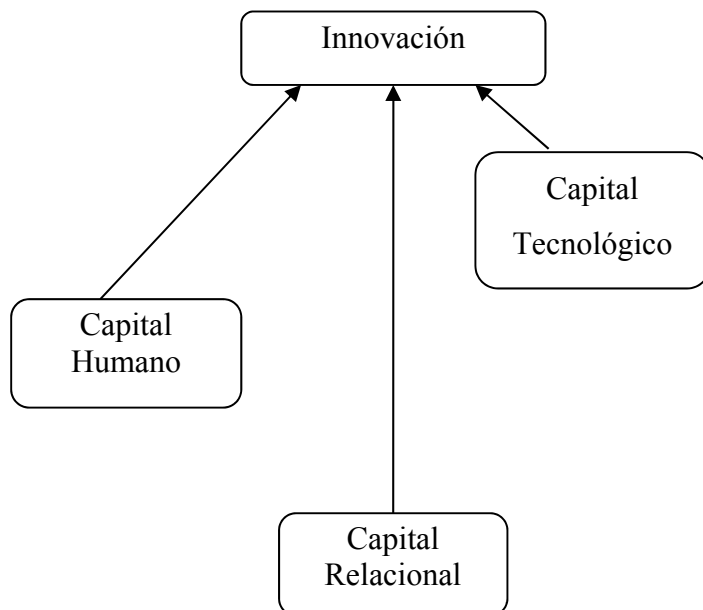
$$\frac{\partial I}{\partial H} > 0; \quad \frac{\partial^2 I}{\partial^2 H} < 0;$$

$$\frac{\partial I}{\partial R} > 0; \quad \frac{\partial^2 I}{\partial^2 R} < 0;$$

Considerando las expresiones anteriores, el hecho de que las primeras derivadas de los factores impulsores de la innovación sean positivas indica que existe una relación positiva entre los factores mencionados y la propia innovación; sin embargo, preestablecemos que –teóricamente- dicha repercusión será decreciente a medida que se incrementa el volumen de éstos, esto es, inicialmente asumiremos la presencia de productividades marginales decrecientes de los factores explicativos de la innovación.

Una representación esquemática del modelo general de relaciones entre innovación y los factores explicativos de ésta es mostrada en la Figura 1. La longitud de las flechas identifica la intensidad de las relaciones entre las variables clave, de tal forma que a menor longitud de éstas, existirá una relación más intensa entre esos factores.

Figura 1. Estructura de las relaciones entre capital tecnológico, capital humano y capital relacional con la innovación



Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, planteamos una función de producción de innovación genérica, que cuantificará econométricamente esas relaciones adoptando tres formas funcionales; la

primera de ellas tiene una forma trascendental logarítmica (también denominada translog), mientras que la segunda de ellas será con la forma CES², y la tercera, en base a la especificación tipo Cobb- Douglas.

Las variables que se utilizarán en las tres especificaciones funcionales son las siguientes:

I_{it} expresa la innovación del país “i” en el período “t”; la innovación se aproximará por el número de patentes registradas en la Oficina Europea de Patentes por cada millón de habitantes; será la variable a explicar en nuestro modelo posterior.

H_{1it} recoge el número relativo de personas entre 25 y 64 años que han finalizado alguna rama de estudios de educación terciaria (titulados superiores), por países y años.

H_{2it} representa la formación continua de la población en edad laboral en cada país y para cada año, denominada en el *European Innovation Scoreboard* como “longlive learning”.

K_{1it} expresa una parte del capital tecnológico, medida como el gasto público en I+D en porcentaje del PIB, para cada año “t” en cada país “i”.

K_{2it} recoge el otro componente del progreso tecnológico, aproximado como el gasto que realizan las empresas privadas en I+D.

R_{1it} constituye un indicador del capital relacional, aproximado por el número de pequeñas y medianas empresas que realizan algún tipo de actividad innovadora de forma autónoma, dentro de la propia empresa.

² Esta forma funcional se denomina “función de producción de elasticidad de sustitución constante” (sus siglas CES provienen de la expresión en inglés Constant Elasticity of Substitution). Ello hace referencia a que dicha función supone que existe una elasticidad de sustitución entre inputs constante.

R_{2it} expresa, en el ámbito del capital relacional, los factores de colaboración y cooperación entre pequeñas y medianas empresas, unas con otras, en tareas de innovación.

3.1. Modelo de producción de innovación tipo translog

La función translog es una especificación más amplia, diversa y completa que la especificación inspirada en la función Cobb-Douglas, pero tiene el inconveniente de que –en muestras pequeñas– no otorga suficientes grados de libertad para garantizar la consistencia de las estimaciones, a medida que crece el número de variables explicativas. La ecuación a estimar se ajusta al siguiente planteamiento:

$$\begin{aligned} \ln I_{it} = & \alpha_0 + \beta_1 \ln H_{it} + \beta_2 \ln K_{it} + \beta_3 \ln R_{it} + \frac{1}{2} \gamma_1 (\ln H_{it})^2 + \frac{1}{2} \gamma_2 (\ln K_{it})^2 + \\ & \frac{1}{2} \gamma_3 (\ln R_{it})^2 + \gamma_{11} \ln K_{it} \ln H_{it} + \gamma_{12} \ln K_{it} \ln R_{it} + \gamma_{13} \ln R_{it} \ln H_{it} + u_{it} \end{aligned} \quad (1)$$

3.2. Modelo de generación de innovación según la función de producción CES

A continuación, se planteará una ecuación general que relacionará matemáticamente los factores teóricamente generadores de innovación con la propia innovación. La estimación de la función CES parte de la siguiente expresión:

$$I_{it} = A e^{\varepsilon_{it}} \{ \alpha K_{it}^{\rho} + \beta H_{it}^{\rho} + \gamma R_{it}^{\rho} \}^{\frac{\nu}{\rho}} \quad (2)$$

En la expresión (2), “ ν ” denota los rendimientos de escala de la generación de innovación, el parámetro “ ρ ” influirá directamente en la elasticidad de sustitución de los diferentes factores explicativos de la innovación (capital tecnológico, humano y relacional), y “ A ” es un parámetro de escala de la función CES.

Para que esta ecuación pueda ser estimada correctamente, han de realizarse algunas transformaciones sobre ella; en primer lugar, habrá que incluir un término aleatorio de error, que presente un valor esperado condicionado a los regresores nulo, que no exista correlación ni temporal ni contemporánea dentro del panel de datos y que la varianza de dicho error sea estable (constante, con independencia de los regresores). Para linealizar la expresión (2), introduciremos logaritmos neperianos en dicha igualdad, resultando la siguiente expresión:

$$\ln I_{it} = \ln A + \frac{v}{\rho} \ln [\alpha K_{it}^{\rho} + \beta H_{it}^{\rho} + \gamma R_{it}^{\rho}] + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Resulta inmediato comprobar que no es posible realizar una estimación paramétrica sin realizar más transformaciones en la ecuación (3). Por ello, aplicaremos la transformación analítica empleada por Kmenta (1967) en las funciones de producción CES, inspirada en el teorema de aproximación de funciones de Taylor. Es en la expresión $\ln [\alpha K_{it}^{\rho} + \beta H_{it}^{\rho} + \gamma R_{it}^{\rho}]$ donde aplicaremos el desarrollo de Taylor, considerando que el parámetro ρ se sitúa alrededor del cero. Desarrollando la expresión anterior, obtenemos el siguiente desarrollo matemático:

$$\begin{aligned} \ln I_{it} = & \ln A + v\alpha(\ln R_{it} - \ln K_{it}) + v\beta(\ln R_{it} - \ln H_{it}) + v\ln R_{it} + \\ & + \frac{\rho v}{2}(\alpha - \alpha^2)(\ln R_{it} - \ln K_{it})^2 + \frac{\rho v}{2}(\beta - \beta^2)(\ln R_{it} - \ln H_{it})^2 + \\ & + \rho v\alpha\beta(\ln R_{it} - \ln K_{it})(\ln R_{it} - \ln H_{it}) + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (4)$$

Resulta inmediato comprobar que la regresión anterior no es lineal en los parámetros; por ello, se van a estimar los parámetros aplicando mínimos cuadrados no lineales para datos de panel.

Supondremos que ε_{it} representa la perturbación aleatoria, que es el factor que incorpora heterogeneidad en el modelo. Al proceder éste de una estructura de panel, en la contrastación empírica se justificará el uso de efectos fijos o efectos aleatorios, según

exista correlación entre los residuos y los factores explicativos, en el contexto de la función generalizada CES, en su versión multivariante.

3.3. Modelo de generación de innovación tipo Cobb-Douglas

La ecuación inicial de este modelo es una especificación multiplicativa de los valores absolutos de las variables, ponderados con sus respectivos parámetros:

$$I_{it} = A K_{it}^{\beta_1} H_{it}^{\beta_2} R_{it}^{\beta_3} e^{u_{it}} \quad (5)$$

Vistos los inconvenientes descritos que subyacen a la estimación econométrica de la ecuación (1) –como la heterocedasticidad en los residuos del modelo–, transformaremos el modelo tomando logaritmos neperianos, para disminuir las posibilidades de incurrir en problemas de heterocedasticidad, linealizando el modelo anterior del siguiente modo:

$$\ln I_{it} = \ln A + \beta_1 \ln K_{it} + \beta_2 \ln H_{it} + \beta_3 \ln R_{it} + u_{it} \quad (6)$$

De tal modo que las estimaciones obtenidas a partir de la ecuación (6) resultan ser elasticidades de cada variable explicativa respecto de la innovación, es decir, tales resultados serán interpretados como el cambio porcentual que experimenta la variable dependiente ante incrementos en cada variable explicativa del modelo iguales a un 1%.

4. Datos

Con el objetivo de realizar un seguimiento de la innovación en Europa desde el año 2000, la Comisión Europea se propuso realizar un informe anual (*European Innovation Scoreboard*) con indicadores sobre variables relacionadas con la tecnología, el capital humano y la innovación, fundamentalmente, y sus efectos económicos. Así, este organismo publica informes anuales con treinta indicadores por país miembro, por lo

que la disponibilidad de datos comprende los años 2003 a 2010³. En estos informes de la Unión Europea se realiza una comparación entre los diferentes países comunitarios, para tener una información básica sobre los niveles de innovación, creatividad y progreso tecnológico existentes en cada uno de los países. Para obtener una valoración más completa de la competitividad nacional, en los informes se elabora y obtiene un índice sintético de la Unión Europea de los quince, que es ampliado a los veintisiete países que integraban la Unión Europea en el año 2011, y después a los treinta y dos países que constituyen la Europa geográfica. De este modo, realizaremos un estudio de los determinantes de la innovación para el conjunto de los países integrantes de la Unión Europea en el año 2011 (que contaba con 27 países); asimismo, hemos creído conveniente comparar dichos resultados con los que subyacen a la Unión Europea de los quince, para comprobar si existen diferencias significativas entre los resultados empíricos de ambos grupos de países, pues es conocido que en las dos últimas ampliaciones de la Unión se han incorporado países con unos niveles de desarrollo socioeconómico y bienestar sensiblemente inferiores al resto. También consideraremos (en las formas funcionales translog y Cobb-Douglas) un tercer cluster de países que incluye a los países que se han incorporado más recientemente a la UE.

4.1. Capital humano

Como se ha mencionado anteriormente, para obtener un índice del capital humano en la Europa de los veintisiete, se combinan dos índices que son los siguientes: el número de personas que se acoge a programas de formación continua regularmente a lo largo de su edad laboral (comprendidos entre 25 y 64 años) en relación con la población total de cada país (capital humano 1); población con educación terciaria con edad entre 25 y 64 años (capital humano 2).

En las magnitudes que para los diferentes países europeos analizados alcanzan, tanto el índice sintético del capital humano europeo como los diferentes índices simples que lo componen, cabe resaltar los siguientes resultados:

³ Excluida Malta por problemas de disponibilidad de datos. Por ello, nuestro análisis empírico consta de un panel de datos formado por 26 países observados durante 8 años.

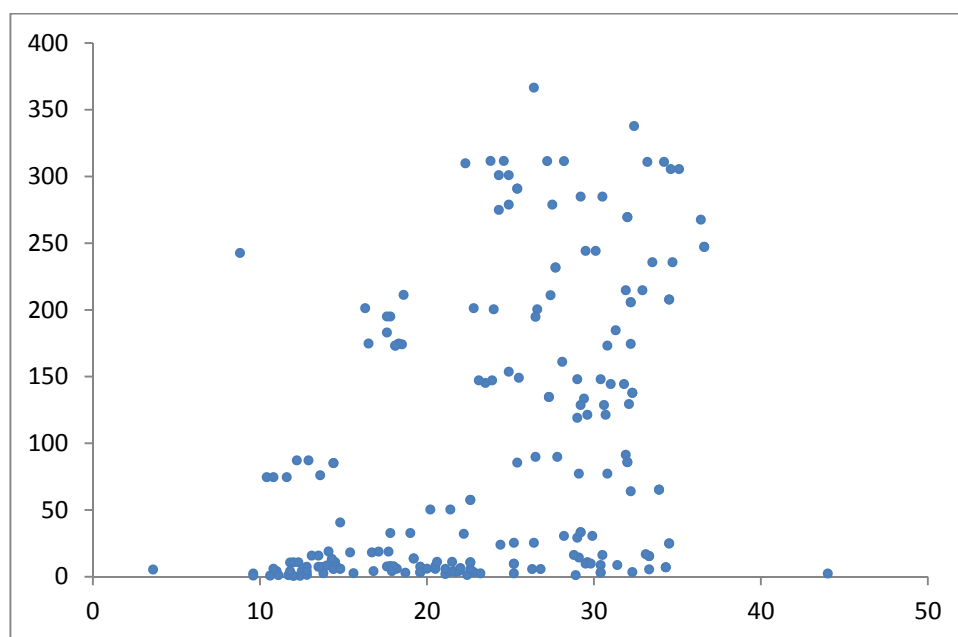
1) Los países líderes en relación con el índice global o sintético del capital humano son, por este orden, Suecia, Dinamarca y Finlandia. Otras tres naciones –Islandia, Reino Unido y Noruega - obtienen resultados destacados aunque inferiores a aquéllos.

2) Tres países obtienen las puntuaciones más altas en los índices de educación terciaria —Suecia, Islandia y Dinamarca- seguidas aunque no de cerca por el Reino Unido y Finlandia.

3) En relación con el aprendizaje continuo de la población en edad laboral, encontramos de nuevo en los primeros puestos a Suecia, Noruega y Dinamarca; países como España u Holanda se encuentran por encima de la media europea en este aspecto, aunque ocupando posiciones discretas.

A continuación, se presenta una gráfica que mide en abscisas el índice de capital humano descrito anteriormente sobre la innovación (en el eje de ordenadas) para la UE-27 durante el período de estudio 2003-2010, con el objetivo de intuir cuál es la forma funcional que mejor se ajusta a la relación estadística de ambas variables.

Gráfica 1. Relación observada entre capital humano con la innovación en la UE-27



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 1, podemos apreciar que no existe una relación funcional clara que determine el comportamiento de la innovación condicionado por el capital humano; sin embargo, podemos intuir levemente una relación funcional cuasicóncava, aunque con una ordenada en el origen del capital humano bastante desplazada.

4.2. Capital tecnológico

Los indicadores utilizados para obtener el índice sintético del capital tecnológico son los siguientes: el gasto público en I+D como porcentaje del PIB (capital tecnológico 1) y el gasto total en innovación tecnológica efectuada por las empresas privadas en tanto por ciento sobre el PIB (capital tecnológico 2), ambos disponibles tanto en Eurostat como en los informes estadísticos denominados *European Innovation Scoreboard*.

De las magnitudes que para los diferentes países europeos analizados alcanzan tanto el índice sintético del capital tecnológico como los diferentes índices simples que lo componen cabe destacar los siguientes aspectos:

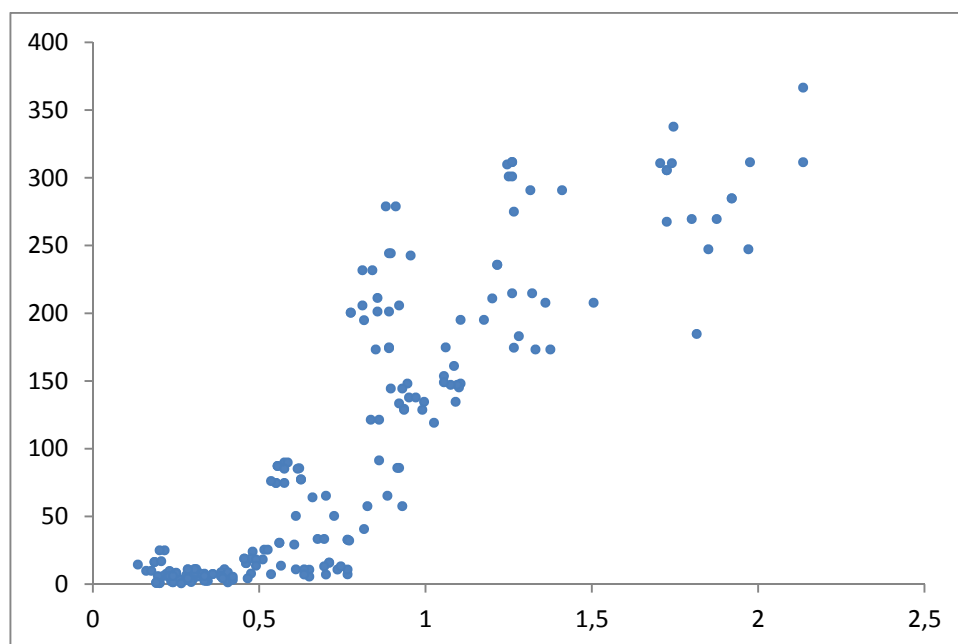
- 1) Dentro del panel de países europeos, Suecia y Finlandia ocupan los primeros lugares en el ranking de tecnología, medida por el indicador global del capital tecnológico.
- 2) Otras ocho naciones están situadas razonablemente bien en relación con el indicador global de tecnología (ocupando posiciones por encima de la media comunitaria). Estos países son: Dinamarca, Alemania, Reino Unido, Irlanda, Austria, Holanda y Francia.
- 3) En las últimas posiciones encontramos a Grecia, Letonia, Polonia, Rumanía y Chipre.
- 4) Respecto a la contribución del sector público al desarrollo tecnológico, de nuevo Suecia y Finlandia lideran este indicador; países como Francia, Alemania o Dinamarca se sitúan en niveles intermedios de gasto público en I+D, mientras que Italia, España y Grecia se sitúan por debajo de la media comunitaria y superando solamente a los países de reciente incorporación a la Unión Europea.

Al igual que en el caso anterior, en la Gráfica 2 representamos y discutimos la relación teórica y empírica entre el capital tecnológico –incluyendo en él los porcentajes de gasto público y privado en I+D en relación al PIB de cada país e incluyéndola en el eje de abscisas- y la innovación (que, nuevamente, se representa en el eje de ordenadas) durante el período 2003-2010.

Podemos comprobar gráficamente que la función anterior satisface las condiciones analíticas de las derivadas parciales planteadas durante la especificación el modelo teórico (sección 3).

En la Gráfica 2, la dispersión apunta hacia un buen ajuste de los puntos de dispersión en relación con su comportamiento previsto; en dicha gráfica se deja entrever la existencia de rendimientos marginales decrecientes de escala del capital tecnológico respecto de la innovación.

Gráfica 2. Relación observada entre capital tecnológico e innovación en la UE-27



Fuente: Elaboración propia.

4.3 Capital relacional

Por último, el índice sintético de capital relacional se elabora a partir de los dos indicadores siguientes: suma de pequeñas y medianas empresas con actividades de innovación doméstica y en combinación con otras empresas (capital relacional 1); suma de pequeñas y medianas empresas con actividades cooperativas para la innovación con acuerdos con otras empresas e instituciones (capital relacional 2).

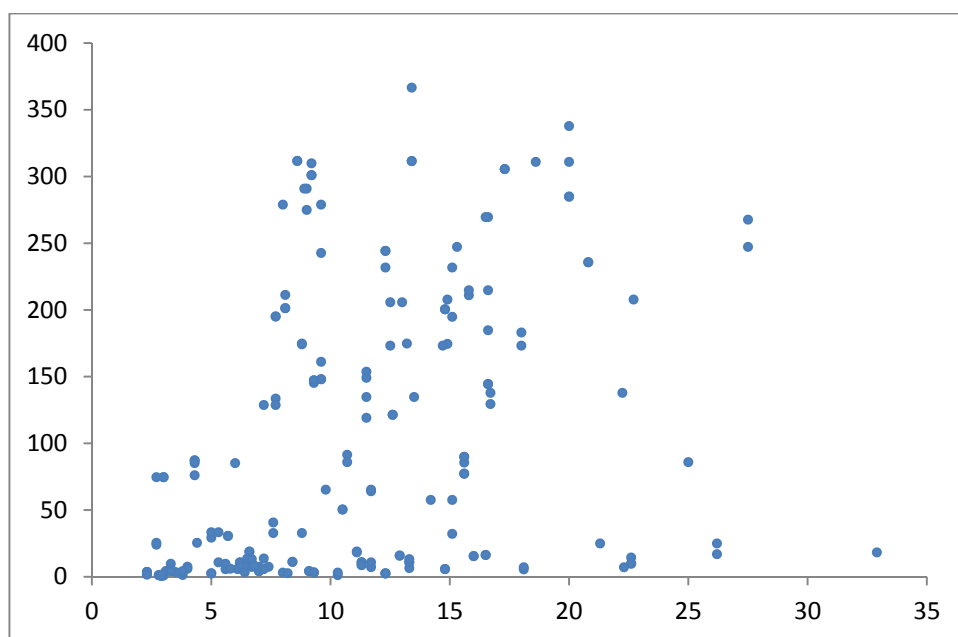
De las magnitudes que para los diferentes países europeos analizados alcanzan tanto el índice sintético de capital relacional como los diferentes índices simples que lo componen, los resultados principales obtenidos son los siguientes:

1) Finlandia, Dinamarca, Suecia y Estonia ocupan los primeros puestos. Alemania, Irlanda, y Bélgica las siguen muy de cerca.

2) Cabe destacar que respecto al primer índice de capital relacional –que hacía referencia a la cifra relativa de pequeñas y medianas empresas que desarrollaban actividades internas de innovación- Alemania y Austria se sitúan a la cabeza de este indicador durante toda la extensión del panel; por su parte, Francia, España o el Reino Unido comparten los puestos intermedios, mientras que los países de reciente incorporación a la Unión se encuentran en los tramos más modestos.

En la Gráfica 3 se representa la relación empírica existente entre el capital relacional (eje de abscisas) y la innovación (representada en el eje de ordenadas) en el conjunto de la Unión Europea durante el período 2003-2010.

Gráfica 3. Relación observada entre capital relacional e innovación en la UE-27



Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro 1 incluye la estadística descriptiva básica relativa a los datos recogidos en las gráficas anteriores. Considerando el Cuadro siguiente, podemos apreciar las enormes diferencias que existen entre los valores máximo y mínimo en los cuatro indicadores que se muestran, dados en niveles; hay que destacar que la media del porcentaje de titulados universitarios es relativamente pequeña (el 23%). Además, se observa en el índice sintético de capital tecnológico que la dispersión no es muy acusada, aunque más que el capital humano. En lo que respecta al capital relacional, también registra una amplitud considerable, considerando los valores extremos, y teniendo en cuenta que la desviación estándar contiene 0,55 veces a la media. Por último, las patentes por cada millón de habitantes -que es la variable que empleamos para aproximar la innovación- presentan una distribución geográfica aún más desigual.

Cuadro 1. Estadísticos descriptivos de las Gráficas 1, 2 y 3

	Capital humano	Capital tecnológico	Capital relacional	Innovación
Mínimo	3,600	0,135	2,300	0,700
Máximo	44,000	2,135	32,900	366,600
Media	23,455	0,731	10,819	93,728
Desviación estándar	7,765	0,469	5,913	103,962
Coefficiente de Pearson	0,331	0,643	0,554	1,110

Fuente: Elaboración propia.

5. Resultados

La función de producción de innovación del apartado anterior, cuyos factores son el capital humano, el capital tecnológico y el capital relacional, ha sido estimada utilizando técnicas de regresión clásica para datos de panel (concretamente, los modelos de efectos fijos y efectos aleatorios). De esta forma estamos en condiciones de estimar analíticamente las interrelaciones existentes entre los factores generadores de innovación con respecto a ésta.

En primer lugar, mostraremos en el Cuadro 2 los resultados obtenidos al estimar el modelo de generación de innovación tipo Translog, para los diferentes grupos de países considerados, siempre en el ámbito de la Unión Europea.

Para elaborar una especificación econométrica que nos resulte útil desde el punto de vista de la interpretación económica, hemos reescalado todas las variables, fijando unos umbrales de 1 y 10, con objeto de aplicar logaritmos y, de este modo, minimizar los problemas de heterocedasticidad que han surgido cuando hemos utilizado los datos sin haber realizado transformación alguna sobre ellos.

Cuadro 2. Estimaciones de los factores explicativos de la innovación bajo el modelo explicativo “Translog” linealizado

	UE-27		UE-15		UE- Ampliación	
Variable	Coeficiente	t-Student	Coeficiente	t-Student	Coeficiente	t-Student
Término Constante	-1,362	-4,34***	-2,319	-2,86***	-3,128	-2,74***
β_1	0,688	2,58**	1,292	3,40***	1,726	1,78*
β_2	0,876	2,18**	2,056	2,43**	1,001	0,71
β_3	1,153	3,05***	0,979	2,42**	-0,045	-0,06
γ_1	-0,228	-0,93	-0,066	-0,22	-0,775	-0,12
γ_2	-0,067	-0,60	-0,062	-0,42	-0,053	0,39
γ_3	0,122	1,56	0,080	0,76	0,060	-1,93
γ_{11}	0,051	0,42	-0,554	-1,24	-0,656	-0,76
γ_{12}	-0,226	-2,02**	-0,451	-2,21**	0,368	0,89
γ_{13}	-0,521	-2,87***	-0,294	-1,24	-0,141	-0,30
Nº Observaciones	208		112		88	
Estadísticos	Estadístico	Valor p	Estadístico	Valor p	Estadístico	Valor p
Media de la v. Dep.	-0,13	-	0,96	-	-1,68	-
Suma de cuad. residuos	8,13	-	2,04	-	6,73	-
R-cuadrado corregido	0,99	-	0,99	-	0,93	-
F	447,01	0,000	311,86	0,000	45,05	0,000
Log- verosimilitud	42,07	-	65,38	-	-11,74	-
Criterio de Schwarz	81,32	-	-22,24	-	113,02	-
CONTRASTES DE HIPÓTESIS						
Heterocedasticidad	8331,41	0,000	2840,50	0,000	77,14	0,000
Endogeneidad (Hausman)	80,52	0,000	178,67	0,000	41,68	0,000

Fuente: elaboración propia. β_1 , β_2 y β_3 recogen la sensibilidad o elasticidad que experimenta la innovación ante cambios porcentuales en el capital tecnológico, el capital humano y el capital relacional, respectivamente. *, ** y *** representan la relevancia de las variables al 10%, 5% y 1% de significación, respectivamente.

Antes de realizar una interpretación económica de las estimaciones recogidas en el Cuadro 2, vamos a plantear los signos esperados de las primeras derivadas de la función de producción translog con respecto a la innovación. En general, esperamos que para los tres cluster de países se cumplan las siguientes desigualdades:

$$\frac{\partial \ln I_{it}}{\partial \ln H_{it}} > 0; \frac{\partial \ln I_{it}}{\partial \ln K_{it}} > 0; \frac{\partial \ln I_{it}}{\partial \ln R_{it}} > 0$$

Dadas las ecuaciones de regresión estimadas, resulta inmediato aproximar tales cálculos diferenciales, considerando en primer lugar el conjunto de países de la UE-27.

$$\frac{\partial \ln I_{it}}{\partial \ln H_{it}} = 0,688 - 0,228 \ln H_{it} + 0,051 \ln K_{it} - 0,521 \ln R_{it}$$

$$\frac{\partial \ln I_{it}}{\partial \ln K_{it}} = 0,876 - 0,067 \ln K_{it} + 0,051 \ln H_{it} - 0,226 \ln R_{it}$$

$$\frac{\partial \ln I_{it}}{\partial \ln R_{it}} = 0,747 + 0,122 \ln R_{it} - 0,451 \ln K_{it} - 0,521 \ln H_{it}$$

En el caso de la UE-15, las expresiones dan lugar a las siguientes elasticidades estimadas:

$$\frac{\partial \ln I_{it}}{\partial \ln H_{it}} = 1,292 - 0,066 \ln H_{it} - 0,554 \ln K_{it} - 0,521 \ln R_{it}$$

$$\frac{\partial \ln I_{it}}{\partial \ln K_{it}} = 2,056 - 0,062 \ln K_{it} - 0,554 \ln H_{it} - 0,451 \ln R_{it}$$

$$\frac{\partial \ln I_{it}}{\partial \ln R_{it}} = 0,979 + 0,079 \ln R_{it} - 0,451 \ln K_{it} - 0,294 \ln H_{it}$$

Y por último, se muestran las regresiones estimadas de los últimos países incorporados a la Unión:

$$\frac{\partial \ln I_{it}}{\partial \ln H_{it}} = 1,726 - 0,78 \ln H_{it} - 0,655 \ln K_{it} - 0,141 \ln R_{it}$$

$$\frac{\partial \ln I_{it}}{\partial \ln K_{it}} = 1,001 - 0,053 \ln K_{it} - 0,655 \ln H_{it} + 0,367 \ln R_{it}$$

$$\frac{\partial \ln I_{it}}{\partial \ln R_{it}} = -0,045 + 0,079 \ln R_{it} + 0,367 \ln K_{it} - 0,141 \ln H_{it}$$

A partir de estas ecuaciones diferenciales, comprobamos que las variaciones porcentuales de la innovación ante incrementos porcentuales de los inputs no son constantes para cualquier magnitud de cada uno de los mencionados inputs. Para obtener una aproximación de cuál sería la magnitud de cada una de ellas en cada contexto espacial de la Unión Europea, vamos a aproximar cada uno de los factores explicativos sustituyéndolos por su media aritmética, en las ecuaciones correspondientes, esbozando de esta forma el sentido de la monotonía de las funciones de producción de innovación translog, y obteniendo igualmente los valores de las elasticidades de los factores generadores de innovación. Cabe añadir, además, que solamente se han considerado las estimaciones significativas a un nivel de confianza superior al 90% (equivalente al 10% de significación).

Cuadro 3: Elasticidades estimadas de los determinantes de la innovación

	UE-27	UE-15	UE- Ampliación
ε_K	0,455	2,055	1,726
ε_H	0,339	0,697	1,001 (#)
ε_R	0,058	0,34	-0,045 (#)

Fuente: Elaboración propia. Los valores con el símbolo (#) no son significativos al 90% de confianza.

En primer lugar, hay que señalar que la interpretación de los resultados del Cuadro 3 ha de realizarse con prudencia, pues existen diversos niveles de significatividad de las variables en cada caso, y dichos valores se han obtenido aplicando criterios subjetivos; sin embargo, en todos los casos, la elasticidad de los inputs más elevada se ubica en capital tecnológico. Por ello, es el factor explicativo que más contribuye al incremento de la innovación en su conjunto en todos los ámbitos espaciales considerados.

En relación con los resultados plasmados en el Cuadros 2 cabe resaltar las siguientes conclusiones:

En primer lugar, se comprueba que el capital tecnológico es más relevante en el ámbito de la UE-15 y en la UE-Ampliación, por este orden, dando lugar a unas elasticidades del capital tecnológico superiores a la unidad en ambos casos; ello se aprecia con la estimación de la elasticidad asociada al capital tecnológico en cada uno de los tres modelos, arrojando una aportación positiva, significativa y elástica sobre la innovación y el progreso científico en general, mientras que no se observa esa relación tan intensa en el conjunto de países de la UE-27. En segundo lugar, el capital humano también es un factor relevante para observar el comportamiento de la innovación, de forma bastante significativa en la UE-15, moderadamente relevante en la Europa de los veintisiete y estadísticamente no significativa respecto de la innovación en los países de la ampliación.

Por su parte, considerando las elasticidades estimadas que se presentan en el Cuadro 3, se puede afirmar que la educación terciaria influye significativamente en la generación de innovación, existiendo –al igual que ocurría con el capital tecnológico- una relación positiva aunque inferior a la unidad en la UE-15 y entre el conjunto de la UE-27. En el caso del capital relacional, este factor también influye significativamente sobre la innovación, aunque con una aportación más discreta; en la UE-15, esta elasticidad porcentual se sitúa en un 0,34%, mientras que en la UE-27, dicha cifra apenas llega a 0,04, dejando de ser relevante estadísticamente en el caso de los últimos Estados adheridos a la Unión.

Además, destacar que los cuadrados de las cifras de capital tecnológico, humano y relacional (en logaritmos) no afectan a la generación de innovación, esto es, que no parece existir una relación funcional cuadrática entre la innovación y los determinantes que aquí se plantean (ver de nuevo el Cuadro 2).

En el análisis de los productos cruzados de los tres factores, se comprueba que el producto del capital tecnológico con el relacional inciden negativamente y de manera significativa sobre la innovación (en la UE-15 y en la UE-27, no siendo significativa la relación en el tercer modelo), mientras que el producto del capital humano con el relacional también daría lugar a una disminución porcentual de la innovación, solamente en el primer modelo (UE-27), siendo los resultados de los otros dos insuficientemente

significativos desde el punto de vista estadístico. Además, el producto de logaritmos de capital humano y capital tecnológico tampoco afecta significativamente a la producción de innovación.

En términos de calidad del ajuste, podemos comprobar en el Cuadro 2 que el modelo que mejor explica la innovación es el de la UE-15, pues arroja un estadístico de Schwarz menor, y además posee el mayor nivel de verosimilitud de los tres; al igual que ocurría con el modelo Cobb-Douglas, en la estimación de la función translog se detecta la existencia de heterocedasticidad entre grupos, lo que indica que en los tres modelos existen, a su vez, diferentes subgrupos con un comportamiento común de la innovación en cada uno de ellos, pero diferente entre sí. Además, en los tres casos hemos estimado el modelo translog empleando efectos aleatorios en una primera etapa, obteniendo unos p-valor asociados al contraste de Hausman que son asintóticamente iguales a cero, lo que es suficiente para recurrir a la estimación mediante efectos fijos, añadiendo además que el estadístico de Hausman más elevado lo encontramos en el conjunto de la UE-15.

Una vez analizada la relevancia de la innovación desde el punto de vista de la función de producción translog, pretendemos continuar con el análisis econométrico, planteando otras posibles formas funcionales, para comprobar cuál de todas ellas se ajusta mejor al comportamiento de los datos.

En primer lugar, hay que señalar que ambos modelos se han estimado bajo las hipótesis de los efectos fijos, bajo el método de la máxima verosimilitud en modelos no lineales de panel; hay que añadir, además, que no ha sido posible obtener las estimaciones del cluster de países de reciente ingreso en la UE, pues el proceso iterativo de estimación de los parámetros generó problemas de invertibilidad dentro de las matrices utilizadas.

Por otro lado, y antes de realizar el análisis económico de los resultados, se advierte que las elasticidades de cada uno de los inputs generadores de innovación se han calculado en base a la definición logarítmica de la elasticidad. Teniendo presente la ecuación (4), y aplicando dicha identidad, se extraen las siguientes conclusiones:

$$\beta_1 = \frac{\partial \ln I_{it}}{\partial \ln K_{it}} = v\alpha$$

$$\beta_2 = \frac{\partial \ln I_{it}}{\partial \ln H_{it}} = v\beta$$

$$\beta_3 = \frac{\partial \ln I_{it}}{\partial \ln R_{it}} = v\alpha + v\beta + v$$

En el Cuadro 4, mostramos los resultados econométricos de la estimación de la función de producción CES, cuya especificación econométrica fue aproximada por Kmenta (1971).

Cuadro 4. Estimaciones de los factores explicativos de la innovación bajo el modelo explicativo “CES” linealizado

	UE-27		UE-15	
Estimación	coeficiente	t-student	coeficiente	t-student
Constante	-3,859	-21,33***	-4,002	-11,18***
v	2,937	21,95***	3,016	15,64***
ρ	-0,239	-4,99***	-0,309	-2,63***
α	-0,885	-21,66***	-0,824	-14,49***
β	0,060	1,16	-0,148	-2,86***
β_1 Inferido	0,514	15,96***	2,484	10,97***
β_2 Inferido	0,177	1,23	0,447	0,91
β_3 Inferido	0,352	0,17	0,090	0,023
N° Observaciones	208		112	
Media de la v. Dependiente	-0,13		0,96	
R²	0,73		0,76	
Log-verosimilitud	-275,21		-99,67	
Criterio de Schwarz	577,11		222,92	
Elasticidad de sustitución	0,81		0,76	

Fuente: Elaboración propia. β_1 , β_2 y β_3 recogen la elasticidad de la innovación ante cambios porcentuales en el capital tecnológico, el capital humano y el capital relacional, respectivamente. *, ** y *** representan la relevancia de las variables al 10%, 5% y 1% de significación, respectivamente.

Si tenemos presentes las derivadas parciales planteadas anteriormente para obtener las elasticidades directas de cada factor explicativo a la innovación (capital tecnológico, humano y relacional), vemos que dichos resultados quedan en función de los valores ya estimados en la regresión no lineal, aunque resulta inmediato inferir sus valores, sustituyéndolos por las estimaciones correspondientes. Por su parte, los estadísticos t de Student se calculan en base a su definición estadística, esto es, como un cociente entre el promedio del estimador y su desviación típica. En nuestro caso, habrá que inferir cuál es el promedio o valor esperado del producto de estimaciones $v\alpha$, $v\beta$ y $v\alpha + v\beta + v$; estos cálculos resultan sencillos, aplicando las propiedades básicas de los momentos de primer y segundo orden que se derivan de las variables aleatorias, obteniendo la esperanza del producto de estimadores, por un lado, y su varianza, para derivar de ésta la desviación típica, del siguiente modo:

$$E[v\alpha] = Cov[v, \alpha] + E[v]E[\alpha]$$

$$Var[v\alpha] = E[v^2\alpha^2] - E[(v\alpha)^2]$$

Obtenidas las elasticidades de los distintos inputs a la innovación (que también se incluyen en el Cuadro 4), comprobamos que ésta es bastante sensible a incrementos en el capital tecnológico, es decir, reacciona positivamente y con solidez a los incrementos porcentuales de la inversión (pública y privada) en actividades relacionadas con la investigación y el desarrollo, tanto en el ámbito de la UE-15 como si consideramos la UE-27; sin embargo, ni el capital humano ni el capital relacional resultan significativos para explicar el comportamiento de la innovación en la Unión Europea.

También podemos apreciar que los valores obtenidos varían moderadamente en función de situarnos en uno u otro modelo; el parámetro “ v ” expresa el grado de homogeneidad de la función generadora de innovación; existirán, por tanto, rendimientos crecientes de escala entre los determinantes de la innovación en el ámbito de la UE-15, mientras que los rendimientos de escala son decrecientes en los dos casos de estudio restantes. Por lo tanto, la homogeneidad mayor que la unidad viene explicada por el capital tecnológico en su totalidad, pues ya hemos comprobado que los otros factores no son relevantes.

Por su parte, “ ρ ” nos informa sobre la elasticidad de sustitución de factores para generar innovación, cuya expresión concreta era $\varepsilon = \frac{1}{1-\rho}$; por lo tanto, al tomar ρ valores negativos en todos los casos, el denominador de la elasticidad será mayor que la unidad, lo que supone que la elasticidad de sustitución interfactorial será menor que la unidad, y estos datos apuntan hacia la baja sustituibilidad de los factores generadores de innovación, alejándose de ser sustitutivos o intercambiables entre ellos. Concretamente, las elasticidades de sustitución de la UE-15 y UE-27 se asemejan bastante, al igual que el grado de homogeneidad aproximado por “ ν ”; en ambos casos, se estima que este parámetro toma un valor alrededor de 2,94. Por otra parte, el valor estimado de ρ informa sobre la forma de las isocuantas asociadas a la producción de innovación en un espacio de tres dimensiones, que tenderán a ser estrictamente cóncavas, a medida que el parámetro “ ρ ” se aproxime a cero, (y por tanto, la elasticidad de sustitución tienda a ser unitaria). El resto de parámetros estimados no dan lugar a ninguna interpretación económica directa.

Por último, vamos a presentar los resultados derivados de la estimación de la función generadora de innovación tipo Cobb-Douglas.

Dados los resultados que se muestran en el Cuadro 5, cabe anticipar que se han descartado del modelo algunas variables que –inicialmente- sospechábamos incidirían de forma significativa sobre la innovación, y sin embargo las estimaciones indican lo contrario. En primer lugar, la educación a lo largo de la vida laboral está inversamente relacionada con la generación de innovación, aunque ese resultado no es significativo; en segundo lugar, la generación de innovación interna de las pequeñas y medianas empresas tampoco parece mantener una relación significativamente estrecha con la innovación.

En lo que respecta a los estadísticos principales y contrastes de hipótesis recogidos en el Cuadro 5, destacamos que el criterio de selección de modelos de Schwarz señala el modelo de la UE-15 como el más eficaz para explicar la dinámica de la innovación; además, advertimos que existe heterocedasticidad entre los diferentes grupos de países, tanto en la UE-15 como en la Europa de los veintisiete, lo cual parece razonable e indica que existen diversos grupos de países con niveles de innovación semejantes (escasa

varianza intragrupos), pero manteniendo cierta distancia con respecto a otros (desigualdad intergrupos significativa).

Cuadro 5: Estimaciones de los factores explicativos de la innovación bajo el modelo explicativo “Cobb-Douglas” linealizado

	UE-27		UE-15		UE- Ampliación	
Variable	coeficiente	t-Student	coeficiente	t-Student	coeficiente	t-Student
Constante	-0,841	3,92***	-0,673	-1,84*	-2,728	-8,14***
β_1	0,288	2,13**	0,739	3,92***	0,378	1,91*
β_2	0,176	1,74*	0,204	2,25**	0,414	1,91*
β_3	0,103	1,70*	0,136	1,98*	0,125	1,25
Dummy año 2006	-	-	-	-	0,279	3,43***
Dummy año 2007	0,118	2,52**	-	-	0,269	3,28***
Dummy año 2008	-0,295	-6,35***	-0,228	-4,82***	-0,434	-5,27***
Dummy año 2009	-	-	-0,119	-2,38**	-	-
Nº Observaciones	208		112		88	
	Estadístico	Valor p	Estadístico	Valor p	Estadístico	Valor p
Media de la v. dep	-0,13	-	0,96	-	-1,68	-
Suma cuad. residuos	8,13	-	2,11	-	4,13	-
R ² corregido	0,98	-	0,98	-	0,95	-
F	447,01	0,000	359,10	0,000	93,63	0,000
Log-verosimilitud	42,07	-	63,24	-	9,66	-
Criterio de Schwarz	81,32	-	-32,11	-	56,77	-
CONTRASTES DE HIPÓTESIS						
Heterocedasticidad	1211,41	0,000	1273,6	0,000	-	-
Endogeneidad (Hausman)	40,65	0,006	14,87	0,02	3,94	0,685

Fuente: Elaboración propia. β_1 , β_2 y β_3 representan la elasticidad de la innovación ante cambios porcentuales en el capital tecnológico, humano y relacional, respectivamente. *, ** y *** representan la relevancia de las variables al 10%, 5% y 1% de significación, respectivamente.

Considerando los resultados empíricos del Cuadro 5, cabe decir que los contrastes de endogeneidad de Hausman indican que tanto los países de la UE-15 como el conjunto de la UE-27 se modelizan mejor estimando un modelo de efectos fijos respecto a aplicar

el modelo de panel alternativo (efectos aleatorios), mientras que los países de reciente ingreso en la Unión se modelizan mejor mediante un modelo de efectos aleatorios.

Además, podemos destacar que, en el ámbito de la UE-27, el capital tecnológico es la variable que más contribuye a la generación de innovación; el estimador asociado a dicha variable ofrece una elasticidad de 0,29, siendo significativa con un 95% de confianza. A dicha variable le sigue el capital humano, quien presenta una elasticidad con respecto a la innovación de 0,18, aunque en este caso, solamente es significativa al 90% de confianza; por su parte, el capital relacional -aproximado como la cifra relativa de PYMES que desarrollan actividades de innovación colaborativa con otras empresas también es significativo al 90%, pero contribuye al incremento de la innovación con una elasticidad de 0,1, inferior a las anteriores, si bien las magnitudes de las elasticidades asociadas a cada factor explicativo de la innovación se comportan de acuerdo al planteamiento teórico de la Figura 1 del presente capítulo.

En lo que respecta a las estimaciones obtenidas para el grupo de países UE-15, observamos que se incrementa la bondad de las estimaciones calculadas. La elasticidad del capital tecnológico a la innovación, siendo significativa al 99% de confianza, asciende a 0,74; ocurre lo mismo con el capital humano, cuya elasticidad se sitúa en 0,2, y la variación porcentual de la innovación ante incrementos del 1% en el capital relacional (que era de 0,1 en la UE-27 y pasa a ser un 0,14% en el ámbito de la UE-15). Asimismo, se incrementa la relevancia de estos factores explicativos de la innovación en todos los casos.

Por su parte, si consideramos el colectivo de países de reciente incorporación a la UE, comprobamos que todas las variables ven disminuida su importancia en términos de la magnitud de las elasticidades (que son menores en los tres casos), y también teniendo en cuenta la relevancia estadística, que descende en los tres factores explicativos de la innovación. Se advierte, además, que el capital relacional deja de ser significativo, esto es, en este grupo de países, los factores colaborativos entre empresas no contribuyen a generar innovación y progreso científico como tal.

En el caso del modelo de la UE-15, se verifica que la suma de elasticidades estimadas da lugar a una cifra superior a la unidad, lo que apunta hacia un contexto de economías de escala en la innovación con respecto a los factores explicativos descritos.

Por último, queda añadir que las variables ficticias temporales de cada año indican que el hecho de situarnos en un determinado año, puede influir sobre el comportamiento del progreso científico. En concreto, en la UE-27 influye positivamente sobre la innovación el hecho de situarnos en el año 2007, y un empeoramiento de la innovación si analizamos el coeficiente asociado al año 2008; las causas de ello probablemente las encontraremos en un descenso generalizado de las actividades de innovación debido a la situación de recesión económica internacional que tuvo lugar en dichos períodos. Del mismo modo, los países que componen la UE-15 muestran una reducción significativa de la innovación en los años 2008 y 2009, circunstancia que tiene una explicación semejante al caso anterior.

En los países de reciente incorporación a la Unión, comprobamos que existe un incremento significativo de la innovación en los años 2006 y 2007, probablemente debido a las exigencias de la política Comunitaria en materia de progreso científico a estos países, que partían de niveles de innovación sustancialmente menores que los países consolidados en la Unión Europea; ello lo corrobora la media de la variable dependiente (0,96 para la UE-15 y -1,68 en el caso de los últimos países anexionados a la UE).

En resumen, podemos puntualizar que los países más veteranos en la Unión Europea presentan una innovación que está más influida por el capital tecnológico, el capital humano y el capital relacional, por este orden. También comprobamos en las especificaciones econométricas (Cobb-Douglas, CES y Translog) que, en el ámbito de la UE-15, los tres determinantes considerados son más relevantes para explicar la innovación que en el resto de casos estudiados (la UE-27 y los doce últimos países incorporados a la Unión). Ello puede deberse a que poseen más facilidades tecnológicas y relacionales que el resto; también podríamos añadir que en dichos países se ha consolidado la protección jurídica de las actividades derivadas de la innovación, mediante su regulación con textos legales adecuados, dando facilidades a los

investigadores e inventores para patentar sus nuevos productos y procesos, otorgando, en definitiva, mayores privilegios que en los países de reciente ingreso en la Unión; por ello, éstos podrían ser menos propensos a generar innovación y se ha comprobado que los determinantes de ésta no son homogéneos en el contexto de la Europa Comunitaria, en función de la zona geográfica a que nos refiramos.

Hay que destacar también la variabilidad de las estimaciones obtenidas en función del conjunto de países que consideremos, que es bastante dispar; por ejemplo, en relación con la UE-15, se obtuvo una elasticidad del capital humano con respecto a la innovación de 0,2 a través de la especificación Cobb-Douglas linealizada, mientras que dicha elasticidad asciende a 0,68 con la función translog; ocurre algo parecido con la elasticidad del capital tecnológico respecto a la innovación, que pasa de situarse en 0,74 (rendimientos decrecientes de escala) si se estima con la función Cobb-Douglas linealizada, a 2,06 (rendimientos crecientes de escala) si atendemos a los resultados del modelo translog.

En cualquier caso, vemos que los cálculos efectuados sobre la influencia de los distintos factores sobre la innovación mantienen una jerarquía en términos de su incidencia, es decir, en todos los modelos el capital tecnológico es el factor que más contribuye a la generación de innovación, seguido del capital humano, medido como el porcentaje de titulados superiores por cada mil habitantes en cada país, y la tercera fuente de estímulo de la innovación es el capital relacional, que incorpora todos aquellos aspectos de colaboración, coordinación y afinidad en las relaciones interempresariales, y de empresas con otras instituciones en materia de innovación y progreso científico que – como se puede observar en los resultados- poseen cierta influencia sobre aquéllos, y aunque su importancia se sitúa en un segundo plano, resulta trascendental incorporar dicha variable a los factores explicativos de la innovación.

6. Conclusiones

En esta investigación se propone la existencia de un nuevo mecanismo impulsor de la innovación, basado no sólo en la acumulación del conocimiento y los factores tecnológicos, sino en las relaciones colaborativas entre las empresas.

Hemos contrastado empíricamente -siempre dentro de la Unión Europea, aunque seleccionando diferentes grupos de países en función de la cronología de ingreso en dicho organismo- los determinantes de la innovación en la última década, a partir de un panel de datos que va completando la Comisión Europea anualmente.

Las principales conclusiones del análisis efectuado son las siguientes:

Con nuestra base de datos de los países europeos hemos encontrado evidencia de que el capital tecnológico, particularmente el núcleo que hemos sintetizado en el gasto público y privado en I+D, explica la producción de innovación, seguido de otro factor que contribuye a la generación de aquélla, como es el capital humano, aunque lo hace en menor proporción.

Además, hemos detectado la influencia en la innovación de otro determinante que no se encuadra dentro de las variables tradicionales empleadas para explicar la innovación; tal variable la hemos denominado capital relacional, y cuantifica con cierta precisión las relaciones colaborativas entre las empresas, demostrándose que influyen positiva y significativamente en la creación de innovación, de forma bastante significativa en el contexto de la UE-15, y en menor medida en la UE-27.

El capital humano tiene un efecto consolidado sobre la innovación, tanto en el tiempo como en las diferentes particiones que se han realizado en el panel de datos, esto es, la cifra relativa de graduados o licenciados universitarios incide positivamente en la generación de innovación, ya sea entre los países de la UE-15, así como en el conjunto de la actual Unión Europea, y también considerando solamente los países incorporados a la Comunidad en 2004 y 2007, aunque en este último caso con menor relevancia.

El análisis realizado muestra que lo que llamamos capital relacional, esto es, la capacidad de generar innovación a través de la colaboración y apoyo de las diferentes instituciones, empresas y éstas entre sí (que ocurren fuera del mercado) tienen un papel positivo y relevante en la producción de innovación y progreso tecnológico.

En definitiva, cabe concluir que la innovación registrada en los países europeos tiene lugar mediante un proceso basado en las etapas siguientes:

En la primera etapa, se forma adecuadamente el capital humano, en las empresas y en las universidades, junto con los centros de capacitación profesional. Del mismo modo, tanto las empresas privadas como las instituciones públicas proporcionan la plataforma tecnológica, que hemos denominado capital tecnológico.

Finalmente, en una segunda etapa, conviene reiterar que los factores institucionales (tales como las relaciones colaborativas entre universidad, empresas privadas y administración pública), que hemos denominado capital relacional, afectan positivamente a la aplicación de capital humano y capital tecnológico para generar innovación, aunque el factor relacional contribuye de forma complementaria con respecto al resto de factores a fomentar la innovación.

En resumen, los resultados obtenidos indican que la estructura de las relaciones entre los factores tradicionales (plataforma tecnológica y capital humano) y la innovación registrada en los países de la Unión Europea de los quince y de los veintisiete presenta gran complejidad. En este sentido, adquiere un carácter sumamente relevante la realización de investigaciones futuras que profundicen en los numerosos aspectos que se han tratado en esta investigación y que permitirán avanzar en el conocimiento de cómo estos factores actúan sobre la innovación, y ésta, a su vez, sobre el desarrollo económico y el bienestar de los países europeos.

7. Referencias

Barge-Gil, A., Santamaría, L. y Modrego, A. (2011): “El papel de las universidades y los centros tecnológicos como impulsores de la actividad innovadora”, *Papeles de Economía Española*, 127, pp. 59-88.

Barro, R. J. (1991): “Economic Growth in a Cross Section of Countries”, *Quarterly Journal of Economics*, 106 (2), pp. 407-443.

Beneito, P., Rochina, M.E. y Sanchís, A. (2011): “La experiencia en I+D como factor determinante de la innovación”, *Papeles de economía española*, 127, pp. 89-102.

Berry, C. R. y Glaeser, E. L. (2005): “*The Divergence of Human Capital Levels Across Cities*”, NBER Working Paper N° 11617. University of Chicago.

Black, D., y Henderson V. (1998): “A theory of urban growth”, *Journal of Political Economy* 107 (2), pp. 252 – 84.

Eaton, J., y Eckstein Z. (1997): “Cities and growth: Theory and evidence from France and Japan”, *Regional Science and Urban Economics*, 27 (4-5), pp. 443–74.

European Innovation Scoreboard (2003-2010): *Innovation Scoreboard*. Comisión Europea.

Florida, R. (2002a): *The Rise of the Creative Class. And how it's transforming work, leisure, and everyday life*. New York: Basic Books.

Florida, R. (2002b): “The Economic Geography of Talent”, *Annals of the Association of American Geographers*, 92 (4), pp. 743-755.

Florida, R. (2002c): “Bohemia and economic geography”, *Journal of Economic Geography*, 2, pp. 55-71.

Florida, R. (2005a): *Cities and the Creative Class*, New York: Routledge.

Florida R. (2005b): *The Flight of the Creative Class*, Harpers Business.

Florida, R. (2006): “Where the brains are”, *The Atlantic Monthly*, 298 (3), pp. 34.

Glaeser, E. L., Sheinkman, J.A. y Sheifer A. (1995): “Economic growth in a cross-section of cities”, *Journal of Monetary Economics* 36:117–43.

Glaeser, E. L. (1998): “Are cities dying?”, *Journal of Economic Perspectives*, 12, pp. 139–60.

Glaeser, E. L. (1999): *The future of urban research: Nonmarket interactions*. Washington, DC: Brookings Institutions.

Glaeser, E. L. (2000a): The new economics of urban and regional growth, *The Oxford handbook of economic geography*, ed. G. Clark, M. Gertler, and M. Feldman, pp. 83-98. Oxford University Press.

Glaeser, E. L. (2000b): “Cities and Ethics: An Essay for Jane Jacobs”, *Journal of Urban Affairs*, 22(4), pp. 473-494.

Glaeser, E. L., Kolko, J. y Saiz. A. (2001): “Consumer city”, *Journal of Economic Geography*, 1, pp. 27–50.

Glendon, S. (1998): “Urban life cycles”, Working paper. Cambridge, MA: Harvard University.

Jacobs, J. (1961): *The Death and Life of Great American Cities*, New York: Random House.

Jacobs, J. (1969): *The Economies of Cities*, New York: Random House.

Kmenta, J. (1967): “On estimation of the CES production function”, *International Economic Review*, 8 (2), pp. 180-192.

Lucas, R. E. (1988): “On the mechanics of economic development”, *Journal of Monetary Economics*, 22 (1), pp. 3-42.

Porter, M. y Kramer, M. (2011): “How to reinvent capitalism- and unleash a wave of innovation and growth”, *Harvard Business Review*, 1101, pp. 1-17.

Rauch, J. E. (1993): “Productivity gains from geographic concentrations of human capital: Evidences from cities”, *Journal of Urban Economics*, 34, pp. 380-400.

Romer, P. M. (1986): “Increasing returns and long-run growth”, *Journal of Political Economy*, 94 (5), pp. 1002-1037.

Romer, P. M. (1987): “Crazy explanations of the productivity slowdown”, NBER Macroeconomics Annual. 2, pp. 163-202.

Romer, P. M. (1990): “Endogenous technological change”, *Journal of Political Economy*, 98 (5), pp. 71-102.

Sánchez, M.P. y Salazar, J.C. (2010): “El papel de la innovación en el nuevo modelo económico español”, Cátedra UAM-Accenture en Economía y Gestión de la Innovación.

Shapiro, J. M. (2006): “Smart Cities: Quality of Life, Productivity, and the Growth Effects of Human Capital”, *The Review of Economics and Statistics*, 88 (2), pp. 324-335.

Simon, C. (1998): “Human capital and metropolitan employment growth”, *Journal of Urban Economics*, 43, pp. 223 – 43.

Solow, R. M. (1956): “A contribution to the theory of economic growth”, *Quarterly Journal of Economics*, 70 (1), pp. 65-94.

Solow, R. M. (1957): "Technical change and the aggregate production function", *Review of Economics and Statistics*, 39, pp. 312-320.

Solow, R. M. (1970): *Growth theory: an exposition*, Oxford: Clarendon Press.

Young, A. (1998): "Growth without scale effects", *Journal of Political Economy*, 106 (1), pp. 41-63.

Capítulo 3: Eficiencia técnica de la generación de innovación en la Unión Europea

RESUMEN

En este artículo analizamos la eficiencia técnica de la innovación en la UE-27. En particular, se estima la eficiencia técnica a partir de funciones de producción. Para analizar estas cuestiones, se utilizó el mismo panel de datos que en el capítulo 2. Por último, se han realizado fronteras determinísticas y estocásticas para estimar la eficiencia técnica y hemos seleccionado el método de frontera de producción estocástica como modelo más fiable para estimar la eficiencia técnica de la innovación europea.

1. Introducción

En el proceso innovador desarrollado dentro de los países de la actual Unión Europea, vamos a considerar la posibilidad de que la eficiencia técnica de tales actividades de innovación sea distinta dentro del conjunto de países que vamos a considerar. Con ello, se logra una modelización de la producción de innovación lo suficientemente sólida como para valorar qué países son punteros en la utilización eficiente de los inputs para generar innovación, y cuáles de aquéllos tendrían que considerar la posibilidad de modificar su estrategia innovadora, básicamente definida por la combinación de los inputs que, conjuntamente, generan innovación, como son el capital tecnológico, el capital humano y los factores colaborativos entre empresas e instituciones que – suponemos, *a priori*– facilitan la producción de innovación en cada uno de los países, a lo que denominaremos capital relacional. Al igual que en el capítulo 2, partiremos de un panel de datos obtenido a partir del *European Innovation Scoreboard*, informe publicado anualmente por la Comisión Europea desde 2003 hasta 2010 ambos inclusive, para el conjunto de los 27 países de la Unión Europea.

En general, existen diferentes puntos de vista que intentan abordar la cuestión de la eficiencia; sin embargo, tal es su complejidad que dicho concepto ha sido desagregado por la teoría económica en dos componentes, cuya multiplicación ortogonal da lugar a la *eficiencia económica*. El primero de ellos, denominado *eficiencia asignativa*, trata de averiguar en qué medida se contratan inputs de modo eficiente, esto es, los factores productivos son retribuidos con los mismos precios competitivos. Por su parte, el segundo componente de la eficiencia económica se denomina *eficiencia técnica*, que se define como la maximización del output, considerando unas cantidades de inputs determinadas, y una tecnología o forma determinada de combinar tales inputs.

En nuestro caso, nos centraremos en cuantificar el grado de eficiencia técnica existente en cada país, en comparación, con el resto, para así elaborar un ranking, y mostrar qué países son los que maximizan la eficiencia técnica en la innovación que generan, considerando los inputs que poseen.

La estructura de éste artículo será la siguiente. En el siguiente apartado se presentará una breve revisión de literatura. En el tercer apartado se abordará el marco teórico. Para ello, nos apoyaremos en dos metodologías de estimación conocidas: las fronteras de producción determinísticas y las fronteras de producción estocásticas, que serán revisadas en el apartado tercero, para especificarlas dentro del modelo teórico como funciones de producción translog. En el apartado cuarto, se presentan los datos y las variables empleadas en el modelo; posteriormente, presentamos y analizamos los resultados econométricos obtenidos, y en último lugar, destacamos una serie de conclusiones en base a dichos resultados empíricos.

2. Revisión literaria

La cuestión de la eficiencia técnica ha sido planteada en las últimas décadas por numerosos autores, adquiriendo especial relevancia al aplicarse a la estimación de funciones de producción agregada; de este modo, la mayoría de los trabajos en este

campo se han enfocado hacia el estudio de la eficiencia técnica en la generación de valor añadido y de la productividad total de los factores.

En primer lugar, Afriat (1972) analizó los principales estudios previos que se habían publicado, relativos al análisis de la eficiencia técnica de las funciones de producción de valor añadido, y expone –a modo de crítica- que las técnicas econométricas de estimación que se empleaban eran notablemente sencillas y predecibles, en la mayoría de los casos, aferradas al modelo clásico de regresión. De esta manera, realizó una extensión de dicho modelo teórico, introduciendo en la función de producción la posibilidad de que existiese ineficiencia en el proceso productivo, incluyendo un término de error que contenía dos componentes: uno fijo y otro que podía oscilar; dicho término adoptaba una forma exponencial, y supuso que su densidad se distribuía en base a la conocida función de densidad gamma. En el mismo trabajo, propuso el método de estimación econométrica de la máxima verosimilitud.

Posteriormente, Aigner, Lovell, y Schmidt (1977) también realizaron aportaciones interesantes en el campo de la estimación empírica de la eficiencia técnica recogida en las distintas formas funcionales que pueden tomar las funciones de producción. Al igual que Afriat (1972), sitúan la referencia inicial de la consideración de la eficiencia técnica, en el contexto del análisis económico aplicado, en el trabajo de Farrell (1957). Sin embargo, lo novedoso de estos autores radica en presentar una estimación de una función de producción estocástica, cuando los trabajos anteriores habían centrado el análisis alrededor de una frontera de producción determinística, aunque –como veremos- éste último método se ha seguido empleando. Dentro de la contrastación empírica, emplean numerosos modelos de frontera de producción, y demuestran que las estimaciones de la frontera de producción estocástica no difieren sustancialmente de las conocidas hasta ese momento, aunque los valores de máxima verosimilitud apuntan hacia una mejor aproximación de la eficiencia técnica mediante fronteras de producción estocásticas.

Por su parte, Meeusen y Van Den Broeck (1977) analizaron la eficiencia técnica del sector manufacturero francés durante 1962, y elaboraron un ranking de la eficiencia técnica existente en todos los sectores productivos de aquel momento, analizando dicho

concepto considerando la mayor parte de las metodologías de estimación de la eficiencia técnica propuestas hasta el momento; como principal resultado obtuvieron que los sectores productivos más eficientes eran las industrias del calzado, el azúcar y las bebidas; en el grupo de industrias que encabezaban la ineficiencia se situaron las industrias del vidrio y los productos lácteos.

Greene (1980), inspirado en la idea de Aigner y Chu (1968), también planteó un modelo econométrico con el objetivo de corregir el intercepto de una regresión estimada en una primera etapa, para luego comparar las estimaciones de la variable dependiente con sus verdaderos valores, excluyendo dicho intercepto común. Para ello, desarrolló un modelo de frontera de producción determinística, y obtuvo un indicador de la eficiencia técnica en la producción sectorial del sector metalúrgico de Estados Unidos.

Una gran aportación a la especificación de la ineficiencia técnica se efectuó por Schmidt y Sickles (1984), quienes estudiaron la ineficiencia considerando una función de producción dentro del sector aéreo estadounidense, empleando la metodología de los datos de panel, para un período que abarcaba desde 1970 hasta 1978, siendo las diferentes líneas aéreas los elementos observados trimestralmente durante esos ocho años. Además, plantearon una especificación novedosa del intercepto común, dentro de la estimación de las fronteras de las funciones de producción estocásticas, que consistía en asignar una variable binaria para cada una de las líneas aéreas, recogiendo de este modo el efecto individual que tenía cada una de ellas sobre la eficiencia del sector en su conjunto, y por otra parte, incluyeron el componente aleatorio de la perturbación, variable para cada empresa y en cada momento del tiempo.

Por su parte, Battese y Coelli (1992, 1995) continuaron analizando la eficiencia técnica en la función de producción para las empresas agrícolas de La India, y también consideraron la frontera de producción estocástica, y comprobaron que las empresas consideradas apenas variaban la eficiencia a lo largo del tiempo, por lo que el componente asociado a cada empresa en particular era irrelevante estadísticamente, esto es, que los cambios en la tecnología que se fueron produciendo a lo largo del período de estudio no redundaron en un incremento de la eficiencia técnica.

Por otro lado, Coto-Millán, Baños-Pino y Rodríguez- Álvarez (1999) y Baños-Pino, Coto-Millán y Rodríguez- Álvarez (2000) realizaron diversas estimaciones de eficiencia asignativa y económica respectivamente, dentro de las industrias del transporte portuario y aeroportuario en España, comprobando que los métodos paramétricos determinísticos y estocásticos difieren en sus resultados.

Más recientemente, Pires y García (2004) contrastaron empíricamente, con un panel de 35 países desarrollados en el período 1970-2000, que la mayor parte del progreso técnico observado queda explicado por el buen comportamiento de la eficiencia técnica, a pesar de que la eficiencia asignativa sufrió un empeoramiento moderado, aunque también concluyen que una parte del progreso tecnológico no queda del todo explicado por la eficiencia, ni siquiera al incorporar los gastos tecnológicos en innovación.

Por su parte, Álvarez-Pinilla, del Corral, Pérez y Solís (2007) centran su análisis sobre la evolución de la eficiencia económica del sector lácteo en la provincia de Asturias, estimando la correspondiente función de costes, y demuestran que la producción extensiva es menos costosa que la intensiva en términos de los inputs empleados, aunque también resulta más ineficiente la producción extensiva en términos de la eficiencia técnica.

Por último, Andrés y Hueth (2010) han realizado uno de los trabajos más recientes que versan sobre eficiencia técnica, estimando fronteras estocásticas de producción de café en Colombia, quienes estudiaron el sector por el lado de la oferta, y observaron que las explotaciones cafeteras más eficientes eran las mayores en tamaño (con niveles de eficiencia técnica del sector cafetero entorno al 90%), mientras que las pequeñas y medianas apenas llegaban al 70% de eficiencia técnica.

3. El modelo

A continuación, vamos a desarrollar el proceso analítico descrito en la introducción, especificando las ecuaciones necesarias que dan lugar al análisis que se pretende

realizar. La primera consideración a tener en cuenta es que, el análisis de eficiencia lo podemos enfocar desde dos perspectivas: la primera de ellas consiste en utilizar herramientas de estimación no paramétricas (básicamente, el Análisis Envolvente de Datos o DEA), y paramétricas, siendo -en este caso- las más comunes aquellas técnicas centradas en la estimación paramétrica de fronteras de producción, bien de tipo estocástico o bien determinístico.

De este modo, se plantearán dos metodologías distintas para la estimación de la ineficiencia técnica en la innovación de los países europeos, similares a las que se han comentado en la revisión de literatura.

3.1. La frontera determinística de eficiencia técnica de la innovación europea

La eficiencia técnica en la generación de innovación puede estimarse, en una primera aproximación paramétrica, con una frontera determinística, por resultar un método intuitivo y relativamente inmediato de aplicar sobre los resultados. En esta primera aproximación, siguiendo a Aigner y Chu (1968) y a Greene (1980), consideraremos una función de producción que se puede expresar en base a la ecuación (1):

$$I_{it} = f(\vec{x}_{it}, \vec{\beta}) e^{-u_{it}}, \text{ donde } u_{it} \geq 0 \quad (1)$$

Donde la variable I_{it} es la innovación relativa, registrada en cada país y para cada año, x_{it} es un vector de inputs de la innovación, como son el capital tecnológico, el capital humano y el capital relacional, y β denota un vector de parámetros asociados a cada input; por último, u_{it} recoge una perturbación aleatoria que se considera no negativa, resultado de las decisiones que han generado ineficiencia técnica de la empresa dentro del proceso productivo. En este sentido, a través de la ecuación (2) definimos un primer indicador de eficiencia técnica dentro del proceso de generación de innovación.

$$ET_{it} = \frac{I_{it}}{f(\vec{x}_{it}, \vec{\beta})} \cdot 100 = e^{-u_{it}} \cdot 100 \quad (2)$$

El indicador ET_{it} mide el grado de eficiencia técnica que representa la producción de innovación observada con respecto a la que se obtendría si la empresa utilizara sus recursos maximizando dicha eficiencia técnica. También hay que añadir que interpretaremos como el intercepto común de nuestro modelo la estimación del término constante, a quien le sumaremos el máximo valor positivo que hallemos en los residuos (para construir así la frontera de eficiencia de la función de producción de innovación).

El proceso de determinación de un indicador determinístico de eficiencia técnica finaliza con la obtención de los valores estimados de la innovación, considerando estas transformaciones.

Partiendo de la ecuación (1), vamos a suponer que la producción de innovación sigue una forma funcional translog; por lo tanto, tendremos que linealizar la ecuación (1), para lograr una forma ecuacional que resulte sencilla de estimar.

Linealizando la ecuación (1) con una transformación logarítmica, obtenemos la expresión a estimar económicamente. Dado que las elasticidades de cada input al output total no son constantes para cada variación del input correspondiente, hemos de realizar las estimaciones transformando las variables, es decir, plantear la función translog linealizada en desviaciones respecto de la media aritmética, en cuyo caso, las estimaciones asociadas a cada input de primer orden podrán ser interpretadas de forma directa como elasticidades de cada input al output observado, estando dichas estimaciones valoradas en la media geométrica de cada input (estando éstos en niveles). Considerando todas las transformaciones anteriores, el modelo econométrico a estimar partirá de la ecuación (3).

$$\begin{aligned} \text{Ln}I_{it} = & \alpha_0 + \beta_1(\text{Ln}K_{it} - \text{Ln}\bar{K}_1) + \beta_2(\text{Ln}H_{it} - \text{Ln}\bar{H}_1) + \beta_3(\text{Ln}R_{it} - \text{Ln}\bar{R}_1) + \\ & \frac{1}{2}\gamma_1(\text{Ln}K_{it} - \text{Ln}\bar{K}_1)^2 + \frac{1}{2}\gamma_2(\text{Ln}H_{it} - \text{Ln}\bar{H}_1)^2 + \frac{1}{2}\gamma_3(\text{Ln}R_{it} - \text{Ln}\bar{R}_1)^2 + \gamma_{11}(\text{Ln}K_{it} - \\ & \text{Ln}\bar{K}_1)(\text{Ln}H_{it} - \text{Ln}\bar{H}_1) + \gamma_{12}(\text{Ln}K_{it} - \text{Ln}\bar{K}_1)(\text{Ln}R_{it} - \text{Ln}\bar{R}_1) + \gamma_{13}(\text{Ln}R_{it} - \\ & \text{Ln}\bar{R}_1)(\text{Ln}H_{it} - \text{Ln}\bar{H}_1) - u_{it} \end{aligned} \quad (3)$$

En donde “K”, representa el índice de capital tecnológico, “H” denota el índice de capital humano y “R” hace referencia a la variable input denominada capital o factor

relacional; por ello, presuponemos que la innovación se produce a partir de los inputs mencionados.

Al plantear la frontera de producción de innovación determinística, estamos suponiendo que la totalidad del residuo estimado es ineficiencia observada, y estamos eliminando la posibilidad de que pueda existir una parte de ese residuo que sea aleatoria, o bien que no tengamos suficientes variables para explicarlo adecuadamente con las herramientas econométricas disponibles.

3.2. La frontera estocástica de eficiencia técnica de la innovación europea

Con el objetivo de analizar con profundidad la cuestión de la eficiencia técnica en la innovación de los países de la Unión Europea, plantearemos a continuación un modelo de fronteras de producción estocásticas, en contraposición al análisis determinístico de la eficiencia técnica visto en el apartado anterior.

En primer lugar, Wold (1938) desarrolló el teorema del que parten todos los fundamentos econométricos de este modelo en el ámbito de las series temporales; estableció que toda variable a explicar siempre se podría dividir en dos procesos, uno determinístico, que no varía con el paso del tiempo, y otro estocástico, que nace fruto de la imperfección de la regresión planteada, y tenderá a reducirse cuanto mejor explicada quede la variable dependiente (la innovación, en nuestro caso). Posteriormente, los trabajos de Aigner, Lovell y Schmidt (1977) y Meussen y Van Den Broeck (1977) consideran que el proceso de producción está sujeto a dos tipos de perturbaciones aleatorias distintas: un vector de interceptos invariante a lo largo del tiempo, para cada una de las unidades de sección cruzada (países, en nuestro caso), y un componente aleatorio, que varía en función de cada país y en cada período de tiempo.

El primer vector recoge los efectos aleatorios que pueden registrarse en la producción y no están bajo el control de la unidad de decisión, pero que son inherentes al país, mientras que el segundo de ellos incluye factores puramente estocásticos y que no son observables dentro de nuestro modelo. Dado que el primer componente del término del

error recoge los efectos individuales específicos de cada unidad productiva, según estos efectos individuales estén correlacionados o no con las variables explicativas observables, es posible aplicar dos tipos de modelos de estimación con datos de panel: el modelo de efectos fijos (en el primer caso) o el modelo de efectos aleatorios (en el segundo).

Para desarrollar el proceso de estimación econométrica de la frontera de producción estocástica, partiremos de la ecuación (4):

$$I_{it} = f(x_{it}, \beta) e^{-v_{it}} \quad (4)$$

En donde $e^{-v_{it}}$ representa la totalidad de la perturbación aleatoria, y que se descompone, a su vez, en la expresión (5):

$$e^{-v_{it}} = e^{-(\psi_{it} + \lambda_i \sum_{i=1}^{25} D_i)} \quad (5)$$

Al mismo tiempo, supondremos que ψ_{it} es una perturbación aleatoria que cumple las hipótesis de un ruido blanco descritas por el teorema de Gauss-Markov.

Por último, hay que puntualizar que la frontera de producción estocástica también va a ser planteada en base a la forma funcional translog. Por ello, la forma ecuacional a estimar resulta ser, en este caso, la ecuación (6):

$$\begin{aligned} \ln I_{it} = & \alpha_0 + \beta_1 (\ln K_{it} - \ln \bar{K}_1) + \beta_2 (\ln H_{it} - \ln \bar{H}_1) + \beta_3 (\ln R_{it} - \ln \bar{R}_1) + \\ & \frac{1}{2} \gamma_1 (\ln K_{it} - \ln \bar{K}_1)^2 + \frac{1}{2} \gamma_2 (\ln H_{it} - \ln \bar{H}_1)^2 + \frac{1}{2} \gamma_3 (\ln R_{it} - \ln \bar{R}_1)^2 + \gamma_{11} (\ln K_{it} - \\ & \ln \bar{K}_1) (\ln H_{it} - \ln \bar{H}_1) + \gamma_{12} (\ln K_{it} - \ln \bar{K}_1) (\ln R_{it} - \ln \bar{R}_1) + \gamma_{13} (\ln R_{it} - \\ & \ln \bar{R}_1) (\ln H_{it} - \ln \bar{H}_1) - \psi_{it} - \lambda_i \sum_{i=1}^{25} D_i \end{aligned} \quad (6)$$

En este caso, se planteará la regresión con un residuo distribuido en dos componentes. Un primer componente será ψ_{it} , que representa la perturbación aleatoria del modelo y – suponemos – se ajusta a las hipótesis de un ruido blanco. Un segundo componente será, $\lambda_i \sum_{i=1}^{25} D_i$, que representará la parte de ineficiencia técnica del modelo y se estima

incluyendo veinticinco variables ficticias, agrupadas en el sumatorio $\sum_{i=1}^{25} D_i$ de la ecuación (6); donde D_i tomará el valor 1 cuando, en toda la largura temporal del panel, nos refiramos al país “i”, y será 0 en el resto de casos; estas variables ficticias nos informarán sobre la influencia que posee cada país sobre la eficiencia técnica en el proceso de producción de innovación.

Así, la ecuación (7) define el indicador de eficiencia técnica para el país “i”.

$$ET_i = e^{-(\psi_{it} + \lambda_i \sum_{i=1}^{25} D_i)} = \frac{1}{e^{\psi_{it} + \lambda_i \sum_{i=1}^{25} D_i}} \quad (7)$$

Por la propia composición metodológica del indicador, se deduce que la eficiencia técnica oscilará entre cero (inexistencia de eficiencia o máxima ineficiencia) y la unidad (la máxima eficiencia en la producción de innovación). Mientras las estimaciones de los parámetros residuales que recogen el efecto individual de cada país sean significativamente diferentes de cero, la eficiencia técnica aumentará, en la medida en que la estimación de λ_i tienda a aumentar, y viceversa.

4. Datos

La base de datos que se utiliza en este capítulo es la misma que en el capítulo anterior, y está basada en los informes estadísticos *European Innovation Scoreboard*, que incluyen indicadores sobre la innovación y sobre los inputs que determinan su evolución. El período de estudio será también desde el año 2003 hasta 2010. Además, estos informes son elaborados por la Comisión Europea. De este modo, al igual que en el capítulo 2, realizaremos un estudio de los determinantes de la innovación para el ámbito de la Unión Europea de los 27. También hay que recalcar que Malta se excluye del análisis empírico por carecer de la mayor parte de las estadísticas relativas a este territorio (al igual que en el Capítulo 2); por lo tanto, nuevamente contamos con un panel de datos compuesto por los 26 países restantes de la Unión Europea.

En el Cuadro 1, se describen metodológicamente cada una de las variables que se van a emplear en esta investigación, y en el Cuadro 2 se presentan los principales estadísticos descriptivos relativos a los indicadores que se utilizan en el análisis empírico.

Cuadro 1. Estructura de los indicadores utilizados

Indicador	Definición	Fuente (años)
Innovación	Número de patentes por cada millón de habitantes que registra anualmente la Oficina Europea de Patentes (EPO).	Comisión Europea (2003-2010)
Capital tecnológico	Media aritmética de los porcentajes de gasto en I+D de origen público y privado en relación al PIB de cada país.	Comisión Europea (2003-2010)
Capital humano	Media aritmética entre el porcentaje de graduados sobre la población activa y el tanto por mil de ocupados que reciben formación continua en su puesto de trabajo.	Comisión Europea (2003-2010)
Capital relacional	Media aritmética entre el porcentaje de PYMES que desarrollan innovación con sus propios recursos y el porcentaje de PYMES que innovan en colaboración con otras empresas.	Comisión Europea (2003-2010)

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 2. Estadísticos principales de las variables empleadas en el análisis empírico.

	Output	Inputs		
	Innovación	C. Tecnológico	C. Humano	C. Relacional
Media	93,73	0,73	3,22	10,82
Mediana	32,80	0,63	16,10	19,85
Máximo	366,60	2,14	32,35	34,20
Mínimo	0,70	0,14	3,25	5,85
Desv. Típica	103,96	0,47	6,80	6,92
C. Pearson	1,11	0,02	2,11	0,64

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 2, podemos apreciar la gran variabilidad relativa que existe dentro de la innovación –medida a través del coeficiente de Pearson-, y dicha variación se ve superada únicamente por el índice de capital humano. En segundo lugar, cabe destacar que el valor medio del índice de capital tecnológico no llega al 1%, que era una de las metas marcadas por la Comisión Europea para el año 2010 cuando se comenzaron a construir estos informes. Del capital relacional hay que resaltar que presenta una dispersión moderada, junto con un valor medio más cercano al mínimo que al máximo valor de este indicador, lo que apunta a que las actividades colaborativas interempresariales son, en la mayor parte de la Unión Europea, escasas.

5. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la estimación del planteamiento teórico del análisis de la eficiencia técnica en los procesos de generación de innovación que se han planteado anteriormente.

5.1. Estimación de la frontera de producción determinística.

El Cuadro 3 recoge los principales resultados empíricos del modelo de la frontera determinística de producción de innovación tipo translog, que han sido obtenidos a partir de la estimación de la ecuación (3).

Atendiendo al Cuadro 3, conviene recordar que el modelo se ha estimado con la estructura de datos del Cuadro 1, aplicando el método de corrección de heterocedasticidad propuesto por White (1980).

En primer lugar, del Cuadro 3 cabe destacar las elasticidades de primer orden de los inputs al output relativamente elevadas que se han obtenido; por este orden, el capital tecnológico es el factor que mayor influencia ejerce sobre la innovación, superando la unidad (2,17); continuando el análisis por magnitud de la elasticidad de primer orden,

observamos que el capital humano se sitúa en segundo lugar, con una elasticidad (0,46) sensiblemente inferior a la que se obtiene del capital tecnológico; en tercer lugar se sitúa el capital relacional, que tiene menor impacto sobre la innovación (0,37), aunque resulta ser un factor significativo a la hora de explicar el comportamiento de la innovación.

Cuadro 3. Resultados econométricos de la estimación de la frontera determinística translog de la producción de innovación en la UE.

	Coefficiente	t-Student	
Término constante	3,128	20,23	***
K	2,173	22,59	***
H	0,458	2,73	***
R	0,366	2,30	**
K²	0,429	2,98	***
H²	0,0937	0,36	
R²	0,767	2,63	***
K*H	-1,006	-2,60	**
K*R	-0,777	-3,04	***
H*R	-0,226	-0,65	
Tendencia	0,275	4,13	***
Tendencia²	-0,034	-4,49	***
Estadísticos	N= 208		
F	338,46	Valor p = 0	***
R² corregido	0,945		
Akaike	911,83		
Schwarz	951,88		

Fuente: Elaboración propia. Los símbolos (*), (**) y (***) hacen referencia a la significatividad de las variables al 10%, 5% y 1%, respectivamente.

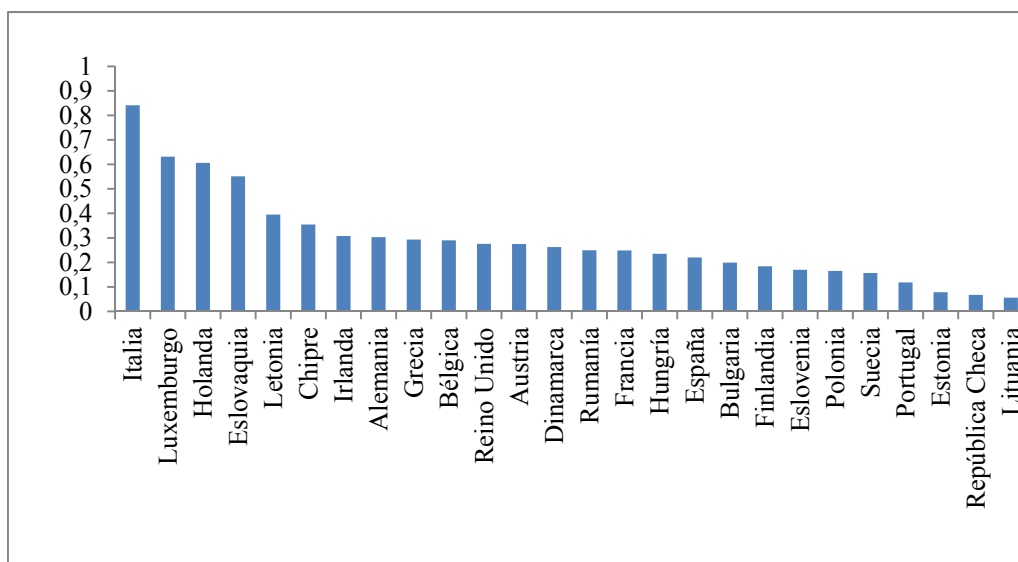
También procede analizar las estimaciones de los regresores al cuadrado, cuyo signo nos informará sobre el tipo de rendimiento marginal que se obtiene al incrementar las unidades de cada input. En el caso del capital tecnológico, resulta ser significativamente positivo, por lo que el incremento del gasto público y privado en I+D dará lugar a incrementos de la innovación en una proporción mayor, algo que coincide con la elasticidad superior a la unidad. Lo mismo ocurre con el capital relacional, cuya

estimación cuadrática es positiva y estadísticamente relevante; ello implica que unidades adicionales de inputs colaborativos entre empresas e instituciones aportan al output más de lo que cuesta adquirirlos en el mercado (a partir de cierto nivel de capital relacional), por lo que se recomienda fomentar la utilización de dicho input.

En relación con la tendencia, podemos afirmar que influye positivamente sobre la innovación, pero hay que añadir que el cuadrado de la tendencia es significativamente menor que cero, luego se intuye que el incremento de la innovación con el paso del tiempo posee un punto máximo, a partir del cual, la tendencia temporal influirá negativamente sobre la producción de innovación.

A continuación, vamos a obtener el indicador determinístico de la eficiencia técnica que se definió en el apartado 3.1, ordenado por países, de mayor a menos eficiencia técnica, considerando los resultados del Cuadro 3. Para ello, se aplicará el método propuesto por Greene (1980).

Gráfica 1. Eficiencia técnica media: fronteras determinísticas



Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfica 1 se puede observar la eficiencia técnica de la producción de innovación considerando la metodología determinística de fronteras de producción; en ella se

aprecia claramente que el líder en el aprovechamiento de los inputs de la innovación para generar innovación es Italia, seguida por Luxemburgo, Holanda y Eslovaquia, logrando todos ellos valores de la eficiencia técnica superiores al 50%. Los países del Norte y centro de Europa, como son Alemania, Austria, Francia, Bélgica y el Reino Unido se sitúan en una situación media; de todos ellos, la eficiencia técnica más elevada es la alemana (30,27%), y la más baja la registra Francia, que apenas alcanza el 25% de eficiencia técnica. Por último, Portugal, Estonia, República Checa y Lituania presentan unos niveles de eficiencia técnica menores al 15%. Llama la atención los buenos resultados de países como Eslovaquia, Letonia o Chipre, que –comparativamente- se sitúan en la cuarta, quinta y sexta posición.

Por ello, los primeros resultados de eficiencia técnica en la producción de innovación sugieren que este concepto está relacionado ni con el tamaño de un país, ni con su nivel de riqueza. También se observa una tendencia decreciente de la eficiencia técnica a lo largo del período considerado en la mayoría de los países (a juzgar por las estimaciones de la tendencia recogidas en el Cuadro 3).

5.2. Estimación de la frontera de producción estocástica

Teniendo presente el contenido teórico del apartado 3.2, vamos a realizar un segundo estudio empírico, estimando una función de producción translog, desde el enfoque de la eficiencia técnica con fronteras de producción estocásticas. Este modelo tiene la desventaja de ser menos flexible que las fronteras determinísticas que ilustran la eficiencia técnica, ya que presenta invariabilidad en el tiempo, pues se centra en captar el impacto de cada país sobre la innovación en el conjunto del período que abarca el panel.

En el Cuadro 4 se presentan las estimaciones de los coeficientes asociados a las variables ficticias correspondientes a la función de producción de innovación translog, de acuerdo a la formulación de la expresión (6), aplicando la metodología de White (1980) de corrección de heterocedasticidad.

Cuadro 4. Contribución individual de cada país a la producción de innovación.

País	Estimación		País	Estimación	
Bélgica	0,231	*	Lituania	-3,554	***
Bulgaria	-3,456	***	Luxemburgo	0,57	***
República Checa	-2,313	***	Hungría	-1,941	***
Dinamarca	0,705	***	Holanda	0,687	***
Alemania	0,865	***	Austria	0,372	***
Estonia	-2,351	***	Polonia	-3,367	***
Irlanda	-0,381	***	Portugal	-2,74	***
España	-1,392	***	Rumanía	-4,147	***
Francia	0,106		Eslovenia	-1,06	***
Italia	-0,312	**	Eslovaquia	-2,615	***
Chipre	-2,146	***	Finlandia	1,048	***
Letonia	-2,587	***	Suecia	1,006	***
Grecia	-2,46	***	Reino Unido	0,20	**

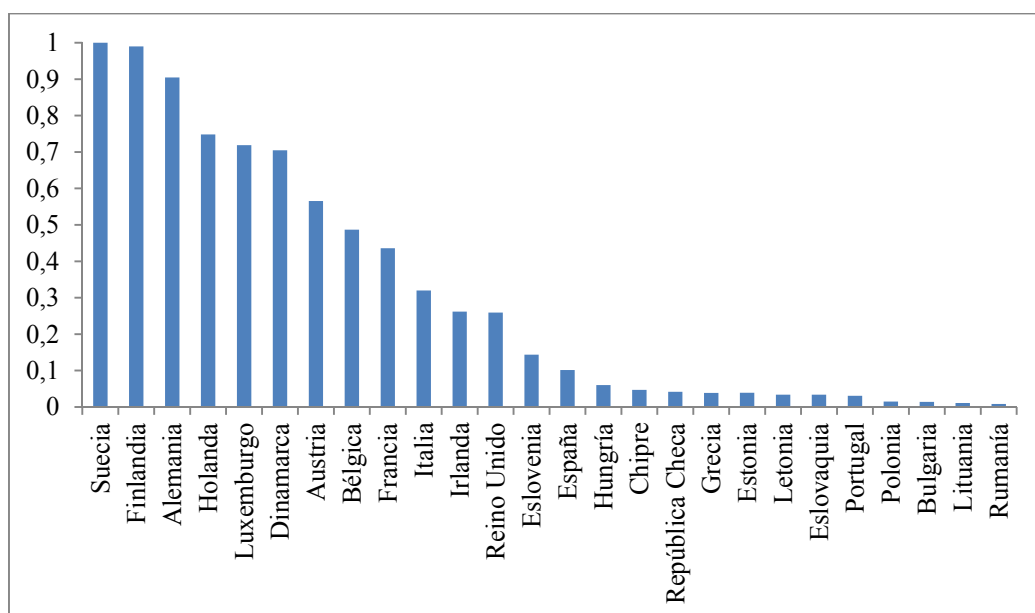
Fuente: Elaboración propia. Los símbolos (*), (**) y (***) hacen referencia a la significatividad de las variables al 10%, 5% y 1% respectivamente.

En el Cuadro 4, podemos apreciar que el efecto individual de cada país en relación con la innovación es muy diferente por países, por lo que se puede afirmar que el impacto individual de cada país sobre la innovación europea es un determinante que se omitía en la frontera determinística planteada por Greene (1980), y que hace que los resultados de eficiencia técnica en la producción de innovación sean sustancialmente distintos.

La Gráfica 2 ilustra el ranking de eficiencia técnica en la innovación europea, estimada a través de la frontera estocástica planteada en la ecuación (6).

A pesar de que si se examina la mitad del ranking más alta y más baja en los dos modelos (el determinístico y el estocástico) coinciden un 60% de los países considerados, también se aprecian disparidades reseñables en los niveles de eficiencia técnica de la innovación europea de la Gráfica 2 en comparación con la Gráfica 1.

Gráfica 2. Eficiencia técnica europea: frontera de producción estocástica



Fuente: Elaboración propia.

Al contrario de los resultados obtenidos con la frontera determinística, el ranking de la frontera estocástica lo encabezan Suecia, Finlandia, Alemania, Holanda, Luxemburgo y Dinamarca, superando todos ellos el 70% de eficiencia técnica. En la zona media se sitúan el Reino Unido, Eslovenia, España y Hungría, y cierran la clasificación Polonia, Bulgaria, Lituania y Rumanía, por este orden.

Dado que hemos planteado dos especificaciones distintas de estimación de la eficiencia técnica, consideraremos la frontera estocástica el método de estimación más fiable para dichas estimaciones, pues hemos planteado un contraste de hipótesis para captar un error de especificación de la regresión por inclusión de variables irrelevantes en el modelo, cuyo resultado apunta hacia rechazar dicho error de especificación, con un estadístico de Wald de 3.680 y un p-valor asintóticamente igual a cero.

6. Conclusiones

De la investigación realizada, concluimos que es importante analizar la composición y los determinantes de la innovación como el grado de eficiencia técnica a la hora de generar dicha innovación.

En lo que respecta a los resultados, hemos comprobado que las funciones de producción arrojan unas elasticidades de primer orden significativas, teniendo mayor importancia el capital tecnológico en dicha función, seguido del capital humano (que ocupa el segundo lugar) y el factor que menos influye sobre la producción de innovación resulta ser el capital relacional, aunque en los tres casos, influyen de forma significativa.

Además, sumando las estimaciones de los parámetros de primer orden de los inputs con respecto al output, se deduce que existen economías de escala en la producción de innovación.

En relación con la eficiencia técnica de la innovación por países, hay que destacar que Suecia lidera el índice de eficiencia técnica, dentro del método de estimación de funciones de producción estocásticas, el cual hemos seleccionado como más fiable, considerando los dos métodos paramétricos de estimación de fronteras de producción.

Además de Suecia, países como Finlandia, Alemania, Holanda, Luxemburgo y Dinamarca se sitúan a la cabeza de los países eficientes; por otra parte, Rumanía, Lituania, Bulgaria y Polonia se sitúan entre los menos eficientes, por este orden.

Por último, destacamos que la mayoría de países presentan unas cifras de eficiencia técnica (ponderada por la población de cada país) que oscilan entre el 40% y el 60%.

7. Referencias

- Afriat, S. (1972): "Efficiency estimation of production functions", *International Economic Review*, 13 (3), pp. 568-598.
- Aigner, D. y Chu, S. (1968): "On estimating the industry production function", *The American Economic Review*, 54, (4), pp. 826-839.
- Aigner, D., Lowell, C. y Schmidt, P. (1977). "Formulation and estimation of stochastic frontier production function models", *Journal of Econometrics*, 6, pp. 21-37.
- Álvarez-Pinilla, A., del Corral, J., Pérez, J.A. y Solís, D. (2007): "Efecto de la intensificación sobre la eficiencia de las explotaciones lecheras", *Economía agraria y recursos naturales*, 7 (13), pp. 91-106.
- Andrés, J. y Hueth, D. (2010): "Funciones de producción y eficiencia técnica en el eje cafetero colombiano: una aproximación con frontera estocástica", *Centro de Estudios sobre desarrollo económico*, 21.
- Baños-Pino, J., Coto-Millán, P. y Rodríguez-Álvarez, A. (1999): "Allocative Efficiency and Overcapitalization: an Application", *International Journal of Transport Economics*, XXVI (2), pp. 181-199.
- Battese, G.E. y Coelli, T.J. (1992): "Frontier production functions, technical efficiency and panel data: with application to paddy farmers in India", *Department of Econometrics, University of New England*, pp. 1- 34.
- Battese, G.E. y Coelli, T.J. (1995): "A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data, *Empirical Economics*, 20, pp. 325-332.

Coto-Millán, P., Baños-Pino, J. y Rodríguez-Álvarez, A. (2000): “Economic Efficiency in Spanish Ports: some Empirical Evidence”, *Maritime Policy and Management*, 27 (2), pp. 169-174.

Farrel, M.J. (1957): “The measurement of productive efficiency”, *Journal of the Royal Statistical Society*, 120 (3), pp. 253-290.

Greene, W. (1980): “Maximum Likelihood estimation of econometric frontier functions”, *Journal of Econometrics*, 13, pp. 27-56.

Meeusen, W. y Van Den Broeck, J. (1977): “Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error”, *International Economic Review*, 18 (2), pp. 435- 444.

Pires, J. y García, F. (2004): “Productivity of nations: a stochastic frontier approach to TPF decomposition”, *Escola de Economia de Sao Paulo, da Fundação Getulio Vargas*, 143, pp. 1- 39.

Schmidt, P. y Sickles, R. (1984): “Production frontiers and panel data”, *Journal of Business and Economic Statistics*, 2 (4), pp. 367-374.

White, H. (1980): “A heteroskedasticity- consistent covariance matrix estimator and a direct test for heteroskedasticity”, *Econometrica*, 48 (4), pp. 817-838.

Wold, H. (1938): “A Study in the analysis of stationary time series”, *Almqvist and Wiksell*, Sweden.

Capítulo 4: Eficiencia técnica de la generación de innovación en un contexto internacional

RESUMEN

En este artículo se analizan los determinantes de la innovación a escala mundial con un enfoque de eficiencia técnica. Para ello, se plantea un modelo teórico en el que se especifica una función de producción de innovación transcendental logarítmica, en la que se incluyen una serie de inputs que influyen sobre la innovación, como son el capital tecnológico, el capital humano y el capital científico. Posteriormente, se estima la eficiencia técnica con métodos econométricos estocásticos. En el artículo se estima la importancia del capital humano para impulsar la producción de innovación a nivel mundial. En este artículo se destaca también que en los últimos años los países asiáticos lideran la eficiencia técnica.

1. Introducción

La generación o producción de innovación es un aspecto que ha adquirido un protagonismo creciente en el campo del análisis económico. A partir de la segunda guerra mundial, el concepto de progreso tecnológico comenzó a tenerse en cuenta como un factor significativo dentro del crecimiento económico de los países desarrollados. (Véase Solow (1956, 1957, 1970)). La reciente depresión económico-financiera ha provocado que se cuestione el modelo productivo existente en la mayor parte de los países, o al menos una reforma sustancial del mismo. La mayor parte de las propuestas de los economistas para reformular el sistema productivo están dirigidas a (o complementadas con) basar el crecimiento económico en la economía científica, la innovación y el conocimiento. Por ello, la composición de la innovación merece ser analizada a nivel mundial, junto con sus determinantes.

En las siguientes secciones, vamos a plantear la hipótesis de que exista una relación funcional entre la innovación y sus distintos inputs determinantes.

En primer lugar, el capital tecnológico se define como la inversión (pública y privada) realizada en un país en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i). Este flujo anual de inversión contribuye a crear la plataforma tecnológica necesaria para mejorar la competitividad de la estructura productiva de cada país, dando lugar a nuevos bienes, servicios y procesos de producción que influyen positivamente sobre la productividad total de los factores y sobre el crecimiento económico, y dichos efectos, a su vez, se traducen en mejoras sustanciales de la eficiencia técnica.

Otro input que –a priori- consideramos fundamental en el proceso de generación de innovación es el capital humano. La formación académica de la población activa influye directamente sobre la creación de nuevos bienes, servicios y procesos; por ello, el capital humano impulsa el desarrollo de nuevos proyectos empresariales relacionados con la innovación. Además, el capital humano facilita el éxito de las inversiones en I+D+i; por lo tanto, estamos asumiendo que existe una relación de complementariedad entre el capital tecnológico y el capital humano en el proceso de producción de innovación.

En tercer lugar, consideramos que el capital científico también es un determinante de la evolución y la distribución de la innovación a nivel mundial. Podemos definir el capital científico como factor que está estrechamente relacionado con las capacidades intelectuales, que son medidas por las publicaciones científicas dentro de un país, en términos relativos. En este trabajo, vamos a medir el capital científico a través del número de artículos publicados en revistas especializadas con impacto científico e intelectual.

Para contrastar empíricamente las hipótesis anteriores, nos servimos de un panel de datos cuya fuente es el Banco Mundial, que incluye información sobre 91 países del mundo durante el período 2000-2009.

La estructura del artículo es la siguiente. En el apartado 2, estudiamos algunos antecedentes literarios relacionados con el análisis de la innovación y sus determinantes. En la sección 3, detallamos el marco teórico de análisis de producción de innovación, y la metodología de estimación de la eficiencia técnica. En el apartado 4, comentamos las características del panel de datos, junto con las definiciones metodológicas de cada indicador; seguidamente, realizaremos un breve análisis de estadística descriptiva relativo a estas variables. Finalmente, el apartado 5 contiene las principales conclusiones que se han extraído de este artículo.

2. Revisión literaria

El análisis económico de los determinantes de la innovación tiende a relacionarse con la infraestructura tecnológica existente y las destrezas o capacidades de los individuos que estructuran su capital humano; ambos se consideran los factores que impulsan la innovación y el crecimiento económico de los países. La consideración del factor tecnológico dentro de los modelos de crecimiento económico tiene su punto de partida en Solow (1956, 1957, 1970), quien consideraba el progreso tecnológico como un componente del crecimiento económico exógeno al output, más conocido como el *residuo de Solow*. Más adelante, Lucas (1988) sustituyó la creencia de Solow, y concluyó que era el capital humano el factor determinante de la evolución de la innovación, entendido en un sentido bastante amplio. Con esto se quiere decir que al hablar de capital humano no debemos pensar exclusivamente en el nivel educativo de los individuos; sino que habría que tener en cuenta, además, aspectos como la experiencia y sus habilidades laborales.

Otro aspecto relevante vinculado al progreso tecnológico puede ser la capacidad innovadora, los valores humanos y factores intelectuales dentro de las diferentes disciplinas científicas. En esta línea, la teoría institucional propuesta por Olson (1982) y North (1990) concibe el término instituciones en un sentido amplio. Incorporan tanto relaciones informales (valores culturales, principios éticos o principios ideológicos) como relaciones formales, tales como la forma de gobierno, el Estado de derecho, el

sistema judicial y las libertades económicas y civiles. Los estudios empíricos muestran que la incorporación de dichos factores institucionales mejoran sustancialmente la capacidad explicativa de los modelos, y señalan a las instituciones como un elemento clave del crecimiento económico (Aron (2000), Platteau (2000), Williamson (2000), Olson, Sarna and Swamy (2000), Justesen (2008) y Fabro y Aixalá (2009)). Básicamente, éstos son los factores de la teoría del crecimiento económico que se ha venido desarrollando desde mediados de los años ochenta hasta fechas recientes.

Zoltan y Audretsch (1988) se plantearon medir la actividad innovadora de las empresas norteamericanas a través de las patentes, separando las empresas por el tamaño de su plantilla. En su análisis empírico sectorial, obtienen que el gasto en I+D influye positivamente en la actividad innovadora; también influyen otras variables, como la mano de obra cualificada (capital humano) y la pertenencia de las grandes empresas a las grandes industrias. Sin embargo, factores como el grado de sindicalización de las empresas influye inversamente sobre la generación de innovación.

Más adelante, Cohen y Levinthal (1989) analizaron las capacidades tecnológicas y de aprendizaje existentes en las empresas que desarrollaban algún tipo de actividad innovadora, tomando el gasto en I+D en porcentaje de las ventas como variable dependiente; explicaron el potencial tecnológico a partir de 18 variables incluidas en encuestas, como la competencia existente en la industria, el potencial de expansión de cada empresa, los posibles efectos desbordamiento o spillover, el acceso a la tecnología del gobierno y de las universidades, etc.

Por su parte, Coe, Helpman y Hoffmaister (1997) analizaron la influencia del gasto extranjero en I+D y el capital humano sobre la productividad de los países desarrollados y en vías de desarrollo, junto con los spillover existentes entre las potencias económicas más fuertes (EEUU, Europa o Japón) sobre los países en desarrollo más cercanos geográficamente (América Latina, África y Asia, respectivamente).

Posteriormente, Romer (1990) y Breshanan y Trajtenberg (1995) propusieron distintas ampliaciones al modelo de crecimiento económico de Solow (1956, 1957) que

recogiesen factores endógenos relacionados con el progreso tecnológico, con el objetivo de minimizar el *residuo de Solow*.

Por su parte, Aghion y Howitt (1992) propusieron un modelo teórico de crecimiento que tuviese en cuenta la destrucción creativa como un factor adicional que genera riqueza. Grossman y Helpman (1994) también realizan algunas consideraciones teóricas sobre el capital tecnológico y el capital humano como los factores relevantes que componen el crecimiento económico.

Audretsch y Feldman (1996) analizaron la evolución de la innovación y la producción agregada de bienes y servicios en Estados Unidos; estos autores concluyeron que el capital tecnológico era el principal determinante del progreso técnico, cuyo enfoque considera los spillover como un componente que facilita los procesos de cambio técnico en los Estados americanos; también llegan a la conclusión de que la concentración de la innovación no influye significativamente en la producción de valor añadido, y tampoco se da el proceso inverso.

Alexopoulos (2006) modelizó el impacto de un shock tecnológico sobre el crecimiento económico, destacando que ese factor exógeno influía sobre las principales macromagnitudes: la acumulación de capital físico, la productividad total de los factores (PTF) o el nivel de empleo.

Por último, destacar que Koellinger y Schade (2009) realizaron un estudio entre los países europeos, donde analizan la innovación a partir de la tecnología de las empresas e incorporan a dicho análisis una variable que aproxima el comercio electrónico de las empresas en función de la industria a la que pertenecen, considerando numerosos factores explicativos; demuestran que las empresas con una plantilla superior a 250 trabajadores realizan más ventas a través de internet que el resto.

En relación con los autores que estudian la eficiencia técnica aplicada sobre la innovación, conviene remitir al lector a la revisión de literatura del capítulo 3, pues la metodología de análisis es análoga a la que se empleará en el presente capítulo.

3. El modelo

En el presente apartado, vamos a realizar un desarrollo analítico del modelo de producción mundial de innovación. También se planteará la metodología de estimación de la eficiencia técnica de la innovación a partir de las fronteras de producción estocásticas. Las bases del modelo teórico de producción de innovación son análogas a las descritas en los capítulos 2 y 3, si bien existe alguna diferencia entre el enfoque actual y los descritos en dichos capítulos. No obstante, las plasmamos a continuación.

En general, al igual que se planteó en el capítulo 2, se especifica una función de producción de innovación, que se puede definir matemáticamente según la ecuación (1).

$I = f(K, H, C)$, donde “ K ”, “ H ” y “ C ” simbolizan –respectivamente– el capital tecnológico, el capital humano y el capital científico.

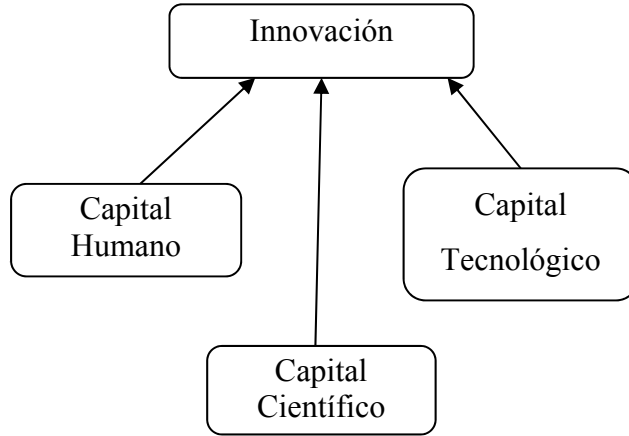
Considerando la ecuación (1), plantearemos unas propiedades analíticas que debería cumplir cualquier función de producción. Tales propiedades se detallan a continuación.

$$\begin{array}{ll} \frac{\partial I}{\partial K} > 0; & \frac{\partial^2 I}{\partial^2 K} < 0; \\ \frac{\partial I}{\partial H} > 0; & \frac{\partial^2 I}{\partial^2 H} < 0; \\ \frac{\partial I}{\partial C} > 0; & \frac{\partial^2 I}{\partial^2 C} < 0; \end{array}$$

El hecho de que las primeras derivadas de los factores impulsores de la innovación sean positivas indica que existe una relación positiva entre los factores mencionados y la innovación; sin embargo, mantenemos el supuesto clásico vinculado a cualquier input dentro de un proceso productivo; esta hipótesis predice una relación inversa entre la acumulación de un input y su rendimiento marginal. Ello implica que las segundas derivadas de cada input sean estrictamente negativas. Por lo tanto, asumiremos la presencia de productividades marginales decrecientes de los factores explicativos de la innovación.

Basándonos en los resultados empíricos de Badiola-Sánchez y Coto-Millán (2012), asumiremos que la jerarquía de relaciones de los factores explicativos con respecto a la innovación se ajusta a la representación esquemática de la Figura 1.

Figura 1. Estructura de las relaciones entre capital humano, capital tecnológico y capital científico con la innovación.



Fuente: Elaboración propia.

En base a la Figura 1, suponemos *a priori* la estructura de relaciones entre los inputs de la innovación tecnológica y ésta. Sin embargo, cabe esperar que se puedan obtener resultados distintos a los resultados de Badiola y Coto-Millán (2012), pues en este trabajo estamos considerando un conjunto mucho más amplio y heterogéneo de países. También hay que tener en cuenta que la procedencia de los datos es distinta, y el lapso temporal considerado en ambos trabajos también es diferente.

Para obtener la relación existente entre la innovación y sus determinantes o factores explicativos, plantearemos una función de producción translog, que se formula en la ecuación (2).

$$\begin{aligned}
 \ln I_{it} = & \beta_0 + \beta_K \ln K_{it} + \beta_H \ln H_{it} + \beta_R \ln C_{it} + \frac{1}{2} \gamma_K (\ln K_{it})^2 + \frac{1}{2} \gamma_H (\ln H_{it})^2 + \\
 & \frac{1}{2} \gamma_R (\ln C_{it})^2 + \gamma_{KH} \ln K_{it} \ln H_{it} + \gamma_{KR} \ln K_{it} \ln C_{it} + \gamma_{HR} \ln C_{it} \ln H_{it} - u_{it}
 \end{aligned} \quad (2)$$

Para que las estimaciones asociadas a los inputs que se relacionan linealmente con la variable dependiente sean elasticidades constantes, estimaremos la ecuación (2) en diferencias respecto de la media aritmética de los inputs (expresados en logaritmos). Además, al estimar la ecuación (2) con esta transformación, se han detectado problemas de heterocedasticidad intragrupos; por ello, se estimará el modelo de datos de panel utilizando la técnica de mínimos cuadrados ponderados.

Para incorporar la eficiencia técnica a la ecuación (2), construiremos una frontera estocástica de producción de innovación. En general, supondremos que la eficiencia técnica se puede calcular a partir de las expresiones (3) y (4).

$$I_{it} = f(\vec{x}_{it}, \vec{\beta}) e^{-u_{it}} \quad (3)$$

En la ecuación (3), $\vec{x}_{it} = (K, H, C)$. Por otro lado, $e^{-u_{it}}$ representa la totalidad de la perturbación aleatoria, que a su vez se descompone en dos componentes (ecuación (4)).

$$e^{-u_{it}} = e^{-(\psi_{it} + \lambda_i \sum_{i=1}^{91} D_i)} \quad (4)$$

Considerando la expresión (4), ψ_{it} representa la perturbación aleatoria del modelo y suponemos que se ajusta a las hipótesis de un ruido blanco. Un segundo componente será $\lambda_i \sum_{i=1}^{25} D_i$, que representará la ineficiencia técnica individualizada para cada país; este conjunto de parámetros se estiman incluyendo tantas variables ficticias como países tengamos en la base de datos. D_i simboliza una variable ficticia. Cada una de estas variables ficticias tomará el valor 1 si los datos pertenecen al país “i”, siendo 0 en el resto de casos. Así, en la ecuación (5) se define el indicador de eficiencia técnica estimada para el país “i”.

$$ET_i = e^{(\hat{\lambda}_i - \text{Max}(\hat{\lambda}_i))} \quad (5)$$

A partir de la ecuación (5), obtenemos una estimación de la eficiencia técnica con fronteras estocásticas para cada país.

4. Datos

Tras el final de la Segunda Guerra Mundial, se acordó la creación de diversos organismos internacionales con el objetivo de fijar unas condiciones políticas y económicas que garantizaran una paz duradera a nivel internacional. Uno de estos organismos fue el Banco Mundial; esta institución tiene diferentes objetivos, entre los cuales está la financiación a países en desarrollo para fomentar la convergencia de éstos con respecto a los más avanzados; pero otra función básica de este organismo radica en la recopilación de datos y todo tipo de cifras relativas a las características socioeconómicas, culturales, del desarrollo y de la integración económica en términos de la globalización y la internacionalización de la economía mundial, así como del sistema financiero.

De la base de datos que nos ofrece el Banco Mundial, hemos seleccionado una serie de variables que son relevantes para intentar demostrar las hipótesis que se plantean en este artículo. Todas ellas están relacionadas con la innovación, el nivel educativo que se registra en los distintos países, su plataforma tecnológica y aquellos aspectos de los que se desprende la existencia de destrezas científicas, lo que hace pensar que ello redundará en facilitar las labores de innovación a distintos niveles, concepto que venimos denominando capital científico.

En el Cuadro 1 definimos las diferentes variables consideradas para construir los distintos modelos de producción mundial de innovación.

Cuadro 1. Estructura de los indicadores utilizados

Indicador	Definición	Fuente (años)
Innovación (I_{it})	Solicitudes de patentes por cada millón de habitantes presentadas en todo el mundo a través del procedimiento del Tratado de cooperación en materia de patentes o en una oficina nacional de patentes por los derechos exclusivos sobre un invento.	Banco Mundial (2000-2009)
Capital tecnológico (K_{it})	Gastos de origen público y privado para incrementar la infraestructura tecnológica en porcentaje del PIB. Abarca tres campos: la investigación básica, la investigación aplicada y el desarrollo experimental.	Banco Mundial (2000-2009)
Capital humano (H_{it})	Media aritmética de los porcentajes de individuos inscritos en estudios secundarios y terciarios según las etapas de escolaridad oficial, obligatoria y postobligatoria.	Banco Mundial (2000-2009)
Capital científico (C_{it})	Publicaciones científicas y técnicas por cada millón de habitantes, relacionados con los siguientes campos: física, biología, química, matemática, medicina clínica, biomedicina, ingeniería y tecnología.	Banco Mundial (2000-2009)

Fuente: Elaboración propia.

Considerando la información sobre las variables que se incluye en el Cuadro 1, hay que aclarar que el capital humano se ha aproximado por una media aritmética entre los niveles educativos secundario y terciario, ya que su inclusión por separado en el modelo daría lugar a problemas de correlación contemporánea entre ambas variables, distorsionando los resultados econométricos.

En este trabajo se han incluido 91 países y divisiones territoriales de todo el mundo, cuyos nombres se detallan a continuación: Argelia, Argentina, Armenia, Australia, Austria, Azerbaiyán, Bangladesh, Bielorrusia, Bélgica, Bolivia, Bosnia-Herzegovina, Brasil, Bulgaria, Canadá, Chile, China, Colombia, Croacia, Cuba, República Checa, Dinamarca, Ecuador, Egipto, El Salvador, Estonia, Etiopía, Finlandia, Francia, Georgia, Alemania, Grecia, Guatemala, Honduras, Hong Kong, Hungría, Islandia, La India, Indonesia, Irán, Irlanda, Israel, Italia, Jamaica, Japón, Kazajistán, Corea del Sur,

Kirguistán, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Macedonia, Madagascar, Malawi, Malasia, Malta, México, Moldavia, Mongolia, Marruecos, Países Bajos, Nueva Zelanda, Noruega, Pakistán, Panamá, Paraguay, Perú, Islas Filipinas, Polonia, Portugal, Rumanía, Rusia, Arabia Saudí, Singapur, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Tayikistán, Tailandia, Trinidad y Tobago, Túnez, Turquía, Ucrania, Reino Unido, Estados Unidos, Uruguay, Uzbekistán, Venezuela, Vietnam y Zimbabue.

En el Cuadro 2 se recoge un resumen de la estadística descriptiva de las variables definidas en el Cuadro 1.

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de las variables.

	Innovación	C. Tecnológico	C. Humano	C. Científico
Media	137,01	1,01	57,11	227,42
Mediana	31,44	0,64	56,37	50
Máximo	3.028,3	4,86	100	1233,72
Mínimo	0,013	0	7,25	0,2
Desv. Típica	381,68	1,01	20,31	312,26
C. Pearson	2,79	1	0,36	1,37

Fuente: elaboración propia.

Considerando los estadísticos del Cuadro 2, destacamos que existe una variabilidad notable en todos los indicadores; teniendo en cuenta el coeficiente de Pearson, el indicador que aproxima el capital humano es el que tiene menor dispersión estadística. Sin embargo, la variable proxy de la innovación es la que presenta más variabilidad relativa.

A continuación, presentamos los resultados empíricos obtenidos a partir de la estimación de la ecuación (2).

5. Resultados

En el Cuadro 3 se exponen los resultados econométricos de la ecuación (2). Conviene recordar que las variables explicativas están en desviaciones; además, se ha aplicado la corrección de heterocedasticidad consistente en dividir la ecuación (2) por la raíz cuadrada de la varianza de la perturbación.

Cuadro 3. Estimaciones de la función de producción translog

	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3	
Variable	Coeficiente		Coeficiente		Coeficiente	
Constante			2,984	***		
K	0,106	***	0,69	***	0,65	***
H	-0,067		1,399	***	1,519	***
C	0,592	***	0,229	***	0,244	***
K²	0,008	***	0,029	***	0,027	***
H²	-0,707	***	0,361	***	0,471	***
C²	0,061	***	-0,108	***	-0,093	***
K*H	-0,025	**	0,234	***	0,215	***
K*C	0,034	***	0,229	***	0,212	***
H*C	0,009		-0,38	***	-0,406	***
N	910		910		910	
Akaike	2.729,3		2.572,91		2.589,91	
Schwarz	3.210,64		2.621,05		2.681,37	

Fuente: Elaboración propia. Los símbolos ***, ** y * informan sobre la significatividad de las variables al 1%, 5% y 10%, respectivamente.

El Modelo 1 se ha estimado sin término constante, incorporando las 91 variables ficticias para cada uno de los países de la muestra (ver Anexo estadístico 2). Los resultados del Modelo 2 se han obtenido estimando la función de producción translog, sin incorporar más variables que los inputs de la innovación. Por otra parte, las estimaciones del Modelo 3 se han calculado junto con las variables ficticias temporales (ver Anexo estadístico 3). Antes de interpretar los resultados econométricos del Cuadro

3, utilizaremos los estadísticos de selección de modelos de Akaike y Schwarz para comparar cuál de los tres planteamientos tiene una especificación econométrica más adecuada. En base a estos criterios, seleccionamos el Modelo 2, seguido de los Modelos 3 y 1, por este orden.

Considerando los resultados econométricos del Cuadro 3, destacamos la significatividad del capital tecnológico respecto a la innovación en todos los modelos. En este sentido, podemos afirmar que la industria tecnológica de los países del mundo genera innovación, aunque con una elasticidad menor a la unidad, entre 0,6 y 0,7; sin embargo, las estimaciones asociadas al capital tecnológico al cuadrado dan lugar a la presencia de rendimientos crecientes, puesto que representan el resultado de la segunda derivada respecto de dicho input, que será estrictamente positiva, igual a la estimación dividida por 2 (ver ecuación (2)).

Por su parte, el capital humano influye significativamente sobre la innovación en los Modelos 2 y 3; a partir de las elasticidades de primer orden, podemos afirmar que su la incorporación de capital humano a los procesos de innovación genera rendimientos crecientes de escala, pues se ha estimado una elasticidad mayor que la unidad. Además, existe relación cuadrática positiva entre el capital humano y la innovación; por lo tanto, es aconsejable invertir en capital humano a nivel mundial, ya que se trata de un input que genera rendimientos crecientes de escala en la generación de innovación mundial.

En relación con el capital científico, se observa una contribución positiva a la innovación, aunque la estimación de la elasticidad de primer orden es de 0,59 (Modelo 1) y por encima de 0,2 (Modelos 2 y 3).

Al igual que ocurre con el capital tecnológico, las publicaciones científicas generan innovación, aunque en menor proporción que la acumulación del propio input. También podemos destacar que existe una relación cuadrática negativa entre el capital científico y la innovación (Modelos 2 y 3); en estos casos, los resultados son consistentes con la elasticidad del input inferior a la unidad, ya que la segunda derivada del capital científico respecto de la innovación será estrictamente negativa. Por lo tanto, podemos afirmar que existen rendimientos marginales decrecientes en la acumulación de capital

científico para la actividad innovadora. Si analizamos los productos cruzados de las variables, se observa en los tres modelos una relación de complementariedad entre el capital tecnológico y el capital científico; a través de los parámetros correspondientes, un incremento en la infraestructura tecnológica requiere un aumento del capital tecnológico para generar innovación, o viceversa; del mismo modo, el capital tecnológico también es un determinante de la innovación que está positivamente relacionado con la acumulación de capital humano (Modelos 2 y 3).

Por otro lado, el capital humano y el capital científico son dos factores explicativos de la actividad innovadora, los cuales son sustitutivos entre sí, esto es, la relación de intercambio de uno de estos inputs implica una reducción del otro input, para mantener constante cierto nivel de innovación (Modelos 2 y 3).

Pues bien, aplicando los desarrollos metodológicos de la sección 3, hemos obtenido los índices de eficiencia técnica de la producción de innovación para cada país, los cuales se muestran en el Cuadro 5, considerando el modelo de fronteras de producción estocásticas propuesto por Aigner y Chu (1968).

Cuadro 5. Eficiencia técnica mundial con fronteras de producción estocásticas.

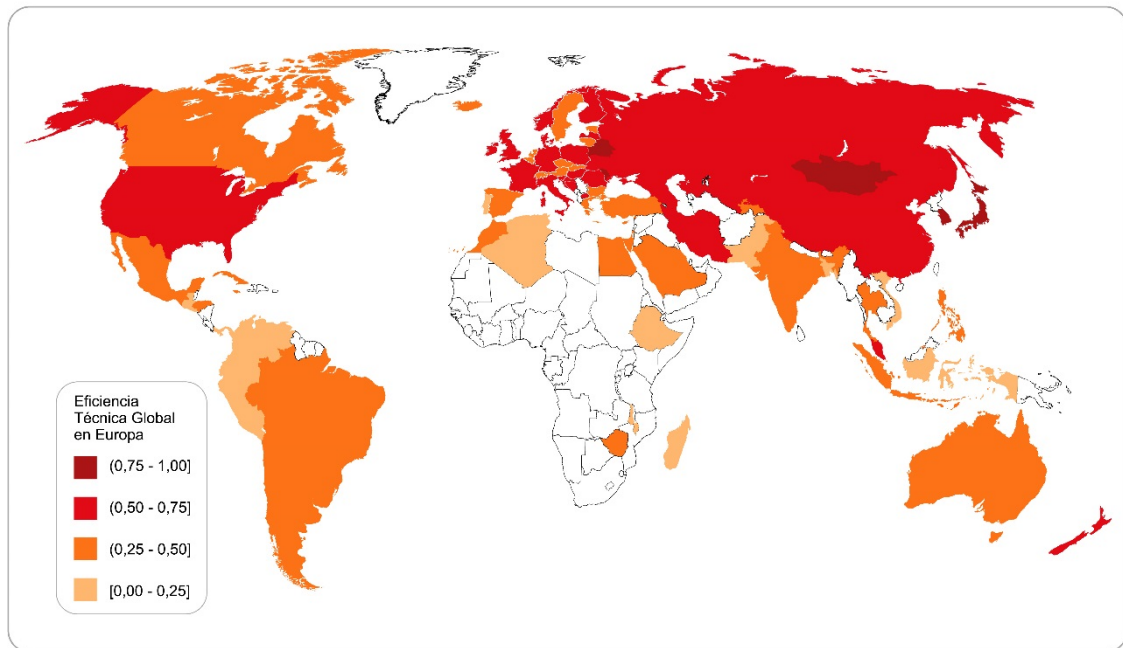
	País	Índice		País	Índice
1	Corea del Sur	1	47	Canadá	0,426
2	Japón	0,964	48	España	0,424
3	Bielorrusia	0,765	49	Cuba	0,424
4	Moldavia	0,764	50	República Checa	0,422
5	Mongolia	0,753	51	Singapur	0,422
6	Kazajistán	0,734	52	Lituania	0,414
7	Rusia	0,728	53	Suiza	0,411
8	Kirguistán	0,713	54	Países Bajos	0,409
9	China	0,694	55	Australia	0,403
10	Ucrania	0,690	56	Marruecos	0,400
11	EEUU	0,689	57	Grecia	0,381
12	Alemania	0,688	58	Uruguay	0,376
13	Georgia	0,665	59	Egipto	0,371
14	Azerbaiyán	0,637	60	Israel	0,364
15	Nueva Zelanda	0,632	61	Jamaica	0,355
16	Armenia	0,630	62	Tailandia	0,354
17	Rumanía	0,615	63	Zimbabue	0,333
18	Letonia	0,608	64	Hong Kong	0,322
19	Irán	0,596	65	Turquía	0,320
20	Uzbekistán	0,591	66	Filipinas	0,319
21	Malta	0,589	67	La India	0,316
22	Bosnia	0,567	68	México	0,300
23	Irlanda	0,565	69	Bélgica	0,296
24	Francia	0,560	70	Arabia Saudí	0,293
25	Luxemburgo	0,555	71	Estonia	0,278
26	Reino Unido	0,551	72	Bolivia	0,273
27	Finlandia	0,550	73	Honduras	0,271
28	Macedonia	0,544	74	Portugal	0,242
29	Austria	0,540	75	Vietnam	0,238
30	Italia	0,533	76	Madagascar	0,230
31	Polonia	0,533	77	Túnez	0,225
32	Noruega	0,532	78	Indonesia	0,221
33	Croacia	0,523	79	Colombia	0,219
34	Eslovenia	0,520	80	Argelia	0,217
35	Malasia	0,515	81	Panamá	0,213
36	Dinamarca	0,515	82	Guatemala	0,209
37	Hungría	0,505	83	Venezuela	0,207
38	Suecia	0,487	84	Perú	0,204
39	Bulgaria	0,482	85	Pakistán	0,203
40	Islandia	0,472	86	Trinidad y Tobago	0,186
41	Paraguay	0,470	87	Ecuador	0,177
42	Argentina	0,463	88	Malawi	0,131
43	Brasil	0,457	89	El Salvador	0,107
44	Eslovaquia	0,436	90	Etiopía	0,078
45	Tayikistán	0,435	91	Bangladés	0,069
46	Chile	0,429			

Fuente: Elaboración propia.

Analizando los índices de eficiencia técnica del Cuadro 5, destacamos que buena parte de los países asiáticos y del Este de Europa encabezan el ranking de eficiencia en la generación de innovación durante el período 2000-2009. Corea del Sur y Japón lideran de forma destacada la eficiencia técnica en la producción mundial de innovación. Por otro lado, entre los países menos eficientes se sitúan la mayor parte de los países latinoamericanos, junto con algunos territorios africanos. La práctica totalidad de estos países tienen en común unos niveles de renta per cápita sensiblemente inferiores al promedio mundial; también comparten un sistema político y relaciones diplomáticas caracterizadas por la inestabilidad y, en algunos casos, estos países también tienen en común un gobierno dictatorial o la corrupción. El resto de países (básicamente, la mayor parte de Europa y el resto de países iberoamericanos) presentan unos índices de eficiencia técnica en torno a la media mundial.

En la Figura 2 se representa un mapa que ilustra el grado de eficiencia técnica de la producción de innovación a nivel mundial. Observando la distribución mundial de dicha eficiencia técnica, se puede observar que los países asiáticos lideran la producción eficiente de innovación, seguidos de los países europeos y de Norteamérica; los países menos eficientes en este ámbito son los ubicados en el centro y Sur de América, y por último, los países africanos (aunque de éstos últimos apenas disponemos de información estadística, como se puede comprobar en el mapa representado en la Figura 2).

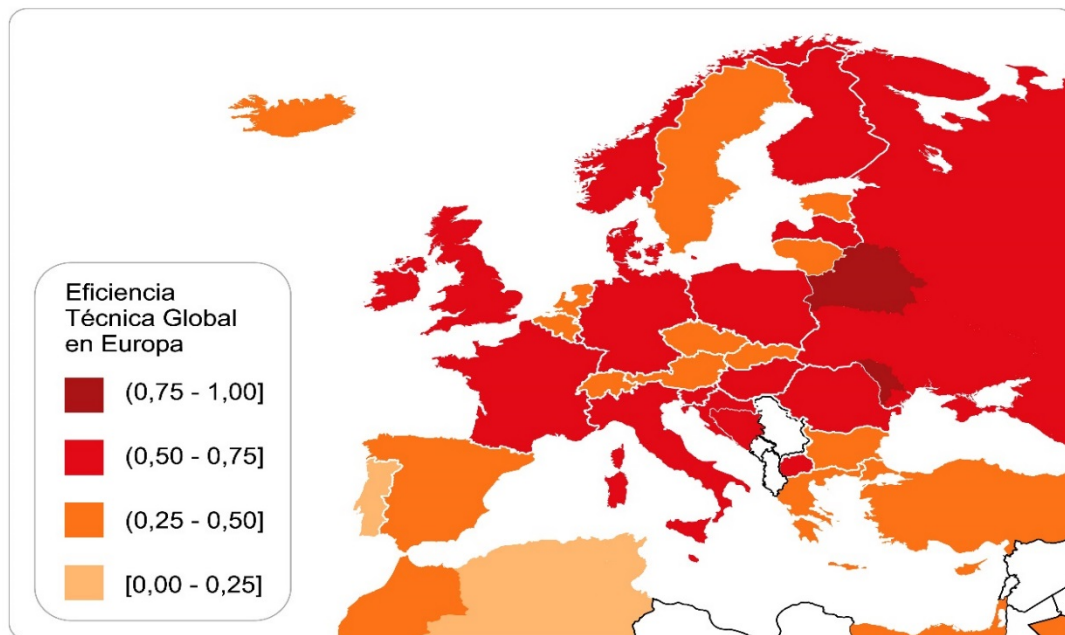
Figura 2. Distribución geográfica de la eficiencia técnica de la innovación a nivel mundial



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3 se detalla la distribución de la eficiencia técnica en los países europeos. Se puede afirmar que, al igual que ocurría en el capítulo 3, los países del Norte de Europa lideran el ranking de eficiencia técnica en términos comparativos con respecto al resto de países europeos, si bien en la zona centro y Sur también hay países que obtienen buenos resultados (como Alemania, Francia, Polonia, Italia, Austria o Eslovenia). Se observa, además, que existe un patrón de producción eficiente de la innovación compartido por la mayoría de países del arco mediterráneo, como son España, Portugal, Marruecos, Argelia, Grecia, Chipre y Turquía; todos ellos comparten cifras de eficiencia sensiblemente menores a las del centro y Norte de Europa. Ello se puede apreciar con mayor precisión en la Figura 3.

Figura 3. Distribución geográfica de la eficiencia técnica de la innovación en Europa



Fuente: Elaboración propia.

6. Conclusiones

La composición de la innovación y sus determinantes han sido estudiados con intensidad durante las últimas décadas. Los factores explicativos de la innovación más conocidos son: la inversión tecnológica por período de tiempo y el capital humano. Además, el capital científico también influye positivamente sobre la evolución de la actividad innovadora.

En este capítulo ha planteado un modelo de producción de innovación a nivel mundial, que incluye un análisis de la eficiencia técnica. Dentro de los resultados econométricos que se han obtenido (Cuadro 3), concluimos que el capital humano es un input de la innovación, cuya inversión genera una mayor repercusión sobre la innovación mundial; además, observamos la aparición de rendimientos crecientes de escala en este input. Por su parte, el capital tecnológico es el segundo input más importante en la producción

mundial de innovación, pues más de la mitad de la inversión en I+D se convierte en innovación, aunque genera rendimientos decrecientes. En tercer lugar, se sitúa el capital científico, que presenta una elasticidad a la innovación algo superior a 0,2 (Modelos 2 y 3). Por lo tanto, si tenemos en cuenta los resultados econométricos del Cuadro 3, comprobamos que no se cumplen las previsiones planteadas en la Figura 1, donde se suponían una estructura de relaciones en la que predominaba el capital tecnológico sobre la innovación, seguido de los factores humano y científico. En síntesis, en este artículo se estima que es el capital humano el input líder en la producción de innovación, seguido del capital tecnológico, y en una posición más modesta aunque significativa, el capital científico.

Se concluye que la eficiencia técnica varía significativamente en el conjunto de países del mundo durante el período 2000-2009. Considerando los índices de eficiencia técnica (ver Cuadro 5 y Anexo estadístico 3), hay que destacar el liderazgo de los países asiáticos a nivel mundial en la producción de innovación, encabezados por Corea del Sur y Japón. De los países occidentales, cabe decir que se encuentran en posiciones intermedias –o más bien, podríamos decir que se encuentran en unas posiciones discretas dentro del ranking- respecto a la mayor parte de países del continente asiático; también hay que destacar que la mayor parte de los últimos puestos están ocupados por países africanos y latinoamericanos.

Finalmente, concluimos que la generación de innovación es un aspecto clave para el futuro de cualquier país, aunque hay que tener en cuenta la eficiencia de la producción de innovación en cada uno de ellos, considerando el volumen de recursos (inputs) empleados. Por ello, se espera que la mejora de la eficiencia técnica impulsará la competitividad internacional, la mejora de la productividad y el crecimiento económico mundial.

7. Referencias

Aghion, P. y Howitt, P. (1992): “A model of growth through creative destruction”, *Econometrica*, 60 (2), pp. 323-351.

Alexopoulos, M. (2006): “Read all about it!!! What happens following a technology shock?”, *American Economic Review*, 101 (4), pp. 1144-1179.

Aron, J. (2000), “Growth and Institutions: A Review of the Evidence”, *World Bank Research Observer*, 15 (1), pp. 99-135.

Audretsch, D.B. y Feldman, M. P. (1996): “R&D spillovers and the geography of innovation and production”, *American Economic Review*, 86 (3), pp. 630-640.

Badiola-Sánchez, A. y Coto-Millán, P. (2012): “Determinants of technical efficiency and technological innovation of European regions in the period 2002-2006”, *Journal of Business Management and Applied Economics*, 1 (5), 24 páginas.

Breshanan, T.F. y Trajtenberg, M. (1995): “General purpose technologies: engines of growth”, *Journal of Econometrics*. 65, pp. 83-108.

Coe, T.E., Helpman, E. y Hoffmaister, A.W. (1997): “North-South R&D spillovers”, *The Economic Journal*, 107 (440), pp.134-149.

Cohen, W.M. y Levinthal, D.A. (1989): “Innovation and learning: the two faces of R&D”, *The Economic Journal*, 99 (357), pp. 569-596.

Fabro, G. y Aixalá, J. (2009): “Economic Growth and Institutional Quality: Global and Income-Level Analyses”, *Journal of Economic Issues*, XLIII (4), pp. 997-1023.

Farrel, M.J. (1957): “The measurement of productive efficiency”, *Journal of the Royal Statistical Society*, 120 (3), pp. 253-290.

Grossman, G.M. y Helpman, E. (1994): “Endogenous innovation in the theory of growth”, *Journal of Economic Perspectives*, 8 (1), pp. 23-44.

Justesen, M. (2008): “The effect of economic freedom on growth revisited: New evidence on causality from a panel of countries 1970-1990”, *European Journal of Political Economy*, 24, pp. 642-660.

Koellinger, P. y Schade, C. (2009): “Acceleration of technology adoption within firms”, *Tinbergen Institute*, 38 páginas.

Lucas, R. E. (1988): “On the mechanics of economic development”, *Journal of Monetary Economics*, 22 (1), pp. 3-42.

North, D.C. (1990): *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*, Cambridge University Press, Cambridge.

Olson, M. (1982): *The Rise and Decline of Nations*, Yale University Press, New Haven.

Olson, M.; Sarna, S. N. y Swamy, A. (2000): “Governance and Growth: A Simple Hypothesis Explaining Cross-Country Differences in Productivity Growth”, *Public Choice*, 102 (3-4), pp. 341-364.

Platteau, J.P. (2000): *Institutions, Social Norms, and Economic Development*, Harwood Academic Publishers, Amsterdam.

Romer, P. M. (1990): “Endogenous technological change”, *Journal of Political Economy*, 98 (5), second part, pp. 71-102.

Solow, R. M. (1956): “A contribution to the theory of economic growth”, *Quarterly Journal of Economics*, 70 (1), pp. 65-94.

Solow, R. M. (1957): “Technical change and the aggregate production function”, *Review of Economics and Statistics*, 39, pp. 312-320.

Solow, R. M. (1970): *Growth theory: an exposition*, Oxford: Clarendon Press.

Williamson, O.E. (2000): “The New Institutional Economics: Taking Stock, Looking Ahead”, *The Journal of Economic Literature*, 38 (3), pp. 595-613.

Zoltan, J.A. y Audretsch, D.B. (1988): “Innovation in large and small firms: an empirical analysis”, *American Economic Review*, 78 (4), pp. 678-690.

8. Anexos

8.1. Anexo estadístico 1. Estimaciones asociadas a las variables ficticias de cada país: fronteras de producción estocásticas

Año	Estimación	t- Student	p-valor	
Corea del Sur	1,367	14,14	<0,00001	***
Japón	2,916	103,46	<0,00001	***
Bielorrusia	3,972	51,95	<0,00001	***
Moldavia	2,541	21,15	<0,00001	***
Mongolia	3,405	26,36	<0,00001	***
Kazajistán	4,015	52,28	<0,00001	***
Rusia	0,4340	1,67	0,09372	*
Kirguistán	4,819	54,46	<0,00001	***
China	1,86	15,60	<0,00001	***
Ucrania	1,722	19,12	<0,00001	***
EEUU	3,571	24,80	<0,00001	***
Alemania	2,87	56,37	<0,00001	***
Georgia	3,040	65,98	<0,00001	***
Azerbaiyán	2,684	22,02	<0,00001	***
Nueva Zelanda	2,701	43,51	<0,00001	***
Armenia	4,371	32,46	<0,00001	***
Rumanía	1,378	11,93	<0,00001	***
Letonia	3,295	36,87	<0,00001	***
Irán	2,670	55,53	<0,00001	***
Uzbekistán	2,659	32,03	<0,00001	***
Malta	3,244	24,36	<0,00001	***

Bosnia	1,117	8,48	<0,00001	***
Irlanda	2,341	36,28	<0,00001	***
Francia	0,6756	4,32	0,00002	***
Luxemburgo	1,753	13,06	<0,00001	***
Reino Unido	0,4898	0,97	0,33167	
Finlandia	3,465	25,47	<0,00001	***
Macedonia	3,532	35,13	<0,00001	***
Austria	4,189	40,29	<0,00001	***
Italia	4,335	39,11	<0,00001	***
Polonia	2,404	25,94	<0,00001	***
Noruega	1,317	5,36	<0,00001	***
Croacia	1,707	7,61	<0,00001	***
Eslovenia	2,028	16,40	<0,00001	***
Malasia	3,182	48,29	<0,00001	***
Dinamarca	2,976	22,41	<0,00001	***
Hungría	1,993	22,45	<0,00001	***
Suecia	1,390	8,80	<0,00001	***
Bulgaria	3,756	21,71	<0,00001	***
Islandia	3,563	29,26	<0,00001	***
Paraguay	2,296	8,99	<0,00001	***
Argentina	3,361	38,95	<0,00001	***
Brasil	2,236	10,81	<0,00001	***
Eslovaquia	6,076	58,28	<0,00001	***
Tayikistán	4,626	7,11	<0,00001	***
Chile	6,302	72,95	<0,00001	***
Canadá	4,4947	31,41	<0,00001	***
España	3,834	96,54	<0,00001	***
Cuba	2,609	36,03	<0,00001	***
República Checa	3,498	15,97	<0,00001	***
Singapur	3,429	48,67	<0,00001	***
Lituania	1,450	3,73	<0,00001	***
Suiza	0,8258	2,72	<0,00001	***
Países Bajos	3,248	34,03	<0,00001	***
Australia	3,710	25,85	<0,00001	***
Marruecos	1,892	49,41	<0,00001	***
Grecia	4,812	44,01	<0,00001	***
Uruguay	4,747	52,51	<0,00001	***
Egipto	2,520	17,26	<0,00001	***
Israel	2,577	20,18	<0,00001	***

Jamaica	3,981	32,36	<0,00001	***
Tailandia	3,355	27,44	<0,00001	***
Zimbabue	1,281	6,54	<0,00001	***
Hong Kong	1,340	23,35	<0,00001	***
Turquía	2,960	22,54	<0,00001	***
Filipinas	1,287	11,91	<0,00001	***
La India	2,012	17,49	<0,00001	***
México	3,356	60,09	<0,00001	***
Bélgica	1,526	13,44	<0,00001	***
Arabia Saudí	3,873	59,15	<0,00001	***
Estonia	4,591	72,59	<0,00001	***
Bolivia	1,849	14,14	<0,00001	***
Honduras	2,656	12,59	<0,00001	***
Portugal	2,747	33,74	<0,00001	***
Vietnam	3,275	31,48	<0,00001	***
Madagascar	2,670	31,36	<0,00001	***
Túnez	3,067	20,22	<0,00001	***
Indonesia	2,589	15,70	<0,00001	***
Colombia	2,742	13,97	<0,00001	***
Argelia	2,228	8,21	<0,00001	***
Panamá	1,173	3,84	0,00013	***
Guatemala	1,417	15,86	<0,00001	***
Venezuela	2,014	12,23	<0,00001	***
Perú	4,347	29,09	<0,00001	***
Pakistán	3,472	27,52	<0,00001	***
Trinidad y Tobago	4,340	36,20	<0,00001	***
Ecuador	2,370	29,87	<0,00001	***
Malawi	3,722	15,34	<0,00001	***
El Salvador	1,305	6,25	<0,00001	***
Etiopía	1,497	6,76	<0,00001	***
Bangladés	2,101	11,90	<0,00001	***

Fuente: Elaboración propia.

8.2. Anexo estadístico 2. Estimaciones asociadas a las variables ficticias temporales

Año	Estimación	t- Student	p-valor	
2000	3,098	69,26	<0,00001	***
2001	3,061	68,16	<0,00001	***
2002	3,021	66,80	<0,00001	***
2003	2,981	64,86	<0,00001	***
2004	2,993	64,45	<0,00001	***
2005	2,954	62,52	<0,00001	***
2006	2,890	60,82	<0,00001	***
2007	2,882	60,05	<0,00001	***
2008	2,859	59,47	<0,00001	***
2009	2,861	59,44	<0,00001	***

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 5: Impacto de las TIC's sobre el crecimiento económico mundial

RESUMEN

En este capítulo se estudia el impacto de las TIC's en el crecimiento económico mundial. En primer lugar, se ha utilizado un modelo inspirado en el conocido modelo de Solow, al que se añaden las contribuciones de Mankiw-Romer-Weil (1992). Tal modelo se ha contrastado empíricamente con un panel de datos para los países del mundo desde 1990 hasta 2012. Posteriormente, se han incorporado en el modelo las TIC's como un factor productivo adicional, estimándose su impacto para distintos grupos de países del mundo.

1. Introducción

El crecimiento económico y la existencia o no de procesos de convergencia asociados al mismo son temas recurrentes dentro de la teoría económica desde mediados de la pasada centuria, sobre todo a partir de los trabajos de Solow (1956, 1957), los cuales pueden considerarse como pioneros dentro de lo que se conoce como teoría neoclásica del crecimiento. Esta teoría nos habla de un crecimiento de la producción agregada provocado por la acumulación constante de capital físico y, dada la existencia de rendimientos decrecientes en dicho proceso, defiende la aparición de un proceso de convergencia entre las distintas áreas económicas⁴. En el modelo de Solow, las áreas económicas transitan hacia lo que denomina estado estacionario, donde el capital por trabajador evoluciona a una tasa nula y el crecimiento económico es inexistente. El crecimiento a largo plazo sólo se justifica, de hecho, por la presencia de shocks tecnológicos exógenos que consiguen aumentar la productividad en el proceso productivo.

⁴ En esta situación se cumplen las condiciones de Inada (rendimientos marginales asintóticamente nulos).

En los años ochenta surgieron, en el intento de explicar el crecimiento económico a largo plazo, los modelos de crecimiento endógeno, entre los que podemos destacar los trabajos seminales de Romer (1986, 1987), Lucas (1988) y Rebelo (1991).

Los modelos de crecimiento endógeno, en esencia, incorporan al modelo tradicional de Solow otros factores reproducibles (como sería el caso del capital humano) o bien abren la puerta a la existencia de un progreso tecnológico que surge de forma endógena (a diferencia de lo que postulaban los modelos neoclásicos del crecimiento). Como consecuencia directa de lo anterior, este tipo de modelos avalan la existencia de rendimientos constantes o crecientes a escala en los factores acumulables; en otras palabras, no aparece, como ocurría en los modelos de corte neoclásico, una correlación negativa entre crecimiento y nivel de stock de capital. Por ello, y como norma general, con el transcurso del tiempo los países ricos crecen más rápido que los de menor renta, aumentando el grado de desigualdad entre ellos a largo plazo. Por lo tanto, los modelos de crecimiento endógeno establecen que el crecimiento económico del conjunto de países está acompañado con un proceso de divergencia entre los niveles de renta de dichos territorios⁵.

Ligado con los modelos de crecimiento endógeno, conviene citar también la Nueva Geografía Económica (NGE), surgida a partir del trabajo pionero de Krugman (1991). Esta teoría surge como un intento de explicar la concentración de la actividad económica en el espacio, para lo cual plantea modelos en presencia de rendimientos crecientes a escala. De acuerdo a estos modelos, las fuerzas centrípetas tienden a ser más fuertes que las fuerzas centrífugas; ello da lugar a la acumulación de la actividad productiva y la existencia de un patrón macroeconómico centro-periferia. Como es obvio, esta teoría no apoya, por tanto, la existencia de procesos de convergencia entre las distintas áreas económicas.

En este contexto, el presente capítulo de la tesis pretende contribuir a la literatura económica a través del estudio del efecto de las Tecnologías de la Información y

⁵ El crecimiento sostenido implica que las condiciones de Inada no se cumplen. De hecho, la violación de las condiciones de Inada es la clave para generar crecimiento endógeno.

Comunicaciones (TIC's) sobre el crecimiento económico y la convergencia. El concepto *tecnologías de la información y comunicaciones* es bastante reciente, y se podría determinar su origen con el surgimiento e intenso progreso de las tecnologías de la información (en adelante, TI) durante la segunda mitad del siglo XX. A éstas se unieron, desde comienzos del siglo XXI hasta la actualidad, los avances tecnológicos dentro del sector de las comunicaciones (en adelante, TC). Ambos sectores (información y comunicación) han evolucionado compartiendo numerosas características socioeconómicas⁶, constituyendo una nueva industria y dando lugar a un nuevo concepto denominado “Tecnologías de la Información y Comunicaciones” (TIC's).

Se puede afirmar sin ninguna duda que el avance de las TIC's es uno de los rasgos sociales y económicos más significativos de las últimas décadas, hasta el punto que ha generado lo que algunos denominan una nueva revolución industrial (De Long, 2001). Por ello, el estudio de la interrelación entre las TIC's y el crecimiento económico adquiere una relevancia notable, y ésta es la tarea que abordamos en este capítulo de la tesis. Para ello, se emplean definiciones alternativas de TIC's y, como caso de estudio, una muestra de 104 países durante el período 1990-2012, así como diversas submuestras para constatar si –como parece lógico- la influencia de las TIC's sobre el crecimiento es significativamente distinta dependiendo del nivel de desarrollo económico de los distintos grupos de países. Siendo más precisos, este capítulo aborda dos cuestiones que consideramos de interés.

En primer lugar, pretendemos dar respuesta –al menos parcialmente- a la conocida como paradoja de Solow, según la cual el efecto de las nuevas tecnologías sobre la productividad y sobre el crecimiento económico no se ve reflejado en las estadísticas. Para ello, y siguiendo el modelo descrito por Mankiw, Romer y Weil (1992), ampliamos el modelo neoclásico descrito por Solow (1956, 1957) incluyendo las TIC's como un factor de crecimiento económico adicional. En segundo lugar, y dado que los resultados obtenidos por cluster de países apuntan hacia diferencias significativas en sus resultados empíricos, trataremos de observar por separado la relación existente entre el

⁶ Las sinergias tecnológicas y productivas quizá sean el principal motivo para explicar la estrecha relación que mantienen ambos subsectores en la actualidad.

grado de desarrollo de los países y la intensidad del impacto de las TIC's en cada uno de los cluster considerados. En todos los casos, y aprovechando las propiedades de nuestro modelo, se analizará, asimismo, la existencia o no de lo que se conoce como convergencia condicionada⁷.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera. En el apartado segundo se realiza una revisión de literatura acerca, primero, del crecimiento económico y los procesos de convergencia y, segundo, del impacto de las TIC's sobre el crecimiento económico. En la tercera sección se plantea el modelo teórico que será estimado posteriormente. En el apartado cuarto se ofrece la información estadística utilizada en este trabajo. Seguidamente, se estima el modelo propuesto y se plasman sus principales resultados tratando de dar respuesta a las cuestiones arriba planteadas. Finalmente, en el apartado sexto se incluyen las principales conclusiones de este ensayo.

2. Revisión literaria

En esta sección abordamos dos tareas distintas aunque estrechamente relacionadas. En la primera parte, y con el objetivo de situar los trabajos posteriores que abordan el efecto de las TIC's sobre el crecimiento económico, se recuerdan de forma muy breve las dos grandes escuelas que existen dentro de la teoría del crecimiento económico: los modelos neoclásicos y los modelos de crecimiento endógeno. En la segunda parte se recogen los trabajos más importantes que han examinado, hasta la fecha, la influencia de las TIC's en el crecimiento económico.

⁷ Otras dos cuestiones que quedan pendientes de análisis son las siguientes: la inclusión de la distancia en el análisis sobre la base de los modelos de la NGE, y la posible no linealidad en la relación entre TIC's y crecimiento.

2.1. Teoría del crecimiento económico y sus efectos sobre los procesos de convergencia/ divergencia

Los determinantes del crecimiento económico, aproximado éste por los incrementos en los niveles de producción per cápita y/o la productividad⁸, han sido analizados, sobre todo desde la segunda mitad del siglo XX⁹, desde distintas perspectivas teóricas. No obstante, no es hasta mediados de la década de los ochenta cuando se pone especial énfasis en las nuevas tecnologías como determinante del crecimiento económico.

En efecto, cuando la revolución neoclásica desemboca en la teoría del crecimiento económico (Solow (1956) y Swan (1956)), teoría que sienta las bases para trabajos posteriores, el progreso tecnológico es considerado como un factor puramente exógeno. A pesar de ello estos artículos, pioneros de lo que podemos considerar la *moderna teoría del crecimiento económico*, ya pronosticaban la existencia de una relación positiva entre el progreso tecnológico y la producción agregada. De hecho, el segundo trabajo elaborado por Solow (1957) aplicado al caso de Estados Unidos, postula que los aumentos sostenidos de producción no pueden explicarse por la acumulación de factores y sólo pueden obtenerse en presencia de progreso técnico; en otro caso, y dado que los rendimientos marginales de los factores son decrecientes, se registrarían descensos en la productividad. En este sentido, Solow destaca que la mayor parte del incremento de la productividad del trabajo en Estados Unidos durante el periodo 1909-1949 (en concreto, un 87,5%) estaba explicada por el progreso técnico.

Todos estos trabajos de corte neoclásico contemplaban, sin embargo y como ya se ha señalado, un supuesto que, al menos en la actualidad, resulta poco asumible: el progreso tecnológico tiene un carácter exógeno. Estaba incluido, de hecho, dentro del conocido residuo de Solow, lo que admitía muchas interpretaciones, no todas ellas en la misma dirección¹⁰. Surgen entonces los modelos de crecimiento endógeno, en los cuales el

⁸ En el ámbito de la macroeconomía, la evolución de estas variables ha sido –y continúa siendo– el mejor indicador para medir el nivel de vida y desarrollo económico de distintos países y/o regiones.

⁹ Sin olvidar, entre otras, la trascendental aportación de Schumpeter (1934) acerca del “empresario innovador”.

¹⁰ De hecho, algunos artículos seguían apostando por la acumulación de factores como factor de crecimiento. Un ejemplo claro es el trabajo de Hicks (1965).

progreso técnico deja de ser exógeno y pasa a determinarse de forma endógena (véanse, por ejemplo, los trabajos de Romer (1986) y Lucas (1988)). Aunque existen una gran variedad de modelos de crecimiento endógeno -según se centren en el progreso tecnológico o en el nivel de capital humano, consideren estructuras de mercado de competencia perfecta o competencia imperfecta, etc.-, todos ellos comparten una característica crucial: eliminan, como consecuencia de la determinación endógena del progreso técnico, el supuesto neoclásico de rendimientos decrecientes en los factores acumulables. Por lo tanto, la teoría del crecimiento endógeno considera que los rendimientos de los factores acumulables pueden aumentar en el transcurso del tiempo gracias, entre otros aspectos, al proceso de aprendizaje en el trabajo (Romer (1986)) y del capital humano (Lucas (1988)).

Dentro de este contexto, las preguntas que nos planteamos ahora, cruciales en nuestro trabajo, son las siguientes: ¿Qué sucede con las disparidades entre áreas económicas? ¿Difieren los resultados obtenidos al respecto entre los modelos neoclásicos y los modelos de crecimiento endógeno? Como ya se indicó brevemente en la introducción, las dos escuelas de pensamiento obtienen resultados diametralmente opuestos, básicamente porque apoyan sus modelos y predicciones teóricas en supuestos de partida que se contradicen entre sí. Los modelos neoclásicos postulan la existencia de procesos de convergencia debido a la existencia de rendimientos decrecientes en los factores productivos; incluso cuando se incorpora el progreso técnico exógeno en el modelo continúan reduciéndose las disparidades debido al trasvase de tecnología desde las zonas más ricas hacia las más pobres¹¹. En cambio, los modelos de crecimiento endógeno apoyan la existencia de procesos de divergencia entre las áreas económicas como consecuencia directa de la existencia de rendimientos crecientes de escala de los factores de producción.

Como suele suceder, si dos teorías obtienen resultados contradictorios es la evidencia empírica la que decanta la balanza. Y, en este caso, la evidencia empírica apoyaba las conclusiones obtenidas por los modelos de crecimiento endógeno. En este escenario, la reacción neoclásica frente a los modelos de crecimiento endógeno se produce con los trabajos de Barro y Sala-i-Martin (1991, 1992). Estos autores explican el mantenimiento

¹¹ Existe, en otras palabras, un proceso de catching-up entre regiones pobres y regiones ricas.

de las disparidades a partir del concepto de convergencia condicional. En otras palabras, defienden que los países, aunque convergen en el largo plazo como postulaba la corriente neoclásica, lo hace hacia posiciones de equilibrio que pueden estar muy alejadas dependiendo de sus distintas características¹². En esta misma línea se engloba el artículo de Mankiw, Romer y Weil (1992), del cual hablaremos en detalle en la próxima sección, pues es la base de nuestro capítulo.

Por último, indicar que otra corriente de pensamiento, que nace con posterioridad a los modelos de crecimiento endógeno y sobre todo a partir de la revisión de la teoría del comercio internacional (incorporación de rendimientos crecientes, competencia imperfecta...), es la denominada NGE, cuyo trabajo pionero fue el elaborado por Krugman (1991)¹³. En efecto, no es hasta finales/principios del siglo XX/XXI cuando esta teoría se consolida dentro de la literatura económica. En propias palabras de Krugman (2000), *“sorprendentemente, todavía tomó un largo tiempo hasta que los nuevos teóricos del comercio se dieran cuenta de que la revolución en el campo de la teoría del comercio (internacional) posibilitaba hablar de cuestiones relacionadas con la geografía económica”*. El resultado fue lo que se califica a veces como la *Nueva Geografía Económica*. Según este enfoque, los rendimientos crecientes de los factores, las economías de escala y la competencia imperfecta provocan procesos acumulativos de la actividad económica y, sin ningún género de dudas, intensifican las disparidades económicas.

¹² Barro y Sala-i-Martin (1992a) analizaron la convergencia condicional en EEUU durante el periodo 1840-1988. En este trabajo cuantificaron la convergencia en un 2% anual dentro de los Estados norteamericanos. Pusieron de manifiesto, sin embargo, que para que existiese convergencia a nivel mundial debían darse una serie de condiciones bastante restrictivas; de forma más precisa, debían considerarse invariantes en el tiempo una serie de variables que aproximaban los distintos estados estacionarios. Además, en su análisis para una amplia muestra de países destacaron la importancia de aislar los distintos componentes de la convergencia observada (véase, para más detalle, Barro y Sala-i-Martin (1992b)).

¹³ Un libro clásico publicado por los que se podrían considerar co-fundadores de esta rama de pensamiento es Fujita, Krugman y Venable (1999).

2.2. TIC's y crecimiento económico

Dentro de la teoría del crecimiento económico ha surgido una importante, y podríamos decir ya bastante extensa, literatura que aborda el papel que juegan las tecnologías de la información como factor de crecimiento. Estos trabajos tratan, entre otras cosas, de dar respuesta a la conocida paradoja de Solow, quien en 1987, y con respecto al efecto de las nuevas tecnologías sobre la productividad y crecimiento, afirmaba: *“lo que esto significa es que, como todos los demás, estoy un poco avergonzado por el hecho de que todo el mundo siente que ha habido una revolución tecnológica, un cambio drástico en la vida productiva, que se ha visto acompañada en todas partes, incluyendo a Japón, por una desaceleración del crecimiento de la productividad, no por un paso adelante. Se puede ver la era de la informática en todas partes, pero no en las estadísticas de productividad”* (Solow, (1987)).

Al igual que sucede para otros factores productivos, el impacto de las TIC's sobre la producción agregada se puede abordar desde distintos enfoques. Así podemos distinguir, básicamente, tres metodologías alternativas: las basadas en la contabilidad del crecimiento, en funciones de producción y en la estimación de la ecuación de equilibrio (que viene dada por la situación de estado estacionario de la economía). No obstante, y a modo de síntesis, podemos afirmar que la mayor parte de los trabajos que han abordado esta cuestión transmiten la existencia de un efecto positivo de las TIC's sobre el crecimiento económico. Sin embargo, como veremos a continuación, no hay unanimidad al respecto.

2.2.1. Enfoque basado en la contabilidad del crecimiento económico

En el ámbito de las ciencias económicas, resulta con frecuencia interesante observar cuál es la composición del crecimiento económico de los países y/o áreas económicas. La contabilidad del crecimiento económico atribuye una proporción del mismo a cada uno de los factores de producción, además de la parte recogida en la tecnología (que a menudo se asocia a la evolución de la productividad). Para cuantificar estos porcentajes, el enfoque más utilizado se basa en la estimación de una ecuación expresada en tasas de

crecimiento; en dicha ecuación se desglosa el crecimiento económico experimentado por el área económica analizada en la importancia relativa de cada input, más el factor tecnológico.

Dentro de este enfoque podemos destacar, en primer lugar, el trabajo de Oliner y Sichel (1994), quienes, abordando el estudio de la paradoja de Solow, testaron si las tecnologías de la información habían influido significativamente en la productividad de las empresas norteamericanas durante el periodo 1970-1992. El principal resultado de este trabajo fue que la incorporación de equipos informáticos apenas había contribuido a incrementar su productividad. Dicha contribución era, de hecho, residual, cuando se analizaban aisladamente, doblándose la misma cuando se consideraba su interrelación con el resto de inputs productivos.

Posteriormente, Oliner y Sichel (2000) también consideraron las TIC's como un input del crecimiento económico en su estudio de la economía norteamericana durante el periodo 1974-1999. Para ello, e inspirándose en Oliner y Sichel (1994), desglosaron el factor capital en diversos inputs, obteniendo el impacto de cada uno de ellos sobre el crecimiento económico observado. Las variables utilizadas para aproximar las TIC's fueron software, hardware y equipos de comunicación. De acuerdo con los resultados obtenidos, las TIC's tuvieron una importancia creciente dentro del proceso productivo de EEUU, con participaciones porcentuales que oscilaban entre el 3,3% y el 6,3%¹⁴.

Por su parte, Jorgenson, Stiroh, Gordon y Sichel (2000) cuantificaron el impacto de las tecnologías de la información y la productividad total de los factores sobre el crecimiento económico; entre sus resultados, destacamos que la contribución de las TIC's sobre la economía doméstica norteamericana es de un 0,2% anual en el periodo 1959-1973 (cuando la economía creció un 4,2% anual), mientras que esa cifra se situó en un 0,95% anual en la etapa 1995-1998 (con una tasa de crecimiento acumulativo anual del 3,2%).

¹⁴ Este trabajo, aunque enmarcado dentro de la contabilidad del crecimiento, también analizó el impacto de las TIC's a través del segundo de los enfoques desarrollados en el presente trabajo, basado en la estimación econométrica de funciones de producción agregadas. En ambos casos se obtienen resultados similares.

Más adelante, una serie de trabajos de Gordon (2000, 2003 y 2004), aplicados a diferentes muestras de países y distintos periodos de tiempo, también incluyeron las nuevas tecnologías en sus análisis de contabilidad del crecimiento. Hay una conclusión que se mantiene en todos estos estudios: las TI no generan crecimiento económico *per se*. No obstante, Gordon (2004) pone de manifiesto que la situación de Europa distaba mucho de la de Estados Unidos, donde el efecto de las TIC's sobre la productividad -y, en definitiva, el crecimiento económico- era manifiestamente superior.

Jorgenson y Vu (2005) también analizaron los determinantes de la productividad incorporando la información tecnológica como un determinante adicional del crecimiento del PIB; siendo precisos, consideran las TIC's como una parte del factor capital. Estos autores centraron su análisis empírico en dos muestras alternativas durante los periodos 1989-1995 y 1995-2003: una muestra global formada por 110 países, y una submuestra que recogía los siete países más ricos del mundo (que denominaron G-7). De acuerdo con el análisis realizado, la repercusión del capital físico era mayor en los 110 países considerados que en la muestra de los 7 países más ricos. Sin embargo, las TIC's generaban más crecimiento en la muestra de países del G-7 que en el conjunto de los 110 países considerados (un 0,38% y un 0,27% respectivamente durante el periodo 1989-1995, siendo estos porcentajes un 0,69% y un 0,53% en el caso de la etapa 1995-2003, expresados en tasas de crecimiento anual). A raíz de lo anterior, el trabajo concluye que el grado de desarrollo de cada país también es un condicionante a la hora de estudiar el impacto de las TIC's sobre el crecimiento. Este resultado lo tendremos en cuenta más adelante (en la sección 5 del presente capítulo).

Otro trabajo relevante dentro de la contabilidad del crecimiento es el de Gilles y L'Horty (2005). Estos autores utilizan dos métodos alternativos de descomposición del crecimiento que aplican, durante las décadas de los ochenta y noventa, tanto a Estados Unidos como a Francia. Se trata de dos países que, como consecuencia de un positivo shock de oferta, habían experimentado un fuerte crecimiento no acompañado de tensiones inflacionistas. Los resultados obtenidos muestran que las TIC's explicaban buena parte de ese incremento, si bien más en EEUU que en Francia. No obstante lo dicho, sus efectos sobre la productividad eran muy reducidos en ambos casos, lo cual

podía ser debido, como los propios autores reconocen, al retraso que existe entre la implantación de nuevas tecnologías y sus efectos sobre la productividad.

Seguidamente, y utilizando un enfoque similar, Jorgenson, Ho y Stiroh (2006a) analizaron la evolución de la productividad total de los factores en EEUU durante los años 1995-2004 y en varios subperiodos. Su resultado más relevante apunta a que las tecnologías de la información tuvieron una influencia positiva sobre la productividad, si bien ésta era relativamente reducida (supuso, para el período completo, un 0,31% de un incremento total del 3,6%). En un trabajo muy similar, pero poniendo más énfasis en los distintos subperiodos, Jorgenson, Ho y Stiroh (2006b) demostraron empíricamente la relevancia creciente de las tecnologías de la información dentro de la productividad agregada de la economía de EEUU durante el periodo 1959-2003; para ello, analizaron distintas etapas del siglo XX, concluyendo que la importancia de las TIC's crecía en el tiempo, siendo el subperíodo 1995-2003 cuando la información tecnológica adquiere un papel predominante sobre la productividad total de los factores y, a su vez, sobre el PIB (representaba un 1,45% de un crecimiento anual total que alcanzó el 3,9%¹⁵).

Por último, Jorgenson, Ho y Stiroh (2007) efectuaron una descomposición de la productividad total de los factores similar a las anteriores, aunque con algunas diferencias. En este trabajo seleccionaron el período 1959-2005 y lo dividieron a su vez en cuatro etapas: 1959-1973, 1973-1995, 1995-2000 y 2000-2005, concluyendo que la productividad laboral media evolucionó a un ritmo cada vez mayor, con tasas que oscilaban entre el 1,5% y el 3,1% anual. De los porcentajes agregados, atribuyeron a las TIC's unas proporciones del 0,11%, 0,43%, 0,59% y 0,33% en cada subperíodo, respectivamente. También señalaron que la menor contribución en el período 2000-2005 respecto a etapas anteriores pudo deberse a la crisis de las empresas *puntocom*.

¹⁵ Gran parte de los trabajos basados en la contabilidad del crecimiento económico, abordan su análisis empírico seleccionando un período temporal relativamente amplio, el cual es fragmentado en etapas o subperiodos de éste, con el objetivo de observar la composición del crecimiento económico en cada una de esas etapas.

2.2.2. Enfoque basado en la estimación de funciones de producción

Un enfoque alternativo para analizar el impacto de los factores de producción -y en nuestro caso las TIC's- sobre el output consiste en plantear la estimación econométrica de una función de producción agregada. De este modo, los coeficientes asociados a cada input productivo nos informan sobre su importancia en el PIB. Aunque existen numerosos trabajos que emplean esta técnica, y sería prácticamente imposible citarlos todos, destacamos a continuación los que consideramos más relevantes.

Brynjolfsson e Hitt (1996) plantearon una función de producción Cobb-Douglas, asumiendo la existencia de rendimientos constantes de escala, con el objetivo de medir el impacto del capital informático y de los sistemas de información sobre las ventas de una muestra de 367 grandes empresas norteamericanas durante el período 1987-1991. En su artículo, ponen de relieve el incumplimiento de la paradoja de Solow y, por tanto, la reseñable contribución de las TIC's al crecimiento económico. Para ello, aproximaron las TIC's mediante dos indicadores: la inversión en ordenadores y la inversión en sistemas de información de las empresas. De forma más precisa, cuantificaron las participaciones relativas de los inputs anteriores en un 1,7% y un 1,8%, respectivamente.

Otro trabajo a destacar dentro de este grupo es el desarrollado por Schreyer (2000). Dicho autor estudió la contribución de las TIC's al crecimiento económico en los siete países más ricos de la OCDE (G-7) en tres lapsos temporales: 1980-1985, 1985-1990 y 1990-1996. Su principal resultado fue que las TIC's generaron un impacto significativo sobre el crecimiento económico, siendo Estados Unidos el país donde las TIC's adquieren mayor relevancia dentro del G-7 (un 0,42% en el periodo 1990-1996), mientras que es en Francia donde dicha influencia es menor (un 0,19% en el mismo período).

Por su parte, Jorgenson (2001) modelizó la producción agregada de la economía de EEUU. Para ello, planteó una frontera de posibilidades de producción, en la que incluyó cinco inputs: capital físico y nivel de empleo, por un lado, y tres factores productivos relacionados con las TIC's, como son los ordenadores, el software y el equipamiento

vinculado a las telecomunicaciones. En su trabajo, consideró el período 1948-1999, el cual dividió en cuatro etapas: 1948-1973, 1973-1990, 1990-1995 y 1995-1999. De su análisis empírico, destacamos que atribuyó un 12% del crecimiento económico total observado a las TIC's durante el período señalado, mientras que esos porcentajes son de un 5%, 15,32%, 22,5% y 29,73% para cada una de las etapas, respectivamente.

Con un enfoque alternativo, Nordhaus (2001) también realizó un análisis desagregado del crecimiento de la productividad norteamericana durante el periodo 1978-1998. En su trabajo, incorporó un concepto novedoso denominado *nueva economía*, que –en síntesis- definió como una serie de factores que favorecen ciertas transformaciones estructurales, las cuales afectan a algunos o a todos los sectores productivos, y que suponen una modificación sustancial de los sistemas productivos existentes hasta ese momento¹⁶. Por ello, en su trabajo partió de que la nueva economía ejerce una influencia significativamente positiva sobre la productividad norteamericana. Un resultado fundamental es el crecimiento de la productividad del período considerado, que cuantificó en un 1,8% anual; hay que destacar que, al descomponer el crecimiento de la productividad, estimó que el 0,65% del porcentaje anterior correspondía al factor definido como *nueva economía*, lo que supone más de un 35% del total.

Por su parte, Pilat y Lee (2001) elaboraron un trabajo desagregado cuyo objetivo era contrastar si las TIC's generan un impacto directo sobre variables como el crecimiento económico, la productividad total de los factores y/o la eficiencia técnica del sector manufacturero. Para la contrastación de estas hipótesis se emplearon datos de los países más avanzados de la OCDE; en concreto, un total de 29 países durante el periodo 1971-1999. Como era de esperar, la evidencia empírica apoyaba la hipótesis previamente mencionada en todos los países.

Bresnahan, Brynjolfsson y Hitt (2002) estudiaron los componentes de la demanda de trabajo en EEUU en las décadas de 1980 y 1990. Entre otros resultados, obtuvieron una correlación intensa entre la TI utilizada por las empresas y la contratación de trabajadores con cualificación elevada, aunque también hallaron un efecto directo de las

¹⁶ Muchas de estas transformaciones consideradas por este trabajo, están estrechamente relacionadas con las TIC's.

TI sobre el crecimiento económico, que cuantificaron en un intervalo situado entre un 3,3% y un 3,71%, dependiendo de la aproximación empírica considerada.

Stiroh (2002 y 2004) también demostró empíricamente, con datos referidos a EEUU desde 1987 hasta el año 2000, que el uso de las tecnologías de la información por parte de empresas y trabajadores aumentaba significativamente la productividad laboral y la eficiencia. Sus resultados señalaban al trabajo como el factor productivo que más contribuyó al crecimiento económico en dicha etapa, seguido por el capital físico y, en último lugar pero con un efecto destacado, por el capital que agrupa las TI.

Más adelante, Jorgenson y Motohashi (2005) realizaron una comparación de la composición del crecimiento económico entre Japón y EEUU durante el período 1975-2003, el cual dividieron en cuatro etapas (1975-1980, 1980-1990, 1990-1995 y 1995-2003). Uno de sus principales resultados es la participación significativa de la TI en el crecimiento económico de ambos países durante el subperíodo 1995-2003. Por lo tanto, los resultados econométricos confirman el papel de las TI como motor de crecimiento. En relación con Japón, las TI determinan el 13,4% del crecimiento económico durante el período 1990-1995 y el 36,7% en la etapa 1995-2003, mientras que estos porcentajes son el 15,2% y el 16,6% en el caso de EEUU, respectivamente.

Por último, Neffati y Besbes (2013) realizaron un análisis funcional del crecimiento económico considerando una muestra de países árabes durante el período 2000-2009. Para ello, construyeron dos índices sintéticos que aproximaban las TIC's (mediante el número de usuarios de internet, las suscripciones a telefonía fija y las suscripciones a telefonía móvil) y el capital humano; también distribuyeron los países árabes en dos submuestras, en función de su especialización en la industria del petróleo. En esencia, concluyeron que las TIC's influyen negativamente sobre el crecimiento económico en el caso de los países no productores de petróleo, mientras que esta variable no afecta significativamente al crecimiento, en el caso de los países productores de petróleo. Por otra parte, concluyen que el capital humano resulta un determinante significativo del crecimiento económico en ambos cluster si tomamos el propio capital humano como factor endógeno (en otro caso, no influye en los resultados). Finalmente, hay que puntualizar que este trabajo resulta especialmente interesante dentro de nuestra

investigación, ya que utiliza los mismos indicadores de las TIC's que emplearemos en nuestro análisis empírico (que se encuentra en la sección 5).

2.2.3. Enfoque basado en la estimación empírica de la solución de equilibrio estacionario de un modelo de crecimiento.

El tercer método para evaluar el impacto de las TIC's sobre el crecimiento consta de dos partes. En primer lugar, se especifica un modelo macroeconómico y se obtiene la solución de equilibrio estacionario asociada al modelo en base a los supuestos e hipótesis preestablecidas. En segundo lugar, se contrasta empíricamente la ecuación obtenida anteriormente, que define el equilibrio macroeconómico en el largo plazo.

Dentro de este enfoque, destacan numerosos artículos que seleccionan distintos modelos de crecimiento económico neoclásico tratando de evaluar sus resultados, grado de validez, vigencia temporal, etc. Particularmente, a raíz del trabajo de Mankiw, Romer y Weil (1992) (en adelante, M-R-W (1992)), los determinantes del crecimiento económico han sido estudiados empleando este enfoque de forma recurrente.

Lamentablemente, la mayor parte de trabajos que incluyen las TIC's en sus modelos macroeconómicos, no han abordado su análisis con el planteamiento descrito en este enfoque, siendo la literatura mucho menos profusa que en los dos casos anteriores. A continuación, citamos algunos de los textos que incorporan las TIC's dentro de esta rama de la literatura.

Nonneman y Vanhoudt (1996), por ejemplo, consideraron como inputs el capital físico, el capital humano y los gastos en I+D en porcentaje del PIB de los países de la OCDE. Entre sus resultados destaca la importancia de los gastos en I+D sobre el PIB; de acuerdo a los resultados de su modelo de crecimiento económico, la elasticidad del capital sobre el PIB puede descomponerse de la siguiente forma: el 14,43% se adscribe a los gastos en I+D, un 25,43% al capital humano y un 60,14% al capital físico.

Más adelante, Vilaseca i Requena y Torrent i Sellens (2006) realizaron una exhaustiva recopilación de literatura, que defiende el efecto positivo de las TIC's sobre la productividad y sobre el crecimiento económico. En su análisis empírico sobre los países de la OCDE durante el período 1980-2000, incluyeron tres factores de producción: el capital físico, el capital humano y el “capital conocimiento”, que definen como un determinante que recoge las sinergias producidas por las TIC's sobre la economía¹⁷. De sus resultados, podemos destacar que la elasticidad-TIC obtenida oscilaba entre un 0,05% y un 0,29%, dependiendo de la regresión considerada.

Seguidamente, Becchetti y Di Giacomo (2007) examinaron el impacto de las TIC's sobre el crecimiento económico; para ello, se sirvieron de un panel de datos procedentes de distintas bases de datos del Banco Mundial sobre 156 países durante el período 1973-2002. Dentro del análisis teórico, incorporaron las TIC's en su modelo macroeconómico –de corte neoclásico-, en base a dos planteamientos alternativos. El primero de ellos supone que las TIC's condicionan la dinámica del progreso técnico, e introducen este supuesto proponiendo una extensión de la ecuación del progreso tecnológico propuesta por M-R-W (1992), en la cual se introducen las TIC's como fuente del progreso técnico. El segundo planteamiento asume que las TIC's son un factor productivo adicional, claramente diferenciado del capital físico, y es tenido en cuenta como tal en el desarrollo del modelo. Cabe añadir que se utilizaron tres indicadores para medir las TIC's, como son las líneas de telefonía fija, la cifra de ordenadores personales y el número de servidores de internet. Entre sus resultados, destacamos la elasticidad-TIC con respecto al output -estimada por el segundo procedimiento- se sitúa en un intervalo de 0,17% y 0,2%.

Finalmente, Moreno-Rivas (2010) estudió la relación entre las TIC's y el crecimiento en las regiones colombianas. Su enfoque teórico presenta una variante respecto a los supuestos teóricos de la economía neoclásica; tal diferencia estriba en contemplar las TIC's como una fuente indirecta del crecimiento económico. Es decir, propuso una extensión de la evolución neoclásica del progreso técnico, considerando que las TIC's influían sobre el progreso técnico y éste, a su vez, sobre el crecimiento. Para verificar su

¹⁷ En este trabajo, el capital TIC fue aproximado empleando un indicador diseñado por la OCDE en el año 2001, que consideraba los gastos en TIC's como porcentaje del PIB de cada país miembro.

proposición teórica, utilizó un panel de datos referido al período (1985-2000)¹⁸. Entre sus resultados, conviene destacar que obtuvo unas elasticidad-TIC moderadas y positivas (alrededor del 0,094%).

3. El Modelo

En el apartado anterior hemos resumido las tres principales vías a través de las cuáles se puede evaluar el efecto de las TIC's sobre el crecimiento y la convergencia. Como también se indicó, la tercera de ellas es la menos utilizada y, por tanto, la que presenta un mayor margen de mejora. Por esta razón, el objetivo principal del resto del ensayo es contribuir a esa rama del conocimiento desarrollando un enfoque teórico y empírico inspirado en la expresión neoclásica del equilibrio macroeconómico a largo plazo, es decir, su estado estacionario. En otras palabras, en las líneas que siguen trataremos de proporcionar una solución –al menos, parcial- a la paradoja de Solow, tanto desde una perspectiva teórica como empírica. Comenzamos, en esta sección, con el modelo teórico utilizado, para lo cual adoptamos un enfoque neoclásico.

Como paso previo al desarrollo del modelo, hemos de reconocer que el modelo neoclásico, sobre todo en sus versiones iniciales, tiene importantes debilidades, especialmente las relativas al supuesto de progreso técnico exógeno y a la existencia de un estado estacionario común que subyace a la combinación de sus supuestos de rendimientos constantes de escala y de productividad marginal decreciente del capital. Existe, por tanto, discordancia entre la evidencia empírica (las economías crecen siglo tras siglo y no convergen de forma intensa entre ellas) y las predicciones neoclásicas (un estado estacionario al que convergen todas ellas en el largo plazo).

A pesar de sus debilidades, enfatizadas por los modelos de crecimiento endógeno, existe también una importante línea de pensamiento que defiende la utilidad de los modelos neoclásicos para el estudio del crecimiento económico, dentro de la cual podemos

¹⁸ En este trabajo se utilizaron dos indicadores alternativos para recoger el efecto de las TIC's: el peso del sector de las telecomunicaciones con respecto al PIB, y un indicador de teleintensidad.

identificar la denominada convergencia condicional (Barro y Sala-i-Martín (1991)), los mecanismos de difusión tecnológica (por ejemplo, Tamura (1996) y Lucas (2000)) y los problemas asociados a la medición del progreso técnico (véase, por ejemplo, Young (1995)). Esta línea de pensamiento sostiene la existencia de una relación estrecha entre la acumulación de factores y el crecimiento económico, restando importancia al progreso tecnológico, y por tanto apoya manifiestamente el uso de modelos de corte neoclásico.

Con estas consideraciones en mente, nuestro punto de partida son los modelos de Solow (1956, 1957) y, sobre todo, de M-R-W (1992)¹⁹. En este trabajo, sin embargo, incorporamos una novedad fundamental: la descomposición del factor capital en dos componentes. El primero de ellos recoge el capital físico, tal y como se conoce tradicionalmente en la teoría económica, mientras que el segundo agrupa se refiere a las TIC's. Para ello, planteamos una función de producción agregada de corte neoclásico, suponiendo rendimientos constantes de escala de la función de producción y rendimientos marginales decrecientes, al referirnos individualmente, a los inputs. Contamos, por tanto, con la siguiente función de producción:

$$Y_{it} = K_{notic_{it}}^{\alpha} K_{tic_{it}}^{\beta} (A_{it} L_{it})^{1-\alpha-\beta} \quad (1)$$

En la que Y_{it} es el output, $K_{tic_{it}}$ es el capital de tecnologías de información y comunicación, $K_{notic_{it}}$ el capital físico (no relacionado con las TIC's), L_{it} denota el volumen de empleo y A_{it} simboliza un factor de progreso técnico, aumentador de la eficiencia en el trabajo o progreso técnico neutral-harrodiano, que crece a una tasa constante “g” (como se demuestra en Barro y Sala-i-Martín (1995), sólo la introducción

¹⁹ Ligado con lo anterior, los resultados empíricos de los modelos de Solow (1956) y de Mankiw, Romer y Weil (1992) presentan dos tipos de problemas. En primer lugar, atribuyen un peso considerable al factor capital en la participación de la renta o producto (casi el 80%) y relativamente poco al factor trabajo. Segundo, cuando se expresa el modelo en términos de crecimiento, las tasas de convergencia son muy elevadas, mientras que la evidencia empírica de las estimaciones de convergencia condicionada (β -convergencia) presenta valores que suelen oscilar entre el 1% y el 3% anual.

de progreso técnico ahorrador en trabajo -neutral-harrodiano- es consistente con la existencia de estado estacionario).

A largo plazo, Se supone que la evolución del empleo coincide con el crecimiento de la población total, con una tasa constante igual a “ n ”. Por último, los parámetros “ α ” y “ β ” denotan las elasticidades producto del capital físico y del capital TIC respectivamente; como a cada factor de producción se le retribuye de acuerdo a su producto marginal, dichos parámetros coincidirán con el peso relativo de cada uno de ellos dentro de la producción agregada. Como puede verse, en la ecuación (1) se impone el supuesto de rendimientos constantes a escala; asimismo, dado que α y β son menores que la unidad ($\alpha + \beta < 1$), cada factor productivo presenta, individualmente, rendimientos marginales decrecientes a escala. Por tanto, queda garantizada la existencia de estado estacionario.

A diferencia de la práctica común en la literatura, supondremos que los dos componentes del factor capital ($K_{tic_{it}}$ y $K_{notic_{it}}$) se deprecian a tasas anuales distintas, que son constantes y denotamos por δ y ψ , respectivamente. Por simplicidad, imponemos este supuesto asumiendo que cuando las empresas maximizan su beneficio intercambiarán en la utilización de los factores de producción $K_{tic_{it}}$ y $K_{notic_{it}}$ hasta que los productos marginales netos de depreciación sean iguales. Esto es, para unos ciertos parámetros γ y η se verifican las igualdades que se incluyen en la expresión (2).

$$\gamma (Y_{it} / K_{tic_{it}}) = \eta (Y_{it} / K_{notic_{it}}) ; \quad K_{notic_{it}} = (\eta/\gamma) K_{tic_{it}} \quad (2)$$

La ecuación (2) nos informa de que el capital $K_{tic_{it}}$ es una proporción del capital físico. O lo que es lo mismo, que las variables $K_{tic_{it}}$ y $K_{notic_{it}}$ guardan una relación de proporcionalidad.

Además, denominaremos $s_{notic_{it}}$ a la tasa de inversión en capital físico (o porcentaje de la renta invertida en capital físico) y $s_{tic_{it}}$ será la tasa de inversión en tecnologías de información y comunicación (o porcentaje de la renta invertida en capital TIC). Asumiendo la notación anterior, la inversión agregada bruta (IB) –suponemos- es igual al ahorro agregado, S_{it} , tal y como se plantea en la ecuación (3).

$$IBKnotic_{it} + IBKtic_{it} = S_{it} = snotic_{it} Y_{it} + stic_{it} Y_{it} \quad (3)$$

Por otro lado, la inversión neta, IN (esto es, dK/dt) se define como la inversión bruta menos la depreciación del capital; además, δ y ψ simbolizan –respectivamente– las tasas de depreciación de $Knotic_{it}$ y $Ktic_{it}$. Por su parte, g simboliza el ritmo anual (constante) de progreso técnico.

Las ecuaciones (4) y (5) muestran la dinámica del capital (físico y TIC) a lo largo del tiempo.

$$\dot{K}_{notic_{it}} = \frac{dKnotic_{it}}{dt} = snotic_{it} Y_{it} - (g + \delta) Knotic_{it} \quad (4)$$

$$\dot{K}_{tic_{it}} = \frac{dKtic_{it}}{dt} = stic_{it} Y_{it} - (g + \psi) Ktic_{it} \quad (5)$$

Por motivos de operatividad, formulamos las ecuaciones (4) y (5) en términos *per cápita*.

$$\dot{k}_{notic_{it}} = snotic_{it} y_{it} - (n + g + \delta) k_{notic_{it}} \quad (6)$$

$$\dot{k}_{tic_{it}} = stic_{it} y_{it} - (n + g + \psi) k_{tic_{it}} \quad (7)$$

La transformación de las ecuaciones (4) y (5) a las ecuaciones (6) y (7) tiene como objetivo expresar éstas últimas en términos de volumen de trabajo eficiente, lo cual es posible ya que hemos supuesto la existencia de rendimientos constantes de escala. Por

tanto $y_{it} = \frac{Y_{it}}{(A_{it} L_{it})}$, $k_{notic_{it}} = \frac{Knotic_{it}}{(A_{it} L_{it})}$ y $k_{tic_{it}} = \frac{Ktic_{it}}{(A_{it} L_{it})}$ son magnitudes por trabajador

o por habitante si se supone que el aumento de empleo coincide en el largo plazo con el de la población con una tasa constante igual a n . Así, las ecuaciones (6) y (7) las podemos expresar de la siguiente forma:

$$\frac{\dot{k}notic_{it}}{knotic_{it}} = \frac{snotic_{it}y_{it}}{knotic_{it}} - (n + g + \delta) \quad (8)$$

$$\frac{\dot{k}tic_{it}}{ktic_{it}} = \frac{stic_{it}y_{it}}{ktic_{it}} - (n + g + \psi) \quad (9)$$

En el equilibrio estacionario habrá de verificarse que las tasas de crecimiento tanto del capital TIC como del capital físico (no TIC) sean cero, lo que se formaliza en el conjunto de ecuaciones (10) y (11).

$$\frac{\dot{k}notic_{it}}{knotic_{it}} = 0; \quad \frac{snotic_{it}y_{it}}{knotic_{it}} = (n + g + \delta); \quad \frac{snotic_{it}}{(n + g + \delta)} = \frac{knotic_{it}}{y_{it}}; \quad (10)$$

$$\frac{\dot{k}tic_{it}}{ktic_{it}} = 0; \quad \frac{stic_{it}y_{it}}{ktic_{it}} = (n + g + \psi); \quad \frac{stic_{it}}{(n + g + \psi)} = \frac{k tic_{it}}{y_{it}}; \quad (11)$$

Sustituyendo en las terceras expresiones de (10) y (11) la producción agregada *per cápita* (y_{it}) por la forma funcional de la función de producción (también en términos *per cápita*), se obtienen las ecuaciones recogidas en las expresiones (12) y (13).

$$\frac{snotic_{it}}{(n + g + \delta)} = \frac{knotic_{it}}{knotic_{it}^{\alpha} ktic_{it}^{\beta}} \quad (12)$$

$$\frac{stic_{it}}{(n + g + \psi)} = \frac{k tic_{it}}{knotic_{it}^{\alpha} ktic_{it}^{\beta}} \quad (13)$$

A continuación, despejamos el capital TIC de la ecuación (12), y sustituimos en la ecuación (13), lo que se desarrolla en las ecuaciones (14) a (18).

$$k tic_{it}^{\beta} = \frac{knotic_{it}^{1-\alpha} (n + g + \delta)}{snotic_{it}} \quad (14)$$

$$\left(\frac{knotic_{it}^{\alpha} stic_{it}}{(n+g+\psi)} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} = \frac{knotic_{it}^{1-\alpha} (n+g+\delta)}{snotic_{it}} \quad (15)$$

$$(knotic_{it})^{\frac{1-\alpha-\beta}{1-\beta}} = \left(\frac{(snotic_{it})^{1-\alpha} (stic_{it})^{\frac{\beta}{1-\beta}}}{(n+g+\delta)(n+g+\psi)^{\frac{\beta}{1-\beta}}} \right) \quad (16)$$

$$knotic^* = \left(\frac{snotic_{it} (stic_{it})^{\frac{\beta}{1-\beta}}}{(n+g+\delta)(n+g+\psi)^{\frac{\beta}{1-\beta}}} \right)^{\frac{1-\beta}{1-\alpha-\beta}} \quad (17)$$

La ecuación (17) expresa el capital físico de estado estacionario del modelo propuesto. De forma análoga, obtenemos la expresión analítica del capital TIC, también en su estado estacionario:

$$ktic^* = \left(\frac{(snotic_{it})^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} stic_{it}}{(n+g+\psi)(n+g+\delta)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}} \right)^{\frac{1-\alpha}{(1-\alpha-\beta)}} \quad (18)$$

Adicionalmente, supondremos que tanto la evolución del progreso tecnológico como el crecimiento de la población activa se determinan de forma exógena, de acuerdo a las ecuaciones (19) y (20).

$$A_{it} = A_0 e^{gt} \quad (19)$$

$$L_{it} = L_0 e^{nt} \quad (20)$$

Finalmente, si sustituimos las expresiones (17), (18) y (19) en la función de producción (ecuación (1)) formulada en términos *per cápita* y tomamos logaritmos, entonces obtendremos la ecuación (21).

$$\begin{aligned}
Ln y_{it} = & Ln A_0 + g t + \frac{\alpha}{1 - \alpha - \beta} Ln (snotic_{it}) + \frac{\beta}{1 - \alpha - \beta} Ln (stic_{it}) \\
& - \frac{1}{1 - \alpha} Ln (n + g + \delta) - \frac{1}{1 - \beta} Ln (n + g + \psi)
\end{aligned} \tag{21}$$

Esta ecuación nos indica que la renta per cápita depende de la tasa de crecimiento del progreso técnico constante (g), de la tasa de crecimiento de la población activa (n), de la participación del capital físico ($snotic_{it}$) y de la participación del capital tic ($stic_{it}$) en la renta de cada país (i), en cada periodo (t). Esto es, la renta alcanzada por cada país en el último año disponible (la renta de equilibrio en el largo plazo o estado estacionario de cada país) es explicada a partir de las variables explicativas siguientes: el crecimiento de la población activa del periodo; la tasa de inversión en capital físico del período (cuya “proxy” suele ser la formación bruta de capital sobre el PIB); y otros factores causales resultantes de la descomposición del capital. En este caso, hemos descompuesto el factor capital en capital TIC ($ktic_{it}$) y capital físico (capital en sentido tradicional, $knotic_{it}$), por lo que la variable a incorporar además de la tasa de inversión en el capital físico es la tasa de inversión en capital TIC ($ktic_{it}$).

Por otro lado, para poder estimar la ecuación (21) en términos de convergencia β , al igual que M-R-W (1992), incorporamos el retardo del PIB *per cápita* en logaritmos en la regresión. Nuestra hipótesis es que la tasa de crecimiento de una economía es tanto mayor cuanto menor sea su nivel de renta *per cápita* de partida. Además, supondremos que el término $Ln A_0$ se descompone en un término constante (ϕ) y una perturbación o componente aleatorio (ε_{it}); éste recoge todos aquellos factores no considerados dentro del resto de variables. Con estas transformaciones, llegamos a la ecuación (22).

$$\begin{aligned}
Ln y_{i,t} - Ln y_{i,t-1} = & \phi + g t - (1 - e^{-\lambda t}) Ln y_{i,t-1} + \\
& \left(\frac{(1 - e^{-\lambda t})\alpha}{1 - \alpha - \beta} \right) Ln (snotic_{it}) + \left(\frac{(1 - e^{-\lambda t})\beta}{1 - \alpha - \beta} \right) Ln (stic_{it}) \\
& - \left(\frac{1 - e^{-\lambda t}}{1 - \alpha} \right) Ln (n + g + \delta) - \left(\frac{1 - e^{-\lambda t}}{1 - \beta} \right) Ln (n + g + \psi) + \varepsilon_{it}
\end{aligned} \tag{22}$$

Por último, añadir que la estimación econométrica de $(1 - e^{-\lambda t})$ nos informará sobre el grado de convergencia/ divergencia existente en el conjunto de los países de la muestra considerada. Teniendo en cuenta que asumimos la existencia de unos stocks de capital (físico y TIC) que alcanzan el estado estacionario, también tiene sentido analizar –si es que existe– la convergencia beta condicionada entre los distintos países. Siguiendo a Barro y Sala-i-Martin (1991 y 1992a) y M-R-W (1992), la velocidad de convergencia condicionada (λ) obtenida como una tasa de crecimiento acumulativo anual, se puede inferir con la expresión (23), donde está directamente asociada al retardo de la renta *per cápita*. En nuestro caso, esta estimación vendrá simbolizada por ρ .

$$\rho = -(1 - e^{-\lambda t}) \quad (23)$$

En el análisis empírico, se aplicará la metodología de estimación econométrica derivada del método generalizado de momentos, ya que su enfoque analítico permite realizar estimaciones considerando paneles dinámicos, y teniendo presente que se trata de un panel no balanceado (existen observaciones ausentes).

4. Datos

Una vez detallado el modelo, su contrastación empírica la llevaremos a cabo a partir de un panel de datos que consta de 104 países del mundo durante el periodo 1990-2012²⁰. Los datos utilizados han sido extraídos en su totalidad del *World Development Indicators databank* publicado por el Banco Mundial, y su definición metodológica se recoge en el Cuadro 1.

Centrándonos en nuestra variable de referencia, ya que el resto de variables incluidas en el modelo tienen definiciones estándar, hay que señalar que hemos considerado tres indicadores alternativos que aproximan las TIC's: usuarios de internet, suscripciones a terminales de telefonía móvil y suscripciones a líneas de telefonía fija.

²⁰ Los países considerados en el análisis han sido seleccionados aplicando criterios de disponibilidad de unos niveles mínimos de información estadística necesaria para la contrastación empírica.

Cuadro 1. Estructura de los indicadores utilizados

Indicador	Definición
y_{it}	PIB por persona activa, expresado en dólares constantes de EEUU del año 2005.
n	Tasa de crecimiento acumulativa anual de la población activa.
$knotic_{it}$	Inversión en formación bruta de capital fijo sobre el PIB.
$ktic 1_{it}$	Número de usuarios de internet por cada 100 habitantes.
$ktic 2_{it}$	Número suscripciones a terminales de telefonía móvil por cada 100 habitantes.
$ktic 3_{it}$	Número de suscripciones de líneas de telefonía fija por cada 100 habitantes.

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos del Banco Mundial.

Para llevar a cabo nuestro análisis empírico, en primer lugar, se considera una muestra que incorpora los 104 países; este primer cuadro de resultados puede servir para ilustrar la evolución de la economía mundial, así como su trayectoria en términos del ritmo de convergencia condicionada durante el período 1990-2012. En segundo lugar, se construyen tres grupos de países, según las tres categorías establecidas por M-R-W (1992)²¹. No obstante, hay que tener en cuenta que el mapa geográfico-político mundial se ha modificado sustancialmente. La desintegración de la antigua Unión Soviética, y la sucesión de conflictos bélicos en numerosos países africanos y asiáticos son una de las principales causas de estas alteraciones, razón por la cual, es más que probable que

²¹ Teniendo en cuenta los cambios que se han producido durante las últimas décadas, mantenemos las tres categorías de países propuestas por M-R-W (1992), aunque con los ajustes que se indican a continuación. M-R-W (1992) consideraron tres cluster de países: *non-oil countries*, *intermediate countries* y *OECD countries*. En el grupo de países no exportadores de petróleo, originalmente se consideraban 98 países (cuya industria no estaba especializada en el petróleo y sus derivados en el año 1985), mientras que en nuestro caso hemos recopilado datos tan solo para 68 países; en el caso de los países intermedios, hemos construido una submuestra con 62 países (en el caso de M-R-W (1992) eran 75, excluyendo solamente a aquellos cuya población no superase el millón de habitantes); además, el grupo de países integrantes de la OCDE se ha incrementado, pasando de 22 (los que formaban parte de la OCDE en 1985) a 34 integrantes.

dicha clasificación no resulte ser la más adecuada para este tipo de análisis empírico. En consecuencia, en tercer lugar se propone una clasificación de países alternativa, elaborada en base a los criterios de polarización propuestos por Esteban y Ray (1994); a raíz de la aplicación de dicha metodología, se han construido tres submuestras (países de renta alta, países de renta media y países de renta baja).

A continuación, realizaremos un breve análisis de estadística descriptiva. En el Cuadro 2 se ofrecen los principales estadísticos de las variables empleadas. Observamos que existe una dispersión considerable por países en todos los indicadores. Cabe destacar que el indicador relacionado con la utilización de internet ($ktic\ 1_{it}$) presenta una dispersión relativa sensiblemente mayor que el resto de variables. Por otra parte, la formación bruta de capital en porcentaje del PIB está notablemente más concentrada alrededor de su media que el resto de indicadores expuestos.

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de las variables empleadas

Variable	Media	Mínimo	Máximo	C.V. Pearson
y_{it}	13746	432,05	74021	0,90
$knotic_{it}$	23,03	-0,69	59,77	0,29
n	0,001	-0,01	0,009	1,35
$ktic\ 1_{it}$	14,96	0,00	94,69	1,50
$ktic\ 2_{it}$	25,23	0,02	94,15	0,80
$ktic\ 3_{it}$	25,00	0,15	74,46	0,79

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Banco Mundial.

5. Resultados

A continuación, realizamos el análisis empírico considerando los resultados teóricos obtenidos en la ecuación (22). Las correspondientes transformaciones logarítmicas hacen que disminuyan las posibilidades de existencia de heterocedasticidad en los residuos del modelo.

Los Cuadros siguientes recogen una síntesis de los resultados econométricos obtenidos a partir del modelo teórico descrito la sección 3, utilizando la base de datos descrita anteriormente.

Antes de mostrar los resultados hay que señalar que, para que sea posible efectuar las estimaciones econométricas, hemos asignado unos valores iniciales a los parámetros no observables relacionados con las tasas de depreciación de los inputs y con la tasa de crecimiento del progreso técnico. De esta forma, tomamos como punto de partida los siguientes valores:

$$g + \delta = 0,05; \quad g + \psi = 0,25$$

En lo que respecta al valor inicial de las tasas de depreciación del capital físico y del capital TIC, cabe puntualizar los siguientes aspectos. La tasa anual de depreciación del capital físico se ha fijado de acuerdo a los planteamientos de M-R-W (1992), quienes también asumieron un ritmo de depreciación anual entorno al 5%; no obstante, en relación con la magnitud de la depreciación del capital TIC, no tenemos constancia de ningún trabajo científico que considere tasas de depreciación distintas en el capital físico y el capital TIC; al no existir ningún valor de referencia sobre este parámetro, hemos supuesto que el capital TIC se deprecia a un ritmo del 25% anual (como parece lógico, un valor notablemente superior al ritmo anual de depreciación del capital físico).

A continuación, se incluyen los resultados econométricos obtenidos aplicando las técnicas econométricas en los paneles dinámicos. Así, se ha utilizado el Método Generalizado de los Momentos (GMM), debido a los potenciales problemas de endogeneidad que existen en la ecuación (22). Esta técnica resulta especialmente adecuada cuando tenemos un modelo de datos de panel dinámico con regresores predeterminados y/o endógenos para un reducido período de tiempo y una gran muestra de sección cruzada, como es nuestro caso (Arellano y Bond (1991); Arellano y Bover (1995)). De forma más concreta, se ha empleado el método de estimación System GMM con errores robustos debido a la existencia de problemas de heterocedasticidad. El estimador sistémico mostró mejores resultados en términos de diagnóstico que el estimador GMM en primeras diferencias.

Así, hay que destacar que se han efectuado tres contrastes de hipótesis que verifican la consistencia y la eficiencia estadísticas de las estimaciones obtenidas a partir de los System GMM. El primero de ellos es el contraste de Hansen, que analiza el grado de sobreidentificación del modelo, y establece como hipótesis nula que los estimadores son más consistentes si el modelo dinámico está sobreidentificado; el segundo estadístico mide la existencia de un proceso autorregresivo de primer orden en los residuos (es decir, un proceso de media móvil de primer orden); finalmente, el tercer estadístico contrasta la existencia de un proceso AR(2) en los residuos del modelo, ya que en el caso de existir, las estimaciones no serían consistentes.

En relación con las propiedades estadísticas de las estimaciones y para evitar repeticiones, queremos indicar que en todos los casos los valores de los contrastes estadísticos sustentan (en mayor o menor medida) la idoneidad del método de estimación utilizado (véanse Arellano y Bond (1991), Arellano y Bover (1995) y Blundell y Bond (1998)).

Con estas precisiones en mente, a continuación mostramos los resultados obtenidos para la muestra completa, y las submuestras basadas en el modelo de M-R-W y en el concepto de polarización desarrollado por Esteban y Ray (1994).

Cuadro 3. Estimaciones para el conjunto de los 104 países: estimador de Arellano-Bond (1991): system GMM

V. dependiente: crecimiento del PIB <i>per</i> cápita	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Término Constante	-0,22*** (2,72)	-0,031 (-0,34)	-0,092 (-0,88)	0,2*** (2,89)
$Ln y_{t-1}$	0,008 (0,89)	-0,01*** (-3,27)	-0,017*** (-4,62)	-0,029*** (-4,48)
$Ln ktic_{it}$	0,158*** (4,53)	0,074*** (7,72)	0,103*** (6,73)	0,108*** (6,82)
$Ln ktic 1_{it}$	-	0,002** (1,91)	-	-
$Ln ktic 2_{it}$	-	-	0,007*** (4,15)	-
$Ln ktic 3_{it}$	-	-	-	0,028*** (4,1)
$Ln (n+g+\delta)$	0,011 (0,95)	-0,009 (-0,17)	0,013 (0,23)	-0,081** (-2,6)
$Ln (n+g+\psi)$	-	0,054 (0,19)	-0,072 (-0,25)	0,61*** (3,74)
α Inferido	95,18%	86,33%	82,292%	70,385%
β Inferido	-	1,994%	4,132%	10,434%
λ Inferido	-	1,005%	1,715%	2,943%
Test de Arellano-Bond (Ho: no hay AR(1))	-3,85 [0,000]	-3,01 [0,003]	-4,04 [0,000]	-2,67 [0,008]
Test de Arellano-Bond (Ho: no hay AR(2))	0,03 [0,975]	-1,01 [0,316]	-1,2 [0,231]	-0,73 [0,465]
Test de Hansen (Ho: sobreidentificación)	100,9 [0,897]	97,8 [0,987]	98,85 [0,921]	87,87 [0,941]
Observaciones (N)	2070	1630	1546	1136
Observaciones por grupo (min-max)	9-21	4-19	1-21	1-19

Significatividad: entre paréntesis se muestran los t-ratio; entre corchetes se muestran los p-valor: $p^* < 0,1$, $p^{**} < 0,05$; $p^{***} < 0,01$. Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de toda la muestra, los resultados del Cuadro 3, muestran que la participación del factor capital es mayoritaria en todos los modelos, pues oscila entre el 70% y el 94%). Por otra parte, las TIC's tienen un peso relativo reducido, aunque significativo en los tres casos.

Adicionalmente, cabe destacar que el ritmo anual de convergencia condicionada a escala mundial oscila entre el 1% y el 2,9%. También podemos observar que las variables ligadas al progreso técnico y a la depreciación de los factores carecen de significatividad, excepto en el caso del Modelo 4.

Cuadro 4. Estimaciones para la submuestra de países *non oil countries*: estimador de Arellano-Bond (1991); system GMM

V. dependiente: crecimiento del PIB <i>per cápita</i>	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Término Constante	-0,125*** (-5,27)	0,044 (0,93)	-0,054 (-1,12)	0,116 (0,79)
$Ln y_{t-1}$	-0,005* (-1,68)	0,004 (-1,4)	-0,006* (1,92)	-0,091*** (-4,51)
$Ln k_{t-1}$	0,101*** (6,02)	0,073*** (6,99)	0,088*** (7,02)	0,139*** (4,39)
$Ln k_{t-2}$	-	0,002* (1,92)	-	-
$Ln k_{t-3}$	-	-	0,002** (2,15)	-
$Ln k_{t-4}$	-	-	-	0,077*** (4,57)
$Ln (n+g+\delta)$	-0,017 (-0,53)	-0,048 (-1,6)	0,005 (0,14)	0,092 (0,88)
$Ln (n+g+\psi)$	-	0,301** (2,47)	0,042 (0,29)	-0,16 (-0,37)
α Inferido	95,274%	93,27%	92,357%	48,519%
β Inferido	-	1,72%	1,402%	18,178%
λ Inferido	0,501%	-	0,704%	9,541%
Test de Arellano-Bond (Ho: no hay AR(1))	-3,29 [0,001]	-2,55 [0,011]	-2,48 [0,016]	-2,49 [0,013]
Test de Arellano-Bond (Ho: no hay AR(2))	-0,11 [0,914]	-0,55 [0,583]	-0,69 [0,49]	-0,34 [0,731]
Test de Hansen (Ho: sobreidentificación)	65,7 [0,817]	57,16 [1]	56,77 [1]	58,03 [0,938]
Observaciones (N)	1248	783	814	837
Observaciones por grupo (min-max)	4-19	1-19	1-19	1-19

Significatividad: entre paréntesis se muestran los t-ratio; entre corchetes se muestran los p-valor. $p^* < 0,1$, $p^{**} < 0,05$; $p^{***} < 0,01$. Fuente: Elaboración propia.

Dentro del Cuadro 4, podemos afirmar que hemos incluido estimaciones consistentes, debido a que el planteamiento metodológico del Método Generalizado de Momentos requiere cierto nivel de sobreidentificación dentro del modelo, lo cual verificamos con el contraste de Hansen en todos los modelos, mientras que los contrastes de Arellano-Bond arrojan los resultados esperados sobre los residuos para que las estimaciones sean válidas económicamente.

En lo que respecta a la participación del capital físico sobre el PIB, en el grupo *non oil countries*, esta cifra es sensiblemente superior que en el grupo de los 104 países. Además, la submuestra ligada al Cuadro 4 tiene participaciones del capital TIC inferiores a las del Cuadro 3 (en el caso de $ktic_{1it}$ y $ktic_{2it}$), mientras que con la $ktic_{3it}$ ocurre lo contrario. De igual forma, el ritmo anual de convergencia es inferior en los modelos del Cuadro 3 que en el Cuadro 4 -excepto en el Modelo 4, que ocurre lo contrario-. Además, los determinantes del crecimiento relacionados con la depreciación de los factores productivos no son significativos en ningún modelo.

El Cuadro 5 recoge las estimaciones del cluster de países *intermediate countries*. En primer lugar, hay que señalar que las tasas anuales de convergencia condicionada se sitúan entorno al 1% (excepto en el Modelo 4, cuyo ritmo anual de convergencia es de algo más del 3%). Al igual que ocurría con los anteriores clusters de países, estimado el Modelo 1 (planteamiento neoclásico de Solow (1956)), observamos que la participación del capital físico es muy elevada (un 91%). Sin embargo, las participaciones del capital físico sobre el PIB son inferiores cuando incorporamos las TIC's; por su parte, éstas adquieren un peso relativo en el PIB que oscila entre el 1,7% (Modelo 2) y el 15,8% (Modelo 4).

Cuadro 5. Estimaciones para la submuestra de países *intermediate countries*: estimador de Arellano-Bond (1991): system GMM

V. dependiente: crecimiento del PIB <i>per cápita</i>	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Término Constante	0,115*** (-4,35)	-0,012 (-0,17)	0,017 (0,47)	-0,054** (-0,30)
$Ln y_{t-1}$	-0,011** (-2,01)	-0,007* (1,68)	-0,005** (-2,12)	-0,031*** (-2,65)
$Ln knotic_{it}$	0,124*** (5,22)	0,086*** (6,94)	0,044*** (6,05)	0,064*** (2,89)
$Ln ktic 1_{it}$	-	0,002** (2,03)	-	-
$Ln ktic 2_{it}$	-	-	0,002*** (3,05)	-
$Ln ktic 3_{it}$	-	-	-	0,029*** (3,27)
$Ln (n+g+\delta)$	-0,002 8-0,07)	-0,012 (-0,23)	-0,01 (-0,42)	0,229 (1,43)
$Ln (n+g+\psi)$	-	0,142 (0,67)	0,106 (1,04)	-0,589 (-0,89)
α Inferido	91,81%	90,902%	87,154%	56,426%
β Inferido	-	1,674%	2,917%	15,81%
λ Inferido	1,106%	0,702%	0,501%	3,149%
Test de Arellano-Bond (Ho: no hay AR(1))	3,31 [0,001]	-2,53 [0,011]	-2,16 [0,031]	-2,81 [0,005]
Test de Arellano-Bond (Ho: no hay AR(2))	-0,58 [0,564]	-0,56 [0,578]	-0,14 [0,888]	0,84 [0,399]
Test de Hansen (Ho: sobreidentificación)	58,98 [0,955]	53,79 [1]	56,73 [1]	54,43 [0,928]
Observaciones (N)	1247	763	880	914
Observaciones por grupo (min-max)	18-21	1-19	1-19	4-19

Significatividad: entre paréntesis se muestran los t-ratio; entre corchetes se muestran los p-valor: $p^* < 0,1$, $p^{**} < 0,05$; $p^{***} < 0,01$. Fuente: Elaboración propia.

A continuación se incluyen en el Cuadro 6 los resultados empíricos obtenidos mediante la estimación de la ecuación propuesta por M-R-W (1992) para la muestra de países de la OCDE.

Cuadro 6. Estimaciones para la submuestra de países *OECD countries*: estimador de Arellano-Bond (1991): system GMM

V. dependiente: crecimiento del PIB <i>per cápita</i>	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Término Constante	0,075 (0,63)	0,295 (1,50)	0,248* (2,01)	0,407*** (2,95)
$Ln y_{t-1}$	-0,036** (-2,66)	-0,049*** (-2,80)	-0,033** (-2,47)	-0,091*** (-4,43)
$Ln knotic_{it}$	0,116*** (3,55)	0,105** (2,56)	0,037* (1,93)	0,109** (2,63)
$Ln ktic 1_{it}$	-	0,003** (2,27)	-	-
$Ln ktic 2_{it}$	-	-	0,004*** (3,41)	-
$Ln ktic 3_{it}$	-	-	-	0,074*** (3,83)
$Ln (n+g+\delta)$	0,052 (1,54)	-0,071 (-0,88)	-0,026 (-0,56)	-0,019 (-0,24)
$Ln (n+g+\psi)$	-	0,517 (1,33)	0,315 (1,48)	0,493 (1,64)
α Inferido	75,983%	66,403%	49,784%	42,01%
β Inferido	-	1,824%	5,065%	20,372%
λ Inferido	3,667%	5,024%	3,356%	9,761%
Test de Arellano-Bond (Ho: no hay AR(1))	-3,13 [0,002]	-2,41 [0,016]	-2,01 [0,045]	-2,65 [0,008]
Test de Arellano-Bond (Ho: no hay AR(2))	-1,45 [0,147]	-0,38 [0,702]	-0,25 [0,803]	-0,57 [0,572]
Test de Hansen (Ho: sobreidentificación)	33,69 [0,997]	32,73 [0,99]	33,6 [1]	33,19 [1]
Observaciones (N)	709	626	586	633
Observaciones por grupo (min-max)	16-21	14-19	7-19	14-19

Significatividad: entre paréntesis se muestran los t-ratio; entre corchetes se muestran los p-valor: $p^* < 0,1$, $p^{**} < 0,05$; $p^{***} < 0,01$. Fuente: Elaboración propia.

Respecto del cuadro 6, resulta fundamental comentar las cuestiones preliminares al análisis empírico que están relacionadas con la consistencia de las estimaciones obtenidas. Así pues, comprobamos que las estimaciones econométricas son consistentes, habida cuenta del contraste de sobreidentificación de Hansen, y de los test que analizan la existencia de procesos autorregresivos de primer y segundo orden; los cuatro modelos están sobreidentificados, todos ellos presentan un AR(1) en sus residuos y en ninguno de ellos los residuos siguen un proceso AR(2).

A la vista de los modelos incluidos en el Cuadro 6, destacamos que presentan diferencias sustanciales respecto a los resultados de los Cuadros anteriores. En primer lugar, la velocidad de convergencia es notablemente superior entre los países que integran la OCDE, en comparación con los tres cluster anteriores. Respecto a la cifra relativa de usuarios de internet, su importancia económica (1,82%) es comparable con la de los 104 países (1,99%) o con la del cluster *non oil countries e intermediate countries* (1,72% y 1,67% respectivamente). Por otro lado, la cifra relativa de suscripciones a telefonía móvil tiene un peso relativo mayor en la OCDE (5,07%) que en los Cuadros 3, 4 y 5 (un 4,13%, un 1,40% y un 2,91% respectivamente). En lo que respecta a la telefonía fija, los países de la OCDE también encabezan la participación de esta TIC sobre el PIB.

Aunque ya hemos hecho alusión anteriormente a ello, conviene recordar que la división de países propuesta por M-R-W (1992) presenta algunos inconvenientes. El principal de ellos es la omisión de numerosos países que actualmente tienen importancia en el panorama geográfico mundial; los motivos de esa exclusión dependían de una serie de factores: el reconocimiento por las instituciones internacionales, la fragmentación de la antigua URSS en varios países, etc. Por ello, hemos planteado un conjunto de submuestras que considera tres grupos de países clasificados por niveles de renta *per cápita*.

En la siguientes líneas se presentan los Cuadros 7, 8 y 9 correspondientes a los resultados de cada una de las tres nuevas submuestras, basadas en el concepto de polarización propuesto por Esteban y Ray (1994), y ampliamente utilizado como una forma endógena de agrupar países que comparten características similares, en este caso en renta. Por ello, dividimos entre países de renta alta, media y baja.

Cuadro 7. Estimaciones para la submuestra de países de renta alta: estimador de Arellano-Bond (1991): system GMM

V. dependiente: crecimiento del PIB <i>per cápita</i>	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Término Constante	0,621*** (2,94)	1,125** (2,57)	0,982*** (3,84)	0,484 (1,56)
$Ln y_{t-1}$	-0,036*** (-2,69)	-0,066*** (-2,84)	-0,054*** (-7,91)	-0,051*** (-3,10)
$Ln knotic_{it}$	0,035** (1,09)	0,095** (1,98)	0,086*** (5,60)	0,092** (2,17)
$Ln ktic 1_{it}$	-	0,003* (1,80)	-	-
$Ln ktic 2_{it}$	-	-	0,003* (2,59)	-
$Ln ktic 3_{it}$	-	-	-	0,066*** (3,84)
$Ln (n+g+\delta)$	0,121*** (7,10)	-0,071 (-0,66)	-0,047 (-0,84)	0,005 (0,05)
$Ln (n+g+\psi)$	-	0,692 (1,36)	0,605** (2,32)	0,351 (0,72)
α Inferido	49,29%	58,83%	60,18%	51,39%
β Inferido	-	1,78%	2,03%	20,13%
λ Inferido	3,66%	6,83%	5,54%	5,24%
Test de Arellano-Bond (Ho: no hay AR(1))	-2,46 [0,014]	-1,94 [0,052]	-3,12 [0,009]	-2,98 [0,003]
Test de Arellano-Bond (Ho: no hay AR(2))	-1,02 [0,308]	-1,22 [0,223]	-1,07 [0,284]	-0,84 [0,399]
Test de Hansen (Ho: sobreidentificación)	25,52 [0,923]	274,52 [1]	24,11 [0,989]	23,38 [1]
Observaciones (N)	437	429	433	430
Observaciones por grupo (min-max)	2-19	7-19	1-19	2-19

Significatividad: entre paréntesis se muestran los t-ratio; entre corchetes se muestran los p-valor: $p^* < 0,1$, $p^{**} < 0,05$; $p^{***} < 0,01$. Fuente: Elaboración propia.

A la vista del Cuadro 7, relativo al grupo de países de renta alta, podemos afirmar que los porcentajes de participación del capital físico sobre la producción agregada son bastante homogéneos en todos los casos, pues oscilan entre el 49% y el 60% aproximadamente en función del modelo seleccionado.

Por su parte, la importancia relativa de los distintos indicadores que aproximan el capital TIC tienen un impacto heterogéneo; si el capital TIC es medido mediante el

número de usuarios a internet (Modelo 2) o por las suscripciones a la telefonía móvil (Modelo 3), el capital TIC juega un papel relevante y significativo en el crecimiento económico, aunque con magnitudes reducidas (1,8% y 2% respectivamente). En el caso del Modelo 4 (telefonía fija), la participación del capital TIC se sitúa en un 20% de la producción agregada per cápita. Por otro lado, las tasas de convergencia condicional entre los países de renta alta son superiores al 3% anual, y alcanzan un 6,8% anual en el caso del Modelo 2.

Cuadro 8. Estimaciones para la submuestra de países de renta media: estimador de Arellano-Bond (1991): system GMM

V. dependiente: crecimiento del PIB <i>per cápita</i>	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Término Constante	-0,079 (-0,52)	0,406 (1,58)	0,285 (1,39)	0,405 (1,22)
$\ln y_{t-1}$	-0,051** (-2,53)	-0,043** (-2,44)	-0,045*** (-2,72)	-0,038*** (-3,21)
$\ln knotic_{it}$	0,172*** (5,01)	0,145*** (4,77)	0,131*** (4,56)	0,076*** (4,08)
$\ln ktic1_{it}$	-	0,007*** (2,71)	-	-
$\ln ktic2_{it}$	-	-	0,007*** (3,22)	-
$\ln ktic3_{it}$	-	-	-	0,019* (1,70)
$\ln (n+g+\delta)$	-0,014 (-0,74)	-0,121*** (-3,2)	-0,078** (-2,31)	-0,149 (-1,20)
$\ln (n+g+\psi)$	-	0,587** (2,29)	0,366* (1,70)	0,574 (1,27)
α Inferido	77,13%	74,68%	71,88%	47,11%
β Inferido	-	3,20%	3,44%	17,20%
λ Inferido	5,24%	4,40%	4,60%	3,87%
Test de Arellano-Bond (Ho: no hay AR(1))	-0,91 [0,364]	-2,64 [0,008]	-2,55 [0,011]	-1,54 [0,12]
Test de Arellano-Bond (Ho: no hay AR(2))	0,65 [0,517]	0,19 [0,85]	-0,20 [0,839]	-0,52 [0,606]
Test de Hansen (Ho: sobreidentificación)	33,7 [0,669]	36,38 [0,951]	34,66 [0,969]	24,78 [0,876]
Observaciones (N)	300	446	460	278
Observaciones por grupo (min-max)	1-13	1-19	1-19	1-19

Significatividad: entre paréntesis se muestran los t-ratio; entre corchetes se muestran los p-valor: $p^* < 0,1$, $p^{**} < 0,05$; $p^{***} < 0,01$. Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro 8 recoge los resultados econométricos derivados de la ecuación (22) para la muestra de países de renta media.

En este caso, se observa que las tasas de convergencia condicional son más reducidas que las inferidas en la muestra de países de renta alta. Sin embargo, la participación del capital físico sobre el PIB es sustancialmente mayor en el caso de los países de renta media que dentro de los países de renta alta, excepto en el modelo 4 (superiores al 70%, en el caso de la muestra de países de renta media, mientras que esas cifras oscilaban entre el 50% y el 60% en los países de renta alta); igualmente, la participación de las TIC's en los países de renta media son ligeramente superiores (3,2% y 3,4% en los respectivos modelos 2 y 3) con respecto a los mismos parámetros del Cuadro 7 (1,8 y 2% respectivamente). En relación con el modelo 4, la participación de la TIC en el PIB es mayor en el caso de los países de renta alta (20,1%) que en los países de renta media (que asciende a un 17,2%).

También hay que destacar que el ritmo anual de convergencia de los países de renta media es sensiblemente inferior a las tasas de convergencia de los países con mayores niveles de renta (excepto en el Modelo 1).

Cuadro 9. Estimaciones para la submuestra de países de renta baja: estimador de Arellano-Bond (1991): system GMM

V. dependiente: crecimiento del PIB <i>per cápita</i>	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Término Constante	-0,34** (-2,11)	-0,012 (-0,02)	0,307 (0,74)	0,918 (1,59)
$Ln y_{t-1}$	-0,018** (-2,52)	-0,017* (-1,67)	-0,031*** (-3,49)	-0,049** (-2,78)
$Ln knotic_{it}$	0,103*** (4,40)	0,056** (2,21)	0,066*** (3,25)	0,063* (1,92)
$Ln ktic 1_{it}$	-	0,006** (2,11)	-	-
$Ln ktic 2_{it}$	-	-	0,007** (2,31)	-
$Ln ktic 3_{it}$	-	-	-	0,025** (2,34)
$Ln (n+g+\delta)$	-0,071** (-2,05)	0,063 (-0,23)	-0,238 (-1,43)	-0,194 (-1,30)
$Ln (n+g+\psi)$	-	0,134 (0,14)	0,686 (1,12)	0,965 (1,56)
α Inferido	85,12%	71,57%	57,65%	47,95%
β Inferido	-	6,07%	5,51%	14,76%
λ Inferido	1,82%	1,72%	3,15%	5,23%
Test de Arellano-Bond (Ho: no hay AR(1))	-2,02 [0,043]	-2,37 [0,018]	-2,48 [0,013]	-2,13 [0,033]
Test de Arellano-Bond (Ho: no hay AR(2))	0,26 [0,794]	0,71 [0,478]	1,08 [0,279]	-1,03 [0,305]
Test de Hansen (Ho: sobreidentificación)	25,75 [0,949]	33,04 [0,995]	30,50 [0,998]	31,03 [0,93]
Observaciones (N)	342	415	437	390
Observaciones por grupo (min-max)	1-22	4-18	5-22	3-15

Significatividad: entre paréntesis se muestran los t-ratio; entre corchetes se muestran los p-valor: $p^* < 0,1$, $p^{**} < 0,05$; $p^{***} < 0,01$. Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro 9 recoge los resultados relativos a la muestra que contiene los países de renta baja. Pues bien, las velocidades de convergencia de la renta per cápita son, en los países bajos, inferiores a los ritmos de convergencia anual de las submuestras de países de renta alta y media (en el caso de los Modelos 1, 2 y 3).

Sobre los procesos de convergencia condicionada entre países clasificados por niveles de renta, podemos afirmar que –en cierta medida– los procesos de convergencia

condicionada son más intensos a medida que los niveles de renta son mayores, y viceversa. Por ello, los países de renta media tienden a converger entre ellos a un ritmo menor con respecto a los países de renta alta; análogamente, los países de renta baja presentan un ritmo de convergencia menor que la observada en las dos muestras anteriores. Así, el Modelo 2 presenta una velocidad de convergencia del 6,8% en el caso de los países de renta alta, un 4,4% dentro de los países de renta media y un 1,72% en la submuestra de países de renta baja; estos porcentajes son del 5,5%, 4,6% y 3,1% respectivamente en el Modelo 3 de cada submuestra.

En relación con la participación del capital físico sobre el PIB, estos parámetros son bastante heterogéneos dentro de los países de renta baja (pues este dato oscila entre un 85% y un 47,9%, dependiendo del modelo considerado). El impacto de las TIC's es superior dentro de los países de renta baja que en el conjunto de países de renta media; además, las TIC's presentan mayor importancia si comparamos su impacto en los países de renta media con respecto a los países de renta alta (en el caso de los Modelos 2 y 3 de cada Cuadro). Sin embargo, en el caso de aproximar las TIC's mediante las suscripciones de telefonía fija (Modelo 4), el peso relativo de éstas es menor dentro de los países de renta baja (14,74%) frente a los países de renta media (17,2%) y de renta alta (20,1%).

Considerando los Cuadros 7, 8 y 9, en el ámbito de la clasificación de países construida *ad hoc* en función del nivel de renta *per cápita* de cada uno de ellos (siendo estos países separados en tres grupos), podemos recalcar que la convergencia condicionada dentro de cada cluster está ligada al nivel de renta *per cápita* de cada grupo de países, siendo las tasas de convergencia más bajas cuanto menor es el grado de desarrollo económico del conjunto de países considerados.

En síntesis, los Modelos 2, 3 y 4 incorporan, respectivamente, tres indicadores alternativos del capital TIC, como son los usuarios de internet, las suscripciones a telefonía móvil y las suscripciones a telefonía fija observadas anualmente en cada país. Por lo tanto, podemos afirmar que las TIC's adquieren una importancia económica más alta cuanto menor es el grado de desarrollo económico del grupo de países considerado (en el caso de los Modelos 2 y 3). Sin embargo, cuando las TIC's son aproximadas

mediante las suscripciones a telefonía fija, el proceso descrito anteriormente es el inverso.

6. Conclusiones

En esta investigación se elabora un modelo inspirado en el modelo neoclásico de Solow para resolver la paradoja que él mismo planteó en el año 1987 sobre las tecnologías de información y comunicación. Además, tratamos de construir un modelo que se inspira en el trabajo de M-R-W (1992). En el apartado 2, hemos revisado los principales trabajos que han considerado la medición del crecimiento económico, junto con otros aspectos, como puede ser la velocidad de convergencia/divergencia condicionada existente entre un grupo de países determinado. No obstante, hemos abordado la cuestión del crecimiento económico internacional con distintos enfoques; hemos considerado, por un lado, los modelos de crecimiento endógeno, los cuales fundamentan sus resultados en los rendimientos crecientes de escala y, por lo tanto, no consideran la posibilidad de existencia de convergencia condicional; además, estos modelos obtenían un resultado teórico que generaba de forma endógena el surgimiento del progreso técnico.

Por su parte, los modelos macroeconómicos de crecimiento neoclásicos suponen que el progreso técnico tomará una determinada senda, asumiendo que dicha variable es ajena al modelo. Sin embargo, los modelos de crecimiento exógeno sí consideran la posibilidad de que existan procesos de convergencia, e incluso son capaces de proporcionar herramientas analíticas para medir la intensidad de esa convergencia. La clave es el supuesto de rendimientos marginales decrecientes de escala en los factores acumulables.

Por otra parte, hemos subrayado la importancia creciente que han adquirido las nuevas tecnologías de información y comunicaciones (TIC's) cuya importancia, tanto para los consumidores como para las empresas, ha crecido notablemente hasta nuestros días. En el apartado 3 hemos desarrollado el modelo teórico, considerando la posibilidad de que el crecimiento económico cuente con los factores de producción considerados en la

economía neoclásica (empleo y capital físico), y además, hemos incorporado un input adicional que represente todos esos aspectos que facilitan los procesos de producción y –quizá- repercutan positivamente sobre la productividad; a este nuevo input le hemos denominado capital TIC. En el apartado 4 hemos descrito las características básicas de los datos utilizados para realizar las contrastaciones empíricas. Por otra parte, en la sección 5 hemos incluido la aplicación empírica basada en el resultado teórico que se obtuvo con las expresiones de equilibrio en el largo plazo para los factores productivos considerados; de esta manera, hemos efectuado diversas estimaciones econométricas, considerando distintos modelos y distintos grupos de países.

A continuación, describimos las conclusiones esenciales de este trabajo.

El crecimiento económico de largo plazo considerando el capital TIC mejora las predicciones del modelo ampliado de Solow e inspirado en el modelo de Mankiw, Romer y Weil (1992). Básicamente, la incorporación de las TIC's como un factor productivo adicional no altera sustancialmente la contribución del capital físico sobre el PIB per cápita, y pasa a ser un input que explica de forma significativa el crecimiento económico mundial.

La importancia relativa del capital físico sobre el PIB per cápita, dentro del grupo *non oil countries*, oscila entre un 48,52% y un 95,27% del total, mientras que peso del capital TIC sobre la producción agregada se sitúa entre un 1,7% y un 18,18%. Además, el ritmo de convergencia anual inferida de estos países oscila entre el 0,5% y el 9,54%.

En el caso de la submuestra *intermediate countries*, el capital físico representa entre un 56,4% y un 91,8%, dependiendo del modelo considerado. Dentro de este grupo de países, el capital TIC tiene un peso relativo similar al grupo anterior de países. Por ello, la contribución del factor trabajo a la producción oscilaría entre un 45% y un 50% aproximadamente. En este caso, la velocidad de convergencia anual oscila entre un 1,1% y un 3,15%.

Por su parte, los países de la OCDE obtienen resultados más coherentes con la literatura empírica moderna. Considerando los Modelos 2, 3 y 4, la participación del capital físico

oscila entre el 42% y el 75,98%, mientras que el impacto económico del capital TIC está comprendido entre el 1,82% y el 20,37%. Por otra parte, la convergencia condicionada resulta heterogénea en función del modelo elegido, situada entre el 3,67% y el 9,76% anual –que, como podemos comprobar en términos comparativos, el ritmo de convergencia intrarregional es superior en este grupo de países con respecto a las submuestras *non-oil countries* e *intermediate countries*–.

En relación con los países de renta alta, media y baja, concluimos que el ritmo anual de convergencia β es tanto mayor cuanto mayores sean los niveles de renta *per cápita* de los países, esto es, los países de renta alta convergen entre sí más rápidamente que los países de renta media, que a su vez presentan unas velocidades de convergencia anual superiores a las de los países de renta baja.

En lo que respecta al capital TIC, podemos decir que tanto la variable usuarios de internet como las suscripciones a telefonía móvil presentan unas elasticidad-TIC a la producción *per cápita* menores a medida que se incrementan los niveles de renta de los países; el peso relativo de la TIC usuarios de internet es un 1,78% entre los países de renta alta, pasando a tomar cifras porcentuales de un 3,2% y un 6,07% en el caso de los países de renta media y baja, respectivamente. Estas participaciones relativas alcanzan, respectivamente, un 2,03%, un 3,44% y un 5,51% cuando consideramos la telefonía móvil como capital TIC. Sin embargo, en el caso de las suscripciones a líneas de telefonía fija, se observa el fenómeno inverso, es decir, el peso relativo de esta variable TIC sobre la producción agregada es mayor en los países con mayor renta (un 20,13%) que en los países de renta media (un 17,2%) y a su vez ésta es mayor que en los países de renta baja (un 14,76%).

En resumen, los resultados obtenidos indican que el modelo neoclásico de Solow para el crecimiento económico ampliado convenientemente proporciona un marco teórico adecuado para incorporar de forma desagregada el factor capital.

Finalmente, cabe destacar que la inversión en capital TIC tiene un impacto positivo y significativo en la generación de crecimiento económico para los países del mundo, en un contexto de largo plazo, si bien las magnitudes de dichas participaciones son

discretas y oscilan entre el 2% y el 6% (para las variables *ktic1* y *ktic2*), mientras que la participación relativa de la variable *ktic3* es sustancialmente mayor, con porcentajes que oscilan entre el 10% y el 20%.

7. Referencias

Arellano, M. y Bond, S. (1991): “Some Tests for Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations”, *The Review of Economic Studies*, 58 (2), pp. 277-297.

Arellano, M. y Bover, O. (1995): “Another look at the instrumental variables estimations of error-components models”, *Journal of Econometrics*, 68, pp. 29-51.

Banco Mundial (1990-2012): *Indicadores económicos*. Base de datos de *World Development Indicators* (WDI).

Barro, R. y Sala-i-Martin, X. (1991): “Convergence across States and Regions”, *Brookings Papers on Economic Activity*, 1, pp. 107-182.

Barro, R. y Sala-i-Martin, X. (1992a): “Convergence”, *Journal of Political Economy*, 100 (2), (April), pp. 223-251.

Barro, R. and Sala-i-Martin, X. (1992b): “Regional Growth and Migration: A Japan-United States Comparison”, *Journal of the Japanese and International Economics*, 6, pp. 312-346.

Becchetti, L. y Di Giacomo, S. (2007): “The unequalizing effects of ICT on economic growth”, *Metroeconomica*, 58 (1), pp. 155-194.

Blundell, R. y Bond, S. (1998): “Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models”, *Journal of Econometrics*, 87, pp. 115-143.

Bresnahan, T.F., Brynjolfsson, E. y L-Hitt (2002): "Information Technology, Workplace Organization, and the Demand for Skilled Labor: Firm-level Evidence", *Quarterly Journal of Economics*, 117 (1), pp. 339-76.

Brynjolfsson, E. e Hitt, L. (1996): "Paradox Lost. Firm level evidence on the returns to technology information system spending", *Management Science*, 42 (4), pp. 541-558.

De Long, B. (2001): "A Historical Perspective on the New Economy", *Montreal New Economy Conference*, Montreal.

Esteban, J.M. y Ray, D. (1994): "On the measurement of Polarization", *Econometrica*, 62 (4), pp. 819-851.

Fujita, M., Krugman, P. y Venable, A (1999): "The Spatial Economy. Cities, Regions and International Trade", *MIT Press*, Cambridge, Mass.

Guilles, F. y L'Horty, Y. (2005): "Is there still a productivity paradox? Two methods for a transatlantic comparison", *Economics of innovation and new technology*, 14 (7), pp. 533-551.

Gordon, R. (2000): "Does the New Economy measures up to the great inventions of the past?", *Journal of Economic Perspectives*, 14 (4), pp. 49-74.

Gordon, R. (2003): "HI-tech Innovation and productivity Growth: Does Supply create its own demand? *NBER*, Working Paper, 9437.

Gordon, R. (2004): "Why was Europe left at the station when America's productivity locomotive departed? *NBER*, Working Paper, 10611.

Hicks, J. (1965): "Capital and growth", *Oxford University Press*. New York.

Jorgenson, D.W. (2001): "Information technology and the US economy", *American Economic Review*, 91 (1), pp. 1-6.

Jorgeson, D.W., Stiroh, K.J., Gordon, R.J. y Sichel, D.E. (2000): "Raising the Speed Limit: U.S. Economic Growth in the Information Age", *Brookings Papers on Economic Activity*. 2000 (1), pp. 125-235.

Jorgenson, D.W., Motohashi, K. (2005): "Information technology and the Japanese Economy", *NBER*, Working paper n° 11801.

Jorgenson, D.W. y Vu, K. (2005): "Information technology and the World Economy". *The Scandinavian Journal of Economics*, 107 (4), pp. 631-650.

Jorgenson, D.W., Ho, M.S. y Stiroh, K.J. (2006a): "The sources of the Second Surge of U.S. productivity and implications for the future", *Federal Reserve Bank of New York*. Mimeo.

Jorgenson, D.W., Ho, M.S. y Stiroh, K.J. (2006b): "Potencial Growth of the U.S. Economy: Will the Productivity Resurgence Continue?" *Business Economics*, 41 (1), pp. 7-16.

Jorgenson, D.W., Ho, M.S. y Stiroh, K.J. (2007): "A retrospective Look at the U.S. Productivity Growth Resurgence". Federal Reserve Bank of New York, Staff Reports, 277.

Krugman, P. (1991): "Increasing Returns and Economic Geography", *Journal of Political Economy*, 99 (3), pp. 483-499.

Krugman, P. (2000): "Where in the World in the 'New Economic Geography'", cap. 3 del libro coordinado por G.L.Clark, M.P. Feldman y M.S.Gerler: *The Oxford Handbook of Economic Geography*, Oxford Univ. Press, Oxford.

Lucas, R.E. (1988): "On the Mechanics of Economic Development", *Journal of Monetary Economics*, 22 (1), pp. 3-42.

Lucas, R.E. (2000): "Some Macroeconomics for the 21st century", *Journal of Economic Perspectives*, 14 (1), pp. 159-168.

Mankiw, G., Romer, D; y Weil, D.N. (1992): "A Contribution to the Empirics of Economic Growth", *The Quarterly Journal of Economics*, 107 (2), pp. 407-437.

Moreno-Rivas, A.M. (2010): "Las TIC y el crecimiento regional en Colombia, 1985-2000", *Economía y Desarrollo*, 9 (2), pp. 77-93.

Neffati, M. y Besbes, L. (2013): "Corretation ICT education and economic growth . Case of the Arab Economies", *International Journal of Economics, Finance and Management*, 2 (1), pp. 135-142.

Nonneman, W. y Vanhoudt, P. (1996): "A Further Argumentation of the Solow Model and the Empirics of Economic Growth for OECD Countries", *The Quaterly Journal of Economics*, 11 (3), pp. 453.553.

Nordhaus, W, (2001): "Productivity growth and the New Economy", *NBER working Papers*, 8096.

Oliner, S,D, y Sichel, D.E. (1994): "Computer and output growth revisited: how big is the puzzle?" *Brooking Papers on Economic Activity*, 2, pp. 273-317.

Oliner, S,D, y Sichel, D.E. (2000): The resurgence of growth in the late 1990s: is information technology the story? *Federal Reserve Board*, Washington.

Pilat, D. y Lee, F.C. (2001): "Productivity growth in ITC -producing and ITC-using industries: a source of growth differentials in the OECD?" *STI Working Papers* 2001/4.

Rebelo, S. (1991): "Long-Run Policy Analysis and Long-Run Growth", *The Journal of Political Economy*, 99 (3), pp. 500-521.

Romer, P.M. (1986): "Increasing Returns and Long-Run Growth", *Journal of Political Economy*, 94 (5), pp.1002-1037.

Romer, P.M. (1987): "Growth Based on increasing Returns Due to Specialization", *American Economic Review*, 77 (2), 56-62.

Sala-i-Martin, X. (2002): Apuntes de crecimiento económico. 2ª ed. Antoni Bosch.

Schreyer, P. (2000): "The contribution of Information and Communication Technology to Output Growth: A study of the G7 Countries", *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, 2000/2, OECD Publishing.

Schumpeter, J.A. y Nichol, A.J. (1934): "Robinson's Economics of Imperfect Competition", *Journal of Political Economic*, 42 (2), pp. 249-259.

Solow, R. (1956): "A contribution to the Theory of Economic Growth", *The Quarterly Journal of Economics*, 70 (1), pp. 65-94.

Solow, R. (1957): "Technical Change and the Aggregate Production Function", *Review of Economics and Statistics*, 39, pp. 312-20.

Solow, R. (1987): "We'd Better Watch Out", *Book Review of Manufacturing Matters, The Myth of the Post-Industrial Economy*, The New York Times.

Stiroh, K. (2002): Information technology and the U.S. productivity revival: wath the industry data say?, *American Economic Review*, 92 (5), pp. 1559-1576.

Stiroh, K. (2004): "Reassessing the Impact of IT in the Production Function: A Meta-Analysis and Sensitivity Tests", *Federal Reserve Bank of New York*.

Swan, T.W. (1956): "Economic Growth and Capital Acumulation", *The Economic Record*, 32 (2), pp. 334-361.

Tamura, R. (1996): “Regional economies and market integration”, *Journal of Economics Dynamics and Control*, 20, pp. 825-845.

Vilaseca i Requena, J. y Torrent i Sellens, J. (2006): “TIC, conocimiento y crecimiento económico. Un análisis empírico, agregado e internacional sobre las fuentes de productividad”, *Revista de Economía Industrial*, 360, pp. 41-60.

Young, A. (1995): “The Tyranny of Numbers: Confronting the Statistical Realities of the East Asian Growth Experience”, *The Quarterly Journal of Economics*, 110 (3), pp. 641-680.

8. Anexos

Anexo I: Grupos de países considerados en las estimaciones econométricas

Lista de países considerados en el Cuadro 3 (104 países)

Afganistán, Albania, Argelia, Angola, Argentina, Armenia, Australia, Austria, Azerbaiyán, Bangladesh, Bielorrusia, Bélgica, Benin, Bolivia, Bosnia-Herzegovina, Brasil, Bulgaria, Camerún, Canadá, Chile, China, Colombia, República del Congo, Costa Rica, Croacia, Cuba, República Checa, Dinamarca, Ecuador, Egipto, El Salvador, Estonia, Etiopía, Finlandia, Francia, Georgia, Alemania, Grecia, Guatemala, Honduras, Hong Kong, Hungría, Islandia, La India, Indonesia, Irán, Irak, Irlanda, Israel, Italia, Jamaica, Japón, Kazajistán, Kenia, Corea del Sur, Kirguistán, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Macedonia, Madagascar, Malawi, Malasia, Malta, Mauritania, México, Moldavia, Mongolia, Marruecos, Mozambique, Países Bajos, Nueva Zelanda, Noruega, Pakistán, Panamá, Paraguay, Perú, Islas Filipinas, Polonia, Portugal, Rumanía, Rusia, Arabia Saudí, Singapur, Eslovaquia, Eslovenia, España, Sudáfrica, Sri Lanka, Suecia, Suiza, Tayikistán, Tailandia, Trinidad y Tobago, Túnez, Turquía, Ucrania, Reino Unido, Estados Unidos, Uruguay, Uzbekistán, Venezuela, Vietnam y Zimbabue.

Anexo 1A: Grupos de países considerados por M-R-W (1992)

Lista de países considerados en el Cuadro 4 (*non oil countries*)

Argelia, Angola, Argentina, Australia, Austria, Bangladesh, Bélgica, Benin, Bolivia, Brasil, Camerún, Canadá, Chile, Colombia, Congo, Costa Rica, Dinamarca, Ecuador, Egipto, El Salvador, Etiopía, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Guatemala, Honduras, Hong Kong, La India, Indonesia, Irlanda, Israel, Italia, Jamaica, Japón, Kenia, Corea del Sur, Madagascar, Malawi, Malasia, Mauritania, México, Marruecos, Mozambique, Países Bajos, Nueva Zelanda, Noruega, Pakistán, Panamá, Paraguay, Perú, Islas Filipinas, Portugal, Singapur, España, Sudáfrica, Sri Lanka, Suecia, Suiza, Tailandia, Trinidad y Tobago, Túnez, Turquía, Reino Unido, Estados Unidos, Uruguay, Venezuela, y Zimbabue.

Lista de países considerados en el Cuadro 5 (*intermediate countries*)

Argelia, Argentina, Australia, Austria, Bangladesh, Bélgica, Bolivia, Brasil, Camerún, Canadá, Chile, Colombia, Costa Rica, Dinamarca, Ecuador, El Salvador, Etiopía, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Guatemala, Honduras, Hong Kong, La India, Indonesia, Irlanda, Israel, Italia, Jamaica, Japón, Kenia, Corea del Sur, Madagascar, Malawi, Malasia, México, Marruecos, Países Bajos, Nueva Zelanda, Noruega, Pakistán, Panamá, Paraguay, Perú, Islas Filipinas, Portugal, Singapur, España, Sudáfrica, Sri Lanka, Suecia, Suiza, Tailandia, Trinidad y Tobago, Túnez, Turquía, Reino Unido, Estados Unidos, Uruguay, Venezuela y Zimbabue.

Lista de países considerados en el Cuadro 6 (*OECD countries*)

Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Chile, República Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Islandia, Irlanda, Israel, Italia, Japón, Corea del Sur, Luxemburgo, México, Países Bajos, Nueva Zelanda, Noruega, Polonia, Portugal, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Turquía, Reino Unido y Estados Unidos.

Anexo 1B: Grupos de países clasificados con criterios de polarización

Lista de países considerados en el Cuadro 7 (28 países de renta alta)

Alemania, Arabia Saudí, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Eslovenia, Estados Unidos, España, Finlandia, Francia, Grecia, Hong Kong, Irlanda, Islandia, Israel, Italia, Japón, Luxemburgo, Noruega, Nueva Zelanda, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, Singapur, Suecia, Suiza,

Lista de países considerados en el Cuadro 8 (41 países de renta media)

Argentina, Brasil, Bulgaria, Chile, Colombia, Corea del Sur, Costa Rica, Croacia, Cuba, Eslovaquia, Estonia, Georgia, Guatemala, Hungría, Irak, Irán, Jamaica, Kazajistán, Letonia, Lituania, Macedonia, Malasia, Malta, Moldavia, México, Panamá, Paraguay, Perú, Polonia, República Checa, Rumanía, Rusia, Sudáfrica, Tailandia, Tayikistán, Trinidad y Tobago, Túnez, Turquía, Ucrania, Uruguay, Venezuela,

Lista de países considerados en el Cuadro 9 (35 países de renta baja)

Afganistán, Albania, Angola, Argelia, Armenia, Azerbaiyán, Bangladesh, Benin, Bielorrusia, Bolivia, Bosnia-Herzegovina, Camerún, China, República del Congo, Ecuador, Egipto, El Salvador, Etiopía, Filipinas, Honduras, India, Indonesia, Kenia, Kirguistán, Madagascar, Malawi, Marruecos, Mauritania, Mongolia, Mozambique, Pakistán, Sri Lanka, Uzbekistán, Vietnam, Zimbaue,

Capítulo 6: Impacto de la logística en la eficiencia técnica de la producción mundial

RESUMEN

En esta investigación se utiliza una función de producción propuesta por Mankiw, Romer y Weil (1992) para estimar, en una primera etapa, la contribución del capital físico y del capital humano sobre el crecimiento económico y, en una segunda etapa, la contribución de las redes logísticas a la eficiencia técnica. Para ello se utiliza la metodología de estimación de las fronteras estocásticas de treinta y cuatro países del mundo. Basándonos en el conocido modelo Estructura-Conducta-Resultados, observamos que la contribución económica del factor logístico medido por el IDL (Índice de Desempeño Logístico) a la eficiencia técnica se estima en un 0,64% por cada aumento del 1% del IDL. Por ello, las redes logísticas se muestran como un componente fundamental de la eficiencia técnica de la producción mundial.

1. Introducción

Sirvan estas líneas para agradecer a Xosé Luis Fernández López su inestimable colaboración en la confección de este capítulo. Su ayuda no se ha centrado únicamente en el ámbito literario, pues buena parte de las ideas rectoras sobre las que se fundamenta este ensayo quedan en su deber.

Existen pocas dudas hoy de que las tecnologías de información y comunicación (TIC's) y las redes logísticas son la base de importantes eficiencias en la producción mundial.

Sin embargo, esto no significa que conozcamos cuál es el impacto de las redes logísticas en la producción económica mundial a corto y largo plazo y la eficiencia en dicho

proceso productivo. Incluso existe una cierta controversia sobre cómo afectan las nuevas tecnologías y las redes logísticas a la producción y su eficiencia. Existe, en definitiva, lo que Stiglitz (2014) denomina un enigma sobre la naturaleza de las ventajas comparativas que proporciona la innovación, las nuevas tecnologías de información y comunicación y las redes logísticas.

No existen muchos estudios en los que se analice la contribución de la logística sobre el crecimiento económico. De hecho, que sepamos, sólo uno (el de Coto-Millán, Agüeros, Casares-Hontañón y Pesquera (2013)) se centra en aproximar la contribución de las redes logísticas al crecimiento económico mundial. Es por ello que llama extraordinariamente la atención la escasez de trabajos e investigaciones sobre el impacto de las redes logísticas dada la notable expansión que éstas han tenido en los últimos años. Coto-Millán, Agüeros, Casares-Hontañón y Pesquera (2013) estudian el impacto en el crecimiento económico del índice de desempeño logístico con un enfoque de solución de equilibrio de largo plazo de un modelo de crecimiento y estiman que un incremento del 1% del índice de desempeño logístico puede generar un crecimiento económico en un intervalo que oscila entre 0,011% y 0,034%.

Habida cuenta de estas carencias tan importantes en el ámbito de las redes logísticas, el propósito de esta investigación es contribuir al mejor conocimiento del impacto de las redes logísticas sobre la producción mundial, considerando una muestra de países del mundo lo más amplia posible, si bien dicho análisis quedará supeditado a la disponibilidad de datos.

En este contexto, el presente trabajo pretende contribuir a la literatura económica a través de distintas vías. Primero, se amplía el modelo neoclásico de crecimiento económico propuesto por Solow (1956, 1957). Así, estimaremos el modelo descrito por Mankiw, Romer y Weill (1992) ampliando el de Solow (1956, 1957). Más adelante estudiaremos la eficiencia técnica a partir de un modelo de fronteras estocásticas y más adelante trataremos de explicar el grado de ineficiencia técnica siguiendo el modelo de Estructura-Conducta-Resultados (E-C-R) propuesto por Mason y Bain en el conocido planteamiento de la Escuela de Harvard.

En primer lugar, al considerar el impacto de las redes logísticas como variable explicativa de la ineficiencia técnica (a través del índice de desempeño logístico), intentaremos dar una respuesta a la pregunta sobre el impacto de dicho factor logístico sobre la eficiencia/ineficiencia de la producción mundial. Consideramos esta cuestión de enorme interés dado que el avance en las redes logísticas es una de las cuestiones sociales y económicas más significativas de las últimas décadas, hasta el punto que ha generado lo que algunos denominan una nueva revolución en la producción, almacenamiento, distribución y transporte.

En segundo lugar, examinamos otras variables de la Estructura además de las redes logísticas de cada país, como su tamaño medido por la superficie y la especialización de cada país dentro del sector servicios y del sector agrícola en el PIB. También se tendrán en cuenta otras variables de la Conducta, como pueden ser el grado de apertura al exterior, la tasa de inversión en patentes, la tasa de desempleo, los niveles de inflación o el gasto público de cada país en relación al PIB.

En tercer lugar, este planteamiento no sólo es el propio de E-C-R de la Escuela de Harvard sino que comparte ideas con el enfoque de la Nueva Geografía Económica, al permitir analizar si los resultados obtenidos se mantienen cuando tenemos en cuenta el acceso al mercado a partir de la inclusión en la ecuación explicativa de la ineficiencia de una variable que la aproxima la situación geográfica de las áreas económicas consideradas.

Con este objeto, y dadas las limitaciones de datos, utilizamos una muestra de 34 países durante los años 2007-2010-2012. Asimismo, esta muestra se puede subdividir en varias submuestras para averiguar si, como parece lógico, existen diferencias significativas en el efecto de la logística sobre la eficiencia dependiendo del grupo de países considerado.

El resto del capítulo se organiza de acuerdo a las siguientes pautas. En el apartado segundo se realiza una revisión de literatura existente acerca del impacto de algunas variables como las redes logísticas en la literatura más próxima a este análisis que es la del crecimiento económico. En el apartado tercero se plantea el modelo teórico que será estimado posteriormente. En el apartado cuarto se repasa la información estadística

utilizada en este trabajo. Seguidamente, se estima el modelo propuesto y se ofrecen sus principales resultados. Finalmente, en el apartado sexto se ofrecen las principales conclusiones de esta investigación.

2. Revisión literaria

En este apartado, se realizará una revisión de la literatura económica relacionada con el estudio del impacto de las redes logísticas en el crecimiento económico a partir del estudio de funciones de producción y de la eficiencia obtenida de a partir de la definición de una frontera de posibilidades de producción, de naturaleza estocástica.

Stiglitz (2014) destaca que lo que ocurre hoy es análogo a los avances que tuvieron lugar en los años ochenta con el inicio de la utilización de los computadores personales.

Bauer (1990) descompone la contribución al crecimiento de la productividad total de los factores de los países del mundo en presencia de ineficiencia en costes, de progreso tecnológico, y de rendimientos de escala no constantes.

Islam (1995) y Hall y Jones (1996) estiman respectivamente la eficiencia técnica y la productividad de los países del mundo.

Rao y Coelli (1998) realizaron un análisis del crecimiento económico, del catch-up, de la convergencia en productividad y de la desigualdad de los países del mundo.

Islam (2001) actualiza los índices de productividad propuestos en Islam (1995) y realiza una comparación con otros enfoques sobre la productividad total de los factores a los países del mundo.

Delgado y Álvarez (2003) realizan un estudio para la Unión Europea de los quince. Los resultados de esta investigación, que estima una función translogarítmica, son que el

factor trabajo tiene una contribución muy importante (coeficiente de 0,752) junto con el capital privado (coeficiente de 0,132) mientras que el capital público tiene una contribución algo menor al crecimiento económico (0,128). Por el contrario, el capital humano no resulta significativo. La principal conclusión de este trabajo es que la ineficiencia puede ser explicada por el ratio capital público respecto al privado con un coeficiente de 1,01, esto es, cuanto menor sea la proporción del capital público sobre el privado en la producción mayor es la eficiencia técnica. Por otro lado, la variable explicativa “inversión en educación sobre el PIB” no resulta estadísticamente significativa.

Liman y Miller (2004) explican el crecimiento económico a partir de variables como la eficiencia productiva, el crecimiento de la productividad total de los factores y el factor de acumulación.

Deliktas y Balcilar (2005) realizan una frontera de producción para ciento treinta países en el periodo 1991-2000, sin embargo, al final se centran en la estimación de la eficiencia técnica de veinticinco países en transición.

Lam (2010) plantea un análisis econométrico de sección cruzada para analizar el papel de las instituciones en la eficiencia técnica de los países del mundo. Esta investigación concluye que las instituciones tienen un papel positivo sobre el crecimiento.

Alonso y Aubyn (2010) estiman una frontera de eficiencia técnica para la producción de los diecinueve países de la Unión Europea a partir de distintos análisis de sección cruzada de los años 1970, 1980, 1990 y 2000. Este autor construye una función de producción en la que el output se aproxima por el PIB por trabajador y utiliza tres inputs: el capital público por trabajador, el capital privado por trabajador y el capital humano. Además, en este trabajo aplican los enfoques de fronteras estocásticas y semiparamétricos con cómputo de índices de productividad de Malmquist. Los resultados de esta investigación que estima una función Cobb-Douglas son que el capital privado tiene una contribución muy importante (coeficiente de 0,538) junto con el capital público (coeficiente de 0,118), mientras que el capital humano tiene una contribución algo menor al crecimiento económico (0,014). La tendencia tiene un

coeficiente positivo algo mayor (0,047). La principal conclusión es que la ineficiencia puede ser explicada por la efectividad del gobierno a la hora de invertir en stock de capital neto con un coeficiente positivo (0,071).

Finalmente, Oliveira-Pires y García (2012) estiman una función de producción mundial y su frontera para el periodo 1965-2000, y concluyen que existe un conjunto de variables explicativas que determinan la ineficiencia técnica en la producción de los países.

3. Modelo teórico

Como se ha visto en el apartado anterior uno de los temas centrales de la literatura económica hace referencia a la eficiencia técnica de la producción de los países. Para estimarla en esta investigación se ha utilizado el paquete *Stochastic Frontier Analysis* introducido en el programa estadístico “R” por Coelli y Henningsen (2013).

En la especificación hecha por Battese y Coelli (1995) al que introducen mejoras Coelli, Rao, O'Donnell y Battese (2005) y Olsen y Henningsen (2011). En este modelo la función de producción que explica la ineficiencia se estima en una sola etapa con la tecnología de producción, lo que evita el problema de inconsistencia en la estimación en dos etapas.

El modelo se puede expresar como:

$$Y_{it} = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_{jit} + (V_{it} - U_{it}), i=1,...,N, t=1,...,T, \quad (1)$$

En (1), Y_{it} denota (el logaritmo de) la producción del i -ésimo país en el t -ésimo periodo de tiempo; X_k representa la k -ésima cantidad de input; β_k representa la elasticidad output con respecto al k -ésimo input; V_{it} es una variable aleatoria que se asume es

independiente e igualmente distribuida (iid), y que sigue una distribución Normal truncada del tipo $N(0, \sigma_v^2)$. Por su parte, U_{it} tiene la siguiente especificación:

$$U_{it} = z_{it} \delta + W_{it} \quad (2)$$

En la ecuación (2), U_{it} representa el efecto ineficiencia técnica en la producción y también se supone que es iid con truncamientos en cero de la $N(\mu, \sigma_\mu^2)$. Por su parte, z_{it} es un vector (1 x m) de variables explicativas asociadas a la ineficiencia técnica de la producción de los países a través del tiempo. Las variables explicativas pueden incluir algunas variables de entrada en la frontera estocástica, siempre que los efectos de la ineficiencia sean estocásticos. Si la primera z -variable es uno y los coeficientes de todos los demás z -variables son cero, entonces este caso representa el modelo especificado en Stevenson (1980) y Battese y Coelli (1992).

En (2), δ es un vector ($m \times 1$) de coeficientes desconocidos. Si todos los elementos del vector de δ son iguales a cero, entonces los efectos de ineficiencia técnica no están relacionados con las variables z y así se obtiene la distribución half-normal originalmente especificada en Aigner, Lowell y Schmidt (1977).

En (2), W_{it} es una variable aleatoria $N(0, \sigma^2)$, pero no necesariamente idénticamente distribuida.

En (2), U_{it} es no-negativo y tiene la distribución truncada $N(z_{it} \delta, \sigma^2)$, siendo $z_{it} \delta$ la media de la distribución normal, que está truncada en cero para obtener la distribución de U_{it} . El hecho de que el término U_{it} sea no-negativo, no requiere que sea positivo para cada observación.

La eficiencia técnica de producción para el i -ésimo país en el t -ésima observación se define por la ecuación: $TE_{it} = \exp(-U_{it}) = \exp(-z_{it} \delta - W_{it})$. Para el desarrollo de la estimación empírica, se propone el método de máxima verosimilitud, ya que el proceso de estimación econométrica se efectuará de forma simultánea, considerando la estimación simultánea de los parámetros de la frontera estocástica por un lado, y por otro lado, el modelo para analizar los determinantes de la ineficiencia técnica.

4. Datos

Para realizar nuestro análisis, hemos extraído de la base de datos mencionada las variables que se enumeran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Estructura de los indicadores utilizados

Indicador	Definición	Fuente (años)
Función de Producción		
y_{it}	PIB <i>per cápita</i> en dólares de EEUU constantes con año base 2005.	Banco Mundial (2007-2010-2012)
h_{it}	Capital humano	Banco Mundial (2007-2010-2012)
k_{it}	Formación bruta de capital fijo en dólares de EEUU constantes con año base 2005.	Banco Mundial (2007-2010-2012)
Modelo Determinantes Eficiencia Técnica		
IDL	Índice de desempeño logístico	Banco Mundial (2007-2010-2012)
Patentes	Número de patentes por cada millón de habitantes	Banco Mundial (2007-2010-2012)
Tasa de desempleo	Desempleo como porcentaje de la fuerza de trabajo	Banco Mundial (2007-2010-2012)
Tasa de Inflación	Porcentaje anual de incremento de precios al consumo	Banco Mundial (2007-2010-2012)
Nivel de Terciarización	Peso del sector servicios como porcentaje del PIB	Banco Mundial (2007-2010-2012)
Nivel de dependencia agrícola	Peso del sector agrícola como porcentaje del PIB	Banco Mundial (2007-2010-2012)
Apertura exterior	Suma de exportaciones más importaciones como porcentaje del PIB	Banco Mundial (2007-2010-2012)
Gasto público	Gasto público como porcentaje del PIB	Banco Mundial (2007-2010-2012)
Tamaño	Superficie del país en Km ²	Banco Mundial (2007-2010-2012)

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Banco Mundial.

Para llevar a cabo nuestro análisis empírico, se tomará una muestra de 34 países de los que existen datos completos para los años en que están disponibles los índices en los años 2007, 2010 y 2012. La limitación de la disponibilidad de los datos de los índices logísticos ha obligado a realizar el panel únicamente para los tres años en los que están disponibles.

A continuación, realizaremos un breve análisis de estadística descriptiva. En el Cuadro 2 se ofrecen los principales estadísticos de las variables empleadas.

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos

Variable	Media	Mínimo	Máximo
y_{it}	28911,00	4322,00	87717,00
k_{it}	20,33	11,67	31,96
hc_{it}	101,77	66,17	133,05
Índice de desempeño logístico	3,72	2,17	4,44
Patentes	20853,30	15,00	333498,00
Tasa de paro	8,00	2,50	25,20
Tasa de inflación	2,80	0,95	12,81
Nivel de terciarización	69,34	45,42	92,86
Nivel dependencia agrícola	2,66	0,06	10,36
Apertura exterior	107,04	27,91	448,31
Gasto público	34,13	14,80	62,15
Tamaño	1601.77,00	1.092,00	17098240,00

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Banco Mundial.

Considerando cada variable, observamos que existe una dispersión considerable por países en todos los indicadores. Destacamos que los indicadores relacionados con la logística presentan una dispersión relativa similar y sensiblemente mayor que el resto de variables. Por otra parte, la formación bruta de capital en porcentaje del PIB está más concentrada alrededor de su media.

5. Resultados

A continuación, realizamos el análisis empírico considerando los resultados teóricos obtenidos en la ecuación (1). Sobre todas las variables del Cuadro 3 se han efectuado las correspondientes transformaciones logarítmicas que hacen que disminuyan las posibilidades de existencia de heterocedasticidad en los residuos del modelo.

Conviene recordar que ha estimado empíricamente el modelo por máxima verosimilitud y se han contrastado diferentes hipótesis con los resultados que se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Estimación de la función de producción (2007-2012)

	Estimación Maximo-Verosimil	
Variable	Coefficiente	Error estándar
Término constante	10,583	(0,041)***
C. Físico	0,080	(0,016)***
C. Humano	0,876	(0,301)**
C. Físico²	0,073	(0,015)***
C. Humano²	-2,358	(2,783)
C. Físico*C. Humano	0,299	(0,231)
$\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_\mu^2$	0,086	(0,017)***
γ	0,741	(0,101)***
Logaritmo de la verosimilitud		3.859,76

Fuente: elaboración propia.

En el Cuadro 3 puede observarse la estimación de la función de producción para 34 países en los años para los que existe el IDL, esto es: 2007, 2010 y 2012. Es de destacar que los coeficientes de todas las variables tienen el signo esperado y todas las variables son significativas.

En el Cuadro 4 es rechazada la forma funcional Cobb-Douglas frente a la Translog. También es rechazada la hipótesis de inexistencia del efecto estocástico. También es

aceptada la determinación conjunta de las variables que explican la ineficiencia técnica (ya que se rechaza la función de producción sin los determinantes de la ineficiencia).

Cuadro 4. Contraste hipótesis sobre los parámetros

Contraste de hipótesis	Hip. Nula	Estadístico	Decisión
Cobb- Douglas	$\beta_{6-12} = 0$	31,73***	Rechazo H_0
Contraste de Hausman	E. Fijos= E. Aleatorios	195,59***	Rechazo H_0
Efecto estocástico	$\gamma = 0$	53,28 ***	Rechazo H_0
Modelo eficiencia técnica	$\gamma = \delta_{0-9} = 0$	442,86***	Rechazo H_0
Significación conjunta (determinantes de la eficiencia técnica)	$\delta_{1-9} = 0$	103,69 ***	Rechazo H_0

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 5 se presentan las variables que han sido seleccionadas como variables determinantes de la ineficiencia técnica.

Cuadro 5. Determinantes de la ineficiencia técnica (2007-2012)

Variable	Estimación	t-Student
Término constante	12,152	(4,21)**
Índice de desempeño logístico	-0,623	(0,13)***
Patentes	-0,155	(0,05)**
Tasa de paro	0,488	(0,12)***
Tasa de inflación	0,054	(0,02)*
Nivel de terciarización	-2,986	(0,96)**
Nivel de dependencia agrícola	0,314	(0,12)**
Apertura exterior	-0,17	(0,18)
Gasto público	0,496	(0,27)*
Tendencia	0,098	(0,06)*
Tamaño en km²	0,14	(0,06)*

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 5 las variables han sido seleccionadas conforme al modelo Estructura-Conducta-Resultados propuesto por Bain y Mason de la Escuela de Harvard. En este modelo de Organización Industrial, la variable **Resultados** (en nuestro caso, la ineficiencia) es determinada por las variables de la **Estructura** y la **Conducta**. Así, la variable que corresponde a los **Resultados** es la variable ineficiencia técnica que pretendemos explicar a partir de variables de **Estructura** como el tamaño del país medido por su “tamaño en km²”. La interpretación es que a mayor superficie en km² del país, existe más ineficiencia (0,13). Este es el significado del signo positivo. Las variables de **Estructura** “terciarización” y “nivel de dependencia agrícola” indican la participación de estos sectores en el PIB de cada país. Los resultados de los coeficientes -2,95 para la variable “terciarización” y de 0,31 para la variable “nivel de dependencia agrícola” son los esperados tanto en signo como en cantidad. Una economía con mayor importancia económica del sector servicios es menos ineficiente (o más eficiente) que una con menor participación en dicho sector. Por otra parte, una economía con mayor participación del sector agrícola es menos eficiente que una con menor participación sectorial de este sector.

La variable “apertura exterior” es una variable relacionada con la **Conducta** de cada país, y se obtiene por el cociente de la suma de las importaciones y exportaciones respecto al PIB; en este caso, su signo y valor (-0,17) quiere decir que un aumento de la apertura al exterior del 1% proporciona un crecimiento de la eficiencia técnica de la producción del 0,17%, si bien dicha variable no es significativa estadísticamente en nuestro modelo.

Por otro lado, la variable “índice de desempeño logístico” también tiene que ver con la **Conducta** de cada territorio y -con un valor de -0,63- supone que un incremento de dicho índice en un 1% proporciona un aumento de la eficiencia igual a un 0,63% en la producción de los países del mundo.

La variable “patentes” recoge los resultados de cada país en términos de innovación y/o progreso técnico (dicha variable también estaría considerada como de **Conducta** dentro del modelo E-C-R. Su coeficiente estimado de -0,15 indica que un aumento de las

inversiones en I+D+i y por tanto en patentes de un 1% genera un incremento de 0,15% de la eficiencia técnica en la producción.

La variable “ t ” recoge la tendencia de la ineficiencia y en cierta medida el progreso tecnológico. Su coeficiente estimado es 0,09 y quiere decir que aumentos del 1% del progreso tecnológico neutral en el sentido de Hicks proporcionan descensos de la ineficiencia de 0,09%.

Las variables “tasa de paro” y “tasa de inflación” son ambas de **Estructura**, y la estimación de sus efectos es la esperada. A mayor inflación (dado el coeficiente estimado de 0,05), existirán mayores niveles de ineficiencia en la producción. Por otro lado, un nivel de desempleo con tendencia al alza dará lugar a mayor ineficiencia en el proceso productivo, dado el coeficiente estimado (positivo y significativo) de 0,48.

El Cuadro 6 muestra los resultados de la eficiencia técnica media de la producción del país en el periodo 2007-2012.

Cuadro 6. Eficiencia técnica media en el periodo 2007-2012

Período	Nº Observaciones	Eficiencia técnica	Nº países
2007-2012	102	0,641	34

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 7 se muestran los resultados de la eficiencia técnica media de la producción de cada gran área geográfica en el periodo 2012.

Cuadro 7. Eficiencia técnica por grandes áreas en el año 2012

Áreas Geográficas	2012
América del Norte	0,666
Europa	0,666
Europa PIGS	0,579
Asia/ Pacífico	0,673
Eficiencia técnica media	0,627

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 7 se observa que la eficiencia técnica de los países de Asia Pacífico es la más elevada, seguida por América del Norte y Europa y en último lugar quedan los países europeos denominados PIGS (Portugal, Irlanda, Grecia y España).

6. Conclusiones

Los resultados obtenidos indican que se puede utilizar una función de producción del tipo propuesto por Mankiw, Romer y Weil (1992) y estimar la eficiencia técnica por fronteras estocásticas para analizar la contribución de las redes logísticas a la eficiencia técnica de los países.

A continuación, describimos las conclusiones esenciales de este trabajo.

La producción de largo plazo considerando el capital humano mejora las predicciones del modelo ampliado de Solow e inspirado en Mankiw, Romer y Weil (1992). La incorporación del capital humano normaliza la contribución del capital físico sobre el PIB *per cápita*.

La contribución económica de las redes logísticas medida por el índice de desempeño logístico a la eficiencia técnica se estima en un 0,63% por cada 1%. Esto es, si incrementamos las redes logísticas en un 1% la eficiencia técnica en la producción aumenta en un 0,63%. Las redes logísticas se muestran como un componente importante de la eficiencia técnica de la producción mundial.

En resumen, los resultados obtenidos indican que el modelo neoclásico de Solow para el crecimiento económico ampliado convenientemente como sugieren Mankiw, Romer y Weil (1992) y considerando que las redes logísticas afectan a la eficiencia técnica de la producción de países como otro conjunto de variables inspiradas en el modelo E-C-R proporciona un marco teórico adecuado para estimar la contribución de las redes logísticas.

Cabe añadir, además, que la eficiencia técnica media mundial se situó en 0,64 durante el lapso temporal considerado; si realizamos comparaciones por áreas geográficas, son los países asiáticos quienes lideran el ranking de eficiencia técnica dentro del proceso de crecimiento económico en el período 2007-2012 (0,67). En grado de eficiencia les siguen de cerca Norteamérica y Europa (0,66) –que presentan cifras de eficiencia técnica semejantes entre ellas-. Como dato a resaltar, considerando los PIGS europeos, hemos detectado la existencia de una brecha de eficiencia técnica con respecto a la media europea (0,57 frente a 0,66).

Finalmente, tanto el nivel de terciarización como las inversiones en las redes logísticas medida por el índice de desempeño logístico tienen un impacto positivo y notablemente significativo en la generación de mayor eficiencia técnica para la producción de los países del mundo. Tal es así que son los dos factores que explican en mayor medida el comportamiento de la ineficiencia técnica. Particularmente, resulta recomendable fomentar la especialización de las economías en el sector servicios. También, y a raíz de la evidencia empírica, es aconsejable fomentar el factor logístico en los países donde los índices de eficiencia técnica son más reducidos, pues hemos comprobado que el factor logístico índice positivamente sobre la reducción de la ineficiencia técnica.

7. Referencias

Aigner, D., Lovell, C. y Schmidt, P. (1977): "Formulation and Estimation Stochastic Frontier Production Function Models", *Journal of Econometrics*, 6 (1), pp. 21-37.

Alonso, A. y Aubyn, M. S. (2010): "Public and Private inputs in aggregate production and Growth. A cross-country efficiency approach", *Working Paper Series*, HO 1154, February 210, European Central Bank, Eurosystem.

Banco Mundial (2007-2012): "Indicadores económicos". Base de datos *World Development Indicators* (WDI).

Battese, G. E. y Coelli, T.J. (1995): "A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data", *Empirical Economics*, 20 (2), pp. 325-332.

Bauer, P. W. (1990): "Descomposing TFP growth in the presence of cost inefficiency, non constant returns to scale, and technological progress", *Journal of Productivity Analysis*, 1 (4), pp. 287-299.

Coelli, T. y Henningsen, A. (2013). Frontier: Stochastic Frontier Analysis. R package version 1.1-0. <http://CRAN.R-Project.org/package=frontier>.

Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., y Battese, G. E. (2005): *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Springer, New York.

Coto-Millán, P., Agüeros, M., Casares-Hontañón, P. y Pesquera, M.A. (2013): "Impact of logistics performance on world economic growth (2007-2012)", *World Review of Intermodal Transportation Research*, 4 (4), pp. 300-310.

Delgado, M.J. y Álvarez, I. (2003): "Productive capital and Technical Efficiency in the UE-15". European Regional Science Association Conference Papers, Number ERSA03, p. 43.

Deliktas, E. y Balcilar, M. (2005): “A comparative of productivity growth, catch-up and converge in transition economics”, *Emerging Markets Finance and Trade*, 41 (4), pp. 6-28.

Hall, R. y Jones, C. (1996): “The productivity of Nations”, *NBER*, Working paper, 5812.

Islam, N. (1995): “Growth empirics: a panel data approach”, *Quarterly Journal of Economics*, 110 (4), pp. 1127-1170.

Islam, N. (2001): “Different approaches to international comparison of total factor productivity”, *New Developments in Productivity Analysis*, C.R. Hulten, E. R. Dean, and M. J. Harper, Eds., University of Chicago Press, Chicago, I11, USA.

Lam, C.K. (2010): “Estimating cross-country technical efficiency economic performance and institutions- A Stochastic Production Frontier Approach”, *29th General Conference of the International Association for Research in Income and Wealth*, Finland, August 20-26.

Liman, Y.R. y Miller, S.M. (2004): “Explaining Economic Growth: Factor Accumulation, Total Factor Productivity Growth and production Efficiency Improvement”, University of Connecticut, Department of Economics, *Working paper*, N° 2004-20.

Mankiw, G., Romer, D. y Weil, D.N. (1992): “A Contribution to the Empirics of Economic Growth”, *Quarterly Journal of Economics*, 107 (2), pp. 407-437.

Olsen, J.V., y Henningsen, A. (2011): “Investment Utilization and Farm Efficiency in Danish Agriculture”, *Institute of Food and Resource Economics*, FOI Working Paper No. 2011/13.

Oliveira-Pires, J. y García, F. (2012): “Productivity of nations: A Stochastic Frontier Approach to TFP Decomposition”, *Economics Research International*, pp. 1-19.

Rao, D.S.P. y Coelli, T.J. (1998): “A cross-country analysis of GDP growth, catch-up and convergence in productivity and inequality”, *Working Paper 5/98, Centre for Efficiency and Productivity Analysis* (CEPA).

Solow, R. (1956): “A contribution to the Theory of Economic Growth”, *The Quaterly Journal of Economics*, 70 (1), pp. 65-94.

Solow, R. (1957): “Technical Change and the Aggregate Production Function”, *Review of Economics and Statistics*, 39, pp. 312-20.

Solow, R. (1987): “We’d Better Watch Out”. Book Review de *Manufacturiong Matters. The Myth of the Post-Industrial Economy*, The New York Times, July 12nd, 1987.

Stiglitz, J.E. (2014): “El enigma de la innovación”, El País, 30 de Marzo.

Stevenson, R. E. (1980): "Likelihood Functions for Generalized Stochastic Frontier Estimation", *Journal of Econometrics*, 13 (1), pp. 57-66.

Capítulo 7: Resumen y conclusiones

Las principales conclusiones del primer ensayo expuesto en el capítulo segundo son las siguientes.

En primer lugar, para los países europeos hemos encontrado evidencia de que el capital tecnológico, particularmente el núcleo que hemos sintetizado en el gasto público y privado en I+D, se encuentra estrechamente ligado a la producción de innovación en los países europeos. Además, existe otro factor que contribuye a la generación de aquella, como es el capital humano, aunque lo hace en menor proporción.

En segundo lugar, hemos detectado la influencia en la innovación de otro determinante que no se encuadra dentro de las variables tradicionales empleadas para explicar la innovación; tal variable la hemos denominado capital relacional, y cuantifica con cierta precisión las relaciones colaborativas entre las empresas, demostrándose que influyen positiva y significativamente en la creación de innovación, de forma bastante significativa en el contexto de la UE-15, y en menor medida en la UE-27.

En tercer lugar, el capital humano tiene un efecto consolidado sobre la innovación, tanto en el tiempo como en las diferentes particiones que se han realizado en el panel de datos, esto es, la cifra relativa de graduados o licenciados universitarios incide positivamente en la generación de innovación, ya sea entre los países de la UE-15, así como en el conjunto de la Unión Europea, y también considerando solamente los países incorporados a la Comunidad en 2004 y 2007, aunque en este último caso con menor relevancia.

El análisis realizado muestra que lo que llamamos capital relacional, esto es, la capacidad de generar innovación a través de la colaboración y apoyo de las diferentes instituciones, empresas y éstas entre sí (que ocurren fuera del mercado) tienen un papel positivo y relevante en la producción de innovación y progreso tecnológico.

En el segundo ensayo presentado dentro del capítulo tercero se ha estimado el nivel de eficiencia técnica de la producción de innovación.

En lo que respecta a los resultados, en primer lugar, hemos comprobado que las funciones de producción arrojan unas elasticidades de primer orden significativas, teniendo mayor importancia el capital tecnológico en dicha función, seguido del capital humano (que ocupa el segundo lugar) y el factor que menos influye sobre la producción de innovación resulta ser el capital relacional, aunque en los tres casos, influyen de forma significativa.

En segundo lugar, de la contrastación empírica se deduce que existen economías de escala en la producción de innovación.

En tercer lugar, en relación con la eficiencia técnica de la innovación por países, hay que destacar que Suecia lidera el índice de eficiencia técnica, dentro del método de estimación de funciones de producción estocásticas, el cual hemos seleccionado como más fiable, considerando los dos métodos paramétricos de estimación de fronteras de producción.

Además de Suecia, países como Finlandia, Alemania, Holanda, Luxemburgo y Dinamarca se sitúan a la cabeza de los países eficientes; por otra parte, Rumanía, Lituania, Bulgaria y Polonia se sitúan a la cola en nuestro ranking de eficiencia técnica.

Por último, destacamos que la mayoría de países presentan unas cifras de eficiencia técnica (ponderada por la población de cada país) que oscilan entre el 40% y el 60%.

En el tercer ensayo se ha planteado un modelo de producción de innovación a nivel mundial, que incluye un análisis de la eficiencia técnica. Dentro de los resultados econométricos que se han obtenido el capital humano se sitúa como el primer input en importancia para la innovación, cuya inversión genera rendimientos crecientes de escala. El capital tecnológico es el segundo input más importante, pues más de la mitad de la inversión en I+D se convierte en innovación, aunque en un contexto de rendimientos marginales decrecientes. En tercer lugar, se sitúa el capital científico.

Se concluye que la eficiencia técnica varía significativamente en el conjunto de países del mundo durante el período de estudio. Considerando los índices de eficiencia técnica, hay que destacar el liderazgo de los países asiáticos a nivel mundial en la producción de innovación, encabezados por Corea del Sur y Japón. De los países occidentales, cabe decir que se encuentran en posiciones intermedias respecto a la mayor parte de países de Asia; también hay que destacar que la mayor parte de los últimos puestos están ocupados por países africanos y latinoamericanos.

Finalmente, concluimos que la generación de innovación es un aspecto clave para el futuro de cualquier país, aunque hay que tener en cuenta la eficiencia de la producción de innovación en cada uno de ellos, considerando el volumen de recursos (inputs) empleados. Por ello, se espera que la mejora de la eficiencia técnica impulse la competitividad internacional, la mejora de la productividad y el crecimiento económico mundial.

En el cuarto ensayo, presentado en el capítulo quinto, se elabora un modelo inspirado en el modelo neoclásico de Solow para resolver la paradoja que él mismo planteó en el año 1987 sobre las tecnologías de información y comunicación. Además, se construyó un modelo inspirado en el trabajo de M-R-W (1992). A continuación, describimos las conclusiones esenciales de este trabajo.

El crecimiento económico de largo plazo considerando el capital TIC mejora las predicciones del modelo ampliado de Solow e inspirado en M-R-W (1992).

Analizando el conjunto de los 104 países, se ha estimado que durante, el lapso temporal 1990-2012, la velocidad de convergencia se ha situado entre un 1% y un 2,9% anual, en función del modelo considerado. La participación del capital físico sobre el PIB considerando las TIC's oscila entre un 70% y un 86%, mientras que el peso de las TIC's está comprendido entre un 2% y un 10%. Por lo tanto, Al factor trabajo se le puede atribuir un porcentaje del PIB mundial situado entre un 12% y un 20%.

La importancia relativa del capital físico sobre el PIB *per cápita*, dentro del grupo *non oil countries*, oscila entre un 48% y un 95% del total, mientras que peso del capital TIC

sobre la producción agregada se sitúa entre un 2% y un 18%. Además, el ritmo de convergencia anual estimada de estos países oscila entre el 0,5% y el 9,5%.

En el caso de los *intermediate countries*, el capital físico representa entre un 48% y un 55%, dependiendo de la variable TIC considerada. Dentro de este grupo de países, el capital TIC tiene un peso relativo similar al grupo anterior de países. Por ello, la contribución del factor trabajo a la producción oscilaría entre un 56% y un 91%. En este caso, la velocidad de convergencia anual oscila entre un 1% y un 3%.

Por su parte, los países de la OCDE obtienen resultados más coherentes con la literatura empírica moderna. Considerando los distintos modelos, la participación del capital físico oscila entre el 42% y el 75%, mientras que el impacto económico del capital TIC está comprendido entre el 1,8% y el 20%. Por otra parte, la convergencia condicionada resulta más elevada que en los casos anteriores, situada entre el 3,6% y el 9,7% anual.

Respecto de los países de renta alta, su ritmo de convergencia se sitúa entre el 3,6% y el 6,8% anual; el peso de las TIC's sobre el PIB se cuantifica en un intervalo comprendido entre un 1,8% y un 20,13%, y los porcentajes de capital físico son sensiblemente menores que en los grupos anteriores (49%-60%).

Por su parte, los países de renta media convergen entre ellos a un ritmo algo menor que el grupo de países anterior (3,8%-5,24%); el peso de las TIC's sobre la producción agregada es ligeramente superior (entre un 3,2% y un 20%), y la participación del capital físico también es mayor que aquéllos (entre un 47% y un 77%), en detrimento de las rentas del factor trabajo.

En relación a los países de renta baja, cabe decir que su ritmo de convergencia es aún menor que en los dos casos anteriores (entre un 1,8% y un 5,2%); sin embargo, el peso de las TIC's sobre la producción agregada es superior cuando la TIC considerada es *acceso a internet* o suscripciones a *telefonía* móvil (ocurre lo contrario con la telefonía fija). Además, en este caso, la importancia relativa del capital físico es más heterogénea si cabe que en los resultados anteriores (se sitúa entre un 48% y un 85%).

En resumen, los resultados obtenidos indican que el modelo neoclásico de Solow para el crecimiento económico ampliado convenientemente proporciona un marco teórico adecuado para incorporar desagregadamente el capital TIC.

Para finalizar el cuarto ensayo las inversiones en las TIC's tienen un impacto moderado, positivo y significativo en la generación de crecimiento económico para los países del mundo en un contexto de largo plazo.

El quinto ensayo, objeto del capítulo sexto, aborda el impacto de la logística en la eficiencia técnica del crecimiento. Los resultados obtenidos indican que el modelo neoclásico de Solow para el crecimiento económico ampliado convenientemente como sugieren M-R-W (1992), y de nuevo ampliado con la incorporación de las redes logísticas proporciona un marco teórico adecuado para estimar la contribución de las redes logísticas a la eficiencia técnica de la producción de países. Además se han incorporado otro conjunto de variables inspiradas en el modelo E-C-R con resultados determinantes.

Las variables que mejoran los índices de eficiencia de los países son, por este orden, el nivel de terciarización de las economías, el factor logístico y las patentes. Por otra parte, variables como el nivel de dependencia agrícola, el gasto público en términos relativos, la tasa de desempleo o los niveles de inflación lastran las cifras de eficiencia técnica, esto es, influyen negativamente sobre los procesos productivos eficientes técnicamente.

Finalmente, las inversiones en las redes logísticas medidas por el índice de desempeño logístico han tenido un impacto positivo y significativo en la generación de mayor eficiencia técnica para la producción agregada dentro de los 34 países considerados durante el período 2007-2012.

Referencias

Mankiw, G., Romer, D; y Weil, D.N. (1992): "A Contribution to the Empirics of Economic Growth". *The Quarterly Journal of Economics*, 107 (2), pp. 407-437.