

# CÁTEDRA en Economía y Gestión de la Innovación

---



Working Paper # 2018/32

**ESFUERZO TECNOLÓGICO EN EL PROCESO DE CONVERGENCIA DE LA EUROZONA<sup>1</sup>**

**Aina Vílchez Munar<sup>2</sup>**

**UAM-Accenture Working Papers**

**ISSN: 2172-8143**

Edited by: UAM-Accenture Chair on the Economics and Management of Innovation, Autonomous University of Madrid, Faculty of Economics

Editado por: Cátedra UAM-Accenture en Economía y Gestión de la Innovación

E-mail: [catedra.uam-accenture@uam.es](mailto:catedra.uam-accenture@uam.es) URL: <http://www.uam.es/docencia/degin/catedra/>

---

<sup>1</sup> Este documento ha sido elaborado sobre la metodología, resultados y conclusiones de la Tesina para la obtención del grado de Master Universitario en Economía y Gestión de la Innovación. Dirigido por el Prof. Rafael Myro Sánchez. Septiembre, 2017

<sup>2</sup> Correo de contacto: [ainavm14@gmail.com](mailto:ainavm14@gmail.com)

# ÍNDICE

<b>1. OBJETIVO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>4</b>
<b>2. REVISIÓN DE LA LITERATURA .....</b>	<b>5</b>
<b>3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1. Modelo .....</b>	<b>15</b>
3.1.1. Capital humano y progreso técnico.....	18
3.1.2. Estado estacionario.....	22
<b>3.2. Convergencia.....</b>	<b>23</b>
3.2.1. Velocidad de convergencia .....	25
<b>4. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1. Convergencia incondicionada.....</b>	<b>27</b>
<b>4.2. Análisis de regresión de renta per cápita .....</b>	<b>28</b>
4.2.1. Variable nueva de capital humano.....	33
4.2.2. Comparación entre análisis de regresión con y sin Chipre y Malta .....	37
<b>4.3. Análisis de convergencia condicionada.....</b>	<b>40</b>
4.3.1. Variable capital humano .....	44
4.3.2. Comparación antes y después de la crisis.....	46
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>50</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>53</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>56</b>
<b>7.1. Ecuación de acumulación de capital.....</b>	<b>56</b>
<b>7.2. Ecuación Estado Estacionario .....</b>	<b>56</b>
7.2. Ecuación modelo básico.....	56
7.2.2. Estado estacionario con capital humano.....	57
7.2.3. Estado estacionario con progreso tecnológico .....	58
<b>7.3. Desarrollo ecuación convergencia condicionada .....</b>	<b>58</b>
7.3.1. Ecuación de convergencia condicionada del modelo simple.....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Análisis de regresión de renta per cápita de 18 países de la UEM.....	32
Tabla 2: Análisis comparativo de regresión de renta per cápita de 16 países de la UEM con dos variables de capital humano.....	36
Tabla 3: Análisis comparativo de regresión de renta per cápita con y sin Chipre y Malta .....	39
Tabla 4: Análisis de regresión de convergencia condicionada de 16 países de la UEM entre 1998 y 2017.....	43
Tabla 5: Análisis de regresión convergencia condicionada sin tener en cuenta la renta inicial para 16 países de la UEM. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 6: Análisis comparativo de regresión de convergencia condicionada entre dos variables de capital humano .....	45
Tabla 7: Análisis de regresión de convergencia de los países de la UEM en el periodo de 1998 a 2007.....	48
Tabla 8: Análisis de regresión de convergencia de los países de la UEM en el periodo de 1998 a 2017.....	49

# 1. OBJETIVO DEL ESTUDIO

La convergencia económica entre los países ha sido un tema de interés para la investigación. La literatura sobre convergencia real en los países de la Unión Europea (UE) está en auge, sin embargo, no se ha centrado en particular en las economías de la Unión Económica y Monetaria de la Unión Europea (conjunto de países pertenecientes a la UE que comparten un mercado común y una moneda única), aunque la convergencia real es importante para una unión monetaria ya que facilita la labor de las políticas monetarias centradas en el agregado.

Por otro lado, las diferentes teorías del crecimiento endógeno, las cuales modifican aspectos básicos del modelo de crecimiento neoclásico de Solow, ponen de relieve el papel esencial que desempeñan tanto el progreso tecnológico como el capital humano para explicar la tasa de crecimiento económico de los países y el proceso de convergencia entre las economías.

Debido a la importancia dada al crecimiento y al interés de ser una potencia competidora, la Unión Europea ha impulsado de manera creciente la I+D y la innovación a través de su programa de financiación de proyectos, denominado Horizonte 2020. Se trata del programa con más presupuesto de toda la UE, por tanto, pone de relieve como la innovación es un tema esencial para Europa.

Por tanto, el propósito clave de este estudio es responder a preguntas tales como: ¿es determinante el esfuerzo tecnológico por parte de las naciones a la hora de explicar la convergencia en renta per cápita o no de los países que forman parte de la Unión Monetaria de la Unión Europea (UEM) desde su creación?, ¿cuáles son los factores que condicionan la convergencia real entre los países de la unión monetaria?, ¿son el esfuerzo tecnológico y el

sistema de innovación factores determinantes a la hora de explicar el crecimiento y la convergencia en los países de la eurozona y qué indicadores son los más significativos?

## **2. REVISIÓN DE LA LITERATURA**

A finales de los años 50 y 60, los economistas empiezan a interesarse por el crecimiento económico. Los primeros estudios dieron como resultado que el crecimiento de la producción de la economía medido por los insumos en capital y mano de obra solo representaba alrededor del 15% del crecimiento, es decir, había un residuo inexplicable del 85% (Abramovitz 1956, Solow 1956) y que vendría explicado por el cambio tecnológico. Ha habido diferentes estudios que han estudiado el llamado residuo de Solow, para poder explicar los cambios en el crecimiento económico del producto que no están explicados por el trabajo y el capital (R. J. Barro 1991, Mankiw, Romer and Weil 1992).

A mediados de los años ochenta, la llamada teoría del crecimiento endógeno revolucionó la literatura sobre el crecimiento económico. En esta línea de estudio se destaca la importancia de conocer las diferentes fuerzas que sustentan el crecimiento, es decir, estas investigaciones introducen algún tipo de capital cuya acumulación supera los rendimientos decrecientes de la acumulación de capital físico. Por tanto, estos estudios pretenden modificar y mejorar la teoría neoclásica, incorporando el capital humano (Lucas 1988, Rebelo 1991), acumulación de conocimientos mediante la práctica (Romer 1986) o la investigación y el desarrollo (Romer 1990, Grossman and Helpman 1991, Aghion and Howitt 1992). Luego, de forma más concreta, se han hecho estudios empíricos para demostrar la importancia de las actividades de I+D para

explicar las diferencias que surgen entre las economías en la renta per cápita (Griliches 1980, Coe and Helpman 1995, Coe, Helpman and Hoffmaister 2009).

Asimismo, en la literatura financiera se pueden encontrar diferentes estudios empíricos que señalan la relación entre crecimiento económico, innovación y gastos de I+D (Gurbiel 2002, Ulku 2004, Pessoa 2007). Además, Pece et al. (2015) afirma con sus resultados que hay una conexión positiva entre el crecimiento económico y las innovaciones sosteniendo los modelos de crecimiento endógeno, donde son determinantes el grado de innovación, la asignación de recursos para las actividades de investigación y desarrollo, la calidad del capital humano y las inversiones extranjeras directas. Por otro lado, Griffith et al. (2004) prueban empíricamente el efecto de la I+D como fuente de innovación y de convergencia en un panel de doce economías de la OCDE y concluyeron que los efectos de la I+D y del capital humano eran cuantitativamente importantes y estadísticamente significativos.

A continuación, se va a hacer hincapié con el tema principal de este estudio, la convergencia. El concepto de convergencia beta (tendencia de las economías más pobres a crecer más rápido que las ricas) y sigma (reducción de la dispersión de ingresos entre países ricos y pobres) está vinculada con la teoría neoclásica del crecimiento de Solow (1956), en la que se afirma que el proceso de crecimiento debería llevar a las economías a un estado estacionario de largo plazo en el que la tasa de crecimiento depende exclusivamente de las tasas exógenas de progreso tecnológico y de la tasa de crecimiento de la población.

Por otro lado, las nuevas teorías del crecimiento, comenzando por Romer (1986) y Lucas (1988), muestran cómo los rendimientos crecientes de escala pueden causar que las diferencias en las condiciones iniciales persistan, es decir, señalan la ausencia de convergencia en la práctica.

Frente a esto, en los últimos años ha habido estudios para afirmar la validez de la teoría neoclásica en oposición a los “nuevos” modelos de crecimiento endógeno. Algunas variantes predicen convergencia condicional de la renta per cápita nacional a diferentes estados estacionarios a largo plazo, donde miden el grado de convergencia en diferentes contextos controlando el ahorro y el crecimiento demográfico de los países, como Barro y Sala-i-Martin (1991, 1992) y Mankiw et al. (1992), que añaden el capital humano como otra variable de control al modelo de Solow. Otras permiten la convergencia denominada “club” entre países que presentan un comportamiento homogéneo.

En los estudios empíricos sobre la convergencia macroeconómica en Europa se puede distinguir una gran diversidad de métodos, así como variedad en los períodos de muestreo y en la elección de los países. Asimismo, la literatura no muestra un acuerdo común sobre la situación, es decir, las conclusiones sobre la convergencia real en renta per cápita entre los países europeos son muy heterogéneas.

En primer lugar, se analizan aquellos estudios relacionados con convergencia a nivel regional europeo. Se destaca a Quah (1996), que realiza un estudio de las regiones de la UE donde los resultados muestran que en gran medida la comprensión de la dinámica regional de distribución de ingresos viene determinada por la importancia de los spillovers espaciales y nacionales. Otra investigación realizada con regiones europeas de ocho países, 90 concretamente, estudia la convergencia  $\beta$  y  $\sigma$  de la renta per cápita de éstos en el periodo de 1950 a 1990 (Sala-i-Martin 1996). Se concluye que la renta per cápita converge a una tasa anual de crecimiento del dos por ciento, por lo que las parametrizaciones del modelo neoclásico utilizado por los economistas son infundadas con la evidencia, ya que la velocidad de las predicciones es mucho más alta. Estudios ya más recientes, como el de Canova (2004) que comprueba la heterogeneidad

en la renta per cápita de 144 regiones de Europa Occidental en el periodo (1980-1992) y afirma que hay una tendencia de una distribución en estado estacionario de juntarse entorno a cuatro polos de atracciones caracterizados por diferentes aspectos. Se demuestra la separación en grupos de convergencia a lo largo de la dimensión Norte-Sur, rico-pobre. De manera similar, los resultados obtenidos por Corrado et al. (2005) demuestran que hay un gran número de “clubs” regionales de convergencia, y que por tanto, lleva a la inexistencia de un único proceso de convergencia en toda la UE-15 entre 1975-1999. Confirman la importancia de la proximidad geográfica y las características sociodemográficas en la configuración de “clubs” de convergencia. Ramajo et al. (2008) estiman la velocidad de convergencia para una muestra de 163 regiones de la Unión Europea en el periodo (1981-1996) mediante una perspectiva econométrica espacial. Sus resultados muestran que las regiones de los países con fondos de cohesión de la UE (Irlanda, Grecia, Portugal y España) convergen sin el resto de las regiones de la UE y afirman la existencia de “clubs” separados de convergencia espacial entre las regiones de la UE. Fischer y Stirbock (2006), (2005), Battisti y Vaio (2008), también estudian los “clubs” óptimos regionales de la UE que tienen las mismas características en términos de convergencia del crecimiento en renta per cápita.

Por otro lado, a nivel nacional, Carvalho y Harvey (2005) proponen un nuevo modelo en el que combinan componentes convergentes con una tendencia común y ciclos similares para mostrar los hechos relacionados con las tendencias y la convergencia en los ingresos reales per cápita en 11 países de la zona euro en el periodo de 1950 a 1997. El análisis indica que hay dos posibles “clubs” de convergencia, un grupo de elevada renta (cinco economías principales con Austria y Finlandia) y un grupo de baja renta formado por España, Grecia y Portugal. Asimismo, Irlanda destaca por seguir su propia senda de crecimiento.



Los siguientes estudios se centran en la cuestión sobre si la integración europea tuvo un impacto positivo en el crecimiento a largo plazo en los países miembros, con diferentes resultados y con diferentes aportaciones. Por un lado, Vanhoudt (1999) prueba la autenticidad sobre lo que determina la teoría neoclásica del crecimiento en cuanto a que la integración no tiene un efecto a largo plazo en la tasa de crecimiento. Además, verifica si la adhesión a la UE tiene un impacto positivo en el crecimiento mediante regresiones de datos de panel de 23 países de la OCDE, comparando con aquellos países no incorporados en la Unión Europea. Concluye que la integración no tuvo efectos de crecimiento asociados a la adhesión de la UE. Henrekson et al. (1997) se centra en la CE y en los países de la AELC, obteniendo un resultado opuesto, es decir, ser miembro de CE o AELC puede aumentar las tasas de crecimiento. Afirmando que la integración regional en Europa puede tener efectos significativos sobre el crecimiento y que una mayor integración puede ser una mejora del crecimiento a largo plazo. De nuevo, el estudio realizado por Cuaresma et al. (2008) ponen de manifiesto que hay efectos positivos en el crecimiento de la integración regional europea y determinan la convergencia  $\beta$  del PIB per cápita de los países de la UE-15 en el periodo de 1960 hasta 1998. Los resultados hacen pensar que la difusión de la tecnología podría ser uno de los factores que explica la bonificación de crecimiento asociada con la adhesión a la UE, además de las ayudas a los miembros más pobres por parte de la UE (Fondos Estructurales) o incluso las políticas fiscales.

Por otro lado, parte de la literatura se ha centrado en el proceso de convergencia de los nuevos participantes de Europa. Cuñado y Pérez de Gracia (2006) no encuentran evidencia de convergencia real incondicional para el periodo de 1950 hasta 2003 de algunas economías de Europa Central y Oriental hacía las economías líderes de la UE (Alemania) como de fuera (Estados Unidos) mediante el uso de técnicas de series de tiempo. Sin embargo, cuando analizan

rupturas estructurales, observan que en el periodo (1990-2003) hay convergencia de tres países (Polonia, República Checa y Hungría) hacia la economía alemana y sólo Polonia hacia la economía estadounidense. Luego, Cavenaile y Dubois (2011) también investigan el proceso de  $\beta$ -convergencia de los nuevos países de Europa Central y Oriental y de los 15 países occidentales entre 1990 y 2007 mediante un enfoque de panel. Los resultados muestran que los países de Europa Occidental y los nuevos países de Europa Central y Oriental presentan tasas de convergencia diferentes, por tanto, se afirma la heterogeneidad dentro de la UE y la existencia de diversos grupos de convergencia.

Borsi y Metiu (2015) partieron de la idea que una mayor integración económica entre países puede llevar a un incremento de la convergencia en renta per cápita, investigan la convergencia del ingreso real per cápita entre los antiguos y los nuevos miembros de la UE (27 países) en el periodo de 1970 a 2010. Utilizaron una novedosa metodología de convergencia de panel para estudiar el comportamiento transicional de las economías impulsadas por el progreso tecnológico específico de cada país. Los resultados que obtuvieron fueron que no hay convergencia en renta per cápita global en la UE-27 e identificaron subgrupos que convergen a diferentes equilibrios en estado estacionario, descartando convergencia en los países de la zona euro.

También se han hecho estudios combinando convergencia real y nominal, entre los que se destaca Kocenda (2001) que analiza la convergencia real y nominal en Europa Central y Oriental para algunas variables macroeconómicas (producto industrial real, agregado monetario (M1), precios al productor y consumidor, y tipos de interés nominales y reales). Los resultados muestran evidencia de convergencia en los fundamentos macroeconómicos durante el período 1991-1998. Más tarde, Kutan y Yigit (2004) evalúan la convergencia estocástica real y monetaria para las mismas variables que Kocenda (2001) en economías de transición desde 1993 hasta

2000 y obtienen que los resultados son sensibles a la elección de la metodología econométrica y que la convergencia no es tan grande como lo que dice Kocenda (2001). Además, Kutan y Yigit (2005) ponen a prueba la convergencia real y monetaria con las normas de la UEM para las diez economías recientemente admitidas e indican que éstas han hecho progresos significativos en la convergencia real hacia la UE y que el grado de convergencia nominal es idiosincrático. Luego, Brada et al. (2005) realizan estudios mixtos de convergencia real y nominal de los países de Europa Central y Oriental a la zona euro en el periodo de 1980 a 2000, concluyendo que los beneficios de adhesión a la UEM son escasos. Sin embargo, Kutan y Yigit (2007) hacen un análisis del crecimiento de la productividad y la convergencia real con la adhesión de los nuevos países a la UE entre 1980 a 2004 y obtienen que la integración económica es beneficiosa tanto para los fundadores como para los nuevos miembros a largo plazo.

El estudio realizado por Sonderman (2014) proporciona evidencia empírica sobre si la convergencia de la productividad entre los países del euro ha tenido lugar en el periodo de 1970 a 2007. Concluye que no hay pruebas que demuestren la convergencia a nivel agregado y pocas de convergencia sectorial. Además, busca los factores que influyen en la productividad, donde destaca tres: la carga reguladora, la inversión en investigación y desarrollo y la elevada educación de los empleados.

Para finalizar, Haynes y Haynes (2016) desarrollan un análisis para estudiar si hay clústers de los países europeos que comparten el euro, y si hay convergencia de los patrones de clúster en el periodo (2002-2013) utilizando métodos combinados. Determinan tres momentos clave en la integración del euro donde proporcionan evidencia sobre cuáles son las variables que más influyen en las pertenencias de clúster en cada momento. Además, afirman la convergencia de inflación.

Destacar también, que se encuentran en la literatura numerosos estudios sobre la convergencia nominal de los Estados Miembros de la UE. Esto se debe al Tratado de Maastricht de 1992, que estableció varios criterios para poder formar parte de la UEM, los llamados “criterios de convergencia de Maastricht”. Entre esta literatura en auge se destaca diferentes tipos de estudios en los que se investiga sobre la convergencia de inflación de los países de la UEM (Ayala and Blazsek 2012, Fritsche and Kuzin 2011) (Estrada, Galí and López-Salido 2013, Lopez and Papell 2012, Karanasos, et al. 2016, Byrne and Fiess 2010, Buseti, et al. 2007, Honohan and Lane 2003, Jenkins and Madzharova 2008, Fritsche and Kuzin 2011)

Entonces, dado los pocos estudios sobre convergencia real en los países de la eurozona y las conclusiones diversas sobre estas cuestiones, es evidente la necesidad de indagar más sobre el tema y responder a las preguntas planteadas que realmente son relevantes. Asimismo, en los estudios desarrollados hasta hora sobre la Unión Europea, la presencia de la innovación es muy escasa, y dado que se ha demostrado su importancia para entender las diferencias entre las economías en muchos estudios y la importancia que las políticas de la UE le han dado, es clave examinar si el progreso tecnológico es uno de los determinantes para explicar la convergencia entre los países de la UEM.

### **3. METODOLOGÍA**

El foco central para la realización de este estudio empírico es la muestra de países, caracterizada por ser un conjunto de naciones dentro de la Unión Europea que comparten un sólo mercado y una misma moneda (euro), es decir, aquellos pertenecientes a la Unión Económica y Monetaria (UEM). Dichos países son Alemania, Austria, Bélgica, Chipre, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo,

Malta, Países Bajos y Portugal. Cabe destacar que, durante todo el análisis, Luxemburgo no se va a tener en cuenta debido a su reducido tamaño económico en comparación con los demás países.

El periodo escogido de muestreo para este estudio es desde 1998 (año de inicio de la UEM) hasta 2017 (último año posible con disponibilidad de datos), porque recoge justo los años que está en funcionamiento la unión.

Los datos utilizados para desarrollar el análisis van a ser obtenidos de diferentes bases de datos, ya que no todas ellas disponen de toda la información que se necesita. Se debe señalar que el conjunto de países que se ha elegido viene determinado en gran medida por la homogeneidad a la hora de obtener los datos necesarios, es decir, no para todos los países las cifras que uno quiere se encuentran disponibles, y esto sobretodo ocurre cuando se quiere información de I+D e innovación, esencial para este estudio.

Las bases de datos utilizadas han sido:

- The World Bank
- European Comission Ameco Database
- Eurostat
- Human Development Reports
- Global Innovation Index
- Economy Complexity Index

En primer lugar, se va a realizar un análisis de regresión para conocer la contribución de las distintas variables en la diferencia de renta per cápita de las economías europeas. Después, al comprobar qué variables para el esfuerzo tecnológico han resultado ser más significativas, se va a elaborar un análisis de regresión para obtener la contribución al crecimiento económico de las

diferentes variables independientes que se han escogido, es decir, se realizará un estudio de convergencia condicionada.

Para desarrollar este estudio empírico se va a seguir el modelo de crecimiento neoclásico de Solow aumentado con el capital humano y endogeneizando el progreso tecnológico, donde se ha seguido el modelo de crecimiento endógeno (Romer 1990) para introducir las variables explicativas de la fuente del cambio tecnológico. Después, de la misma forma que hicieron Mankiw et al. (1992), el estudio de la convergencia se hará mediante una regresión en que las variables de control son las sugeridas directamente por el modelo de Solow, más el capital humano y el progreso tecnológico.

Entonces, las variables que van a ser utilizadas en el análisis vienen determinadas, como ya se ha dicho, por el modelo de crecimiento endógeno ampliado con el capital humano (Mankiw, Romer and Weil 1992):

- Tasa de crecimiento de la población
- PIB per cápita (renta per cápita)
- Inversión/PIB
- Años promedio de escolaridad de la población

Para el capital humano, se ha elegido los años de educación o formación específicos de cada persona que pretende mostrar la calidad de la mano de obra, como introduce en su modelo Romer (1990). Además, se va a realizar un análisis un poco más profundo con esta variable utilizando un parámetro más complejo que refleje la eficiencia de la economía: Economic Complexity Index.

Por otro lado, las variables elegidas para estudiar la parte del progreso tecnológico han sido las siguientes:

- Gasto en I+D/PIB
- Número de investigadores en I+D por cada millón de habitantes
- Indicador del Global Innovation Index relacionado con I+D

El gasto en I+D y el número de patentes ya han sido introducidos, como variables para cuantificar la innovación y el esfuerzo de investigación, en otros estudios en los que se relaciona el crecimiento económico y la innovación (Pece, Simona and Salisteanu 2015, Ulku 2004, Bengoa, Román and Pérez 2017, Robledo and Saavedra 2016). Sin embargo, en este estudio se ha considerado relevante estudiar solo el gasto de I+D, descartando el número de patentes porque se trata de una variable que cuantifica más el resultado que no el esfuerzo tecnológico. Asimismo, se ha escogido un indicador más complejo (Global Innovation Index) en el que se valoran distintos aspectos de la innovación, y por esta razón, podría ser significativo en el estudio. Luego, el número de investigadores viene a explicar la parte de la población dedicada a la investigación y que es esencial para aumentar el stock de capital de conocimientos.

### **3.1. Modelo**

Para poder analizar el crecimiento económico de los países de la Eurozona y estudiar su situación de convergencia se va a usar el modelo neoclásico de Solow. Robert Solow hizo una aportación importante en la teoría del crecimiento económico mediante su publicación sobre un ensayo del crecimiento y desarrollo económico (Solow 1956).

Este modelo coge como variables determinantes del nivel de ingreso per cápita de las economías la tasa de ahorro, la tasa de crecimiento de la población y también el progreso tecnológico. Para simplificar, considera que estas variables son exógenas.

Para desarrollar el modelo se parte de dos ecuaciones fundamentales: la función de producción y la ecuación de acumulación de capital. Se coge como función de producción en el tiempo  $t$  la de forma de Cobb-Douglas (con rendimientos constantes):

$$Y(t) = K(t)^\alpha (A(t)L(t))^{1-\alpha} \quad (1)$$

donde  $K$  es el capital y  $L$  es el trabajo que son los insumos que permiten generar el producto ( $Y$ ). La variable  $A$  refleja el grado de eficiencia en el uso del trabajo y el capital y ésta crece debido al progreso técnico y a una mejor asignación de los recursos de producción. Es decir, el parámetro  $A$  denominado también Productividad Total de los Factores, viene determinado por la eficiencia y por la tecnología. Por otro lado,  $\alpha$  tiene un valor comprendido entre 0 y 1, así que hay rendimientos constantes de escala (si se duplican todos los insumos, la producción se duplicará exactamente). Se asume que  $A$  y  $L$  crecen exógenamente a tasa de crecimiento  $g \left(\frac{\dot{A}}{A}\right)$  y  $n \left(\frac{\dot{L}}{L}\right)$ , respectivamente:

$$L(t) = L(0)e^{nt} \quad (2)$$

$$A(t) = A(0)e^{gt} \quad (3)$$

La tasa de crecimiento  $n$  expresa el crecimiento de la población y ésta, a su vez, proporciona la tasa de crecimiento de la fuerza laboral. Entonces, el número de unidades efectivas de trabajo,



$A(t)L(t)$ , crece a una tasa  $n+g$ . Cabe destacar que, al considerar que las variables sean exógenas significa que no se va a indagar ni se va a introducir los determinantes que las explican.

Ahora se presenta la ecuación (1) en términos de cantidades por trabajador efectivo  $y=Y/AL$ , y capital por trabajador,  $k=K/AL$ :

$$y = k^\alpha \quad (4)$$

La otra ecuación utilizada para este modelo es la que describe la acumulación del capital:

$$\dot{K} = sY + \delta K \quad (5)$$

Esta ecuación refleja el cambio en el capital existente ( $\dot{K}$ , variación de capital en un periodo determinado) que es igual a la cantidad de inversión bruta ( $sY$ ) menos la cantidad de depreciación del capital que sucede en el proceso de producción ( $\delta K$ ). El modelo asume que la inversión bruta (proporción de formación bruta de capital sobre el PIB) es la parte constante que los trabajadores ahorran de su ingreso y al ser una economía cerrada, por tanto, el ahorro es igual a la inversión.

Para obtener la ecuación de la evolución de la producción por persona, se realizan ciertos desarrollos matemáticos expuestos en el anexo 7.1. Ecuación de acumulación de capital, donde se llega a las siguientes expresiones:

$$\dot{k} = sy - (n + g + \delta)k \quad (6)$$

$$\dot{k} = sk^\alpha - (n + g + \delta)k \quad (7)$$

donde  $\dot{k}$  es la variación del capital por término de trabajador efectivo,  $s$  la inversión bruta de capital,  $n$  la tasa de población,  $g$  la tasa de crecimiento de  $A$  y  $\delta$  el término de depreciación del capital.

### ***3.1.1. Capital humano y progreso técnico***

A continuación, se va a tratar de indagar cuáles son los determinantes de la variable  $A$ , es decir, hacerla endógena, ya que su evolución permite conocer en gran medida el crecimiento económico. Entonces, un factor fundamental para calcular la parte de la eficiencia de la  $A$  es el capital humano. El capital humano son los conocimientos y las cualificaciones que adquieren los trabajadores por medio de la educación. En este estudio no se va a considerar que el capital humano se acumula de la misma forma que el capital físico (Mankiw, Romer and Weil 1992), sino como el tiempo que las personas dedican a acumular habilidades (Lucas 1988, Jones 2000).

El capital humano ha sido un término que muchos economistas han considerado importante para el proceso de crecimiento económico y que se ha introducido a diferentes modelos para explicar el desarrollo económico. Concretamente, se realizó un estudio en el que se evaluó el modelo básico de Solow y se estudió el efecto de introducir del capital humano al modelo (Mankiw et al, 1992). Los resultados fueron positivos, así que el capital humano también va a ser un factor a tener en cuenta en el estudio.

Entonces, la ecuación de producción en una economía vendrá determinada por la tasa de ahorro, la tasa de crecimiento de la población, el progreso técnico y el capital humano. Hay distintas formulaciones, pero se utilizará la que mantiene los rendimientos constantes de escala y rendimientos crecientes en la función:

$$Y = AK^\alpha h^\beta L^{1-\alpha} \quad (8)$$

donde la variable A ahora solo representa la parte de progreso tecnológico sin la eficiencia, ya que aparece en el término de capital humano ( $h$ ). Ahora, y en términos de cantidades por unidad de trabajo efectivo ( $y=Y/AL$ ;  $k=K/AL$ ), la ecuación (8) queda:

$$y = k^\alpha h^\beta \quad (9)$$

donde  $h$  es el stock de capital,  $h=H/AL$ . Introduciendo esta ecuación en la ecuación de acumulación de capital físico (6), se llega:

$$\dot{k} = s_k(k^\alpha h^\beta) - (n + g + \delta)k \quad (10)$$

donde  $s_k$  es la fracción del ingreso invertido en el capital físico.

Por otro lado, para poder responder a la pregunta de investigación que se ha planteado es de vital importancia incorporar al modelo variables de innovación. De esta manera, se debe utilizar para esto los modelos endógenos que tratan de explicar la tasa de progreso tecnológico (Rebelo 1991, Romer 1990). En este estudio, se utilizará el modelo de Romer, la teoría de stock de conocimiento. El modelo de Paul Romer ofrece bases para endogeneizar la tecnología las cuales resultan simples en una perspectiva aplicada, aunque sus progresos son más teóricos que empíricos. En el modelo, el conocimiento es un factor que entra en el proceso de producción de dos formas diferentes: los nuevos conocimientos permiten la producción de otro nuevo input intermedio disponible para la producción de bienes finales; y al mismo tiempo, la nueva idea incrementará el stock total de conocimiento que elevará la productividad total del capital humano empleado en el sector de la investigación.

Básicamente se pretende hacer depender la  $A$  del modelo de Solow del número de investigadores por trabajador o por habitante. Para ello, en primer lugar, se va a hacer una distinción entre la población trabajadora que crea tecnología y la que no:

$$L = L_y + L_A$$

$$\gamma_A = \frac{L_A}{L}$$

$$L_y = (1 - \gamma_A)L$$

donde  $\gamma_A$  (intensidad investigadora) es la proporción de la población trabajadora que se dedica a la I+D,  $L_y$  la población dedicada a la producción y  $L_A$  la población dedicada a la investigación.

Ahora, se va a mirar el proceso de crecimiento de la productividad, es decir, la creación de nuevas tecnologías. Se hace el supuesto que la tasa de progreso tecnológico ( $\dot{A}$ ) depende del número de trabajadores dedicados a la I+D:

$$\dot{A} = \frac{L_A^\lambda}{\mu} A^\varphi \quad (11)$$

donde  $\mu$  es el “precio” de hacer un nuevo invento, es decir, indica cuánto trabajo es necesario para conseguir una tasa de crecimiento de la productividad específica y  $A^\varphi$  analiza el efecto de agotamiento de las ideas.

Este modelo no puede ser introducido directamente en el modelo de Solow, porque se produce una paradoja, ya que si aumentamos el número de trabajadores en investigación se desarrollarán más ideas aportando un mayor crecimiento, pero a su vez, habrá menos

trabajadores dedicados a la producción que llevará a una tasa de crecimiento menor. Así que, simplemente es un modelo en el que se explica el término A, donde la variable explicativa significativa es el número de trabajadores dedicados a la I+D, conocidos como investigadores.

Sin embargo, es posible llegar a un modelo más complejo en el que la variable clave es el gasto de I+D por habitante o en relación al PIB (variable relevante). Este gasto, es simplemente una variable más del mismo tipo que la tasa de ahorro. De este modo, se va introducir el capital tecnológico en la función de producción, como un determinante más, que resulta de la acumulación de gastos de I+D.

$$Y = A \cdot K^\alpha \cdot K_A^\gamma \cdot h^\beta \cdot L^{1-\alpha-\gamma} \quad (12)$$

$$y = k_A^\gamma \cdot k^\alpha \cdot h^\beta \quad (13)$$

donde  $K_A^\gamma$  es el stock de capital de I+D. Sin embargo, ahora el parámetro A adquiere un significado distinto al que tenía hasta ahora, porque ya se ha endogeneizado el progreso técnico. Con ello, podría ser eliminada pero realmente representa la eficiencia lograda por otras vías distintas a progreso técnico. Con la ecuación de acumulación de capital físico (6) y la (13), se llega a la ecuación de evolución de  $k$  en términos por trabajador efectivo ( $y=Y/AL$ ;  $k=K/AL$ ):

$$\dot{k} = s_k(k^\alpha h^\beta k_A^\gamma) - (n + g + \delta)k \quad (14)$$

donde  $k_A^\gamma$  es el stock de conocimiento en términos por trabajador efectivo y  $s_k$  fracción del ingreso invertido en el capital físico. Además, también hay que tener en cuenta la ecuación de acumulación del capital tecnológico  $\dot{k}_A$  :

$$\dot{k}_A = s_A(k^\alpha h^\beta k_A^\gamma) - (n + g + \delta)k_A \quad (15)$$

donde  $s_A$  es la fracción del ingreso invertido en el conocimiento y  $k_A$  el capital de conocimiento en términos de trabajador efectivo.

### 3.1.2. Estado estacionario

Es importante determinar qué es el estado estacionario, ya que es clave identificar cuál es en cada país para poder realizar el estudio de la convergencia con el modelo de Solow.

El estado estacionario es aquel en que las variables crecen a un ritmo sostenido, a una tasa constante en el largo plazo, es decir, es la situación de equilibrio para las economías. A continuación, se explicará y se desarrollará el estado estacionario para el modelo de Solow con los diferentes modelos que se han comentado con anterioridad.

Entonces, para que se de la situación de estado estacionario es necesario que  $k=0$ , es decir, que la tasa de variación del capital sea nula para que todas las variables crezcan a la misma tasa ( $n$ ,  $s$  y  $\delta$  ya se consideran parámetros constantes, pero esto hace que  $y/k$  sea constante). Las ecuaciones en renta per cápita, tanto para el modelo neoclásico como el ampliado con el capital humano y esfuerzo tecnológico, incorporando este nuevo requisito ( $k=0$ ) y aplicando logaritmos, son:

$$\ln\left(\frac{Y}{L}\right) = \ln A(0) + gt + \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln(s) - \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln(n + g + \delta) \quad (16)$$

$$\ln\left(\frac{Y}{L}\right) = \ln A(0) + gt + \frac{\beta}{1-\alpha} \ln(h) + \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln(s) - \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln(n + g + \delta) \quad (17)$$

$$\ln\left(\frac{Y}{L}\right) = \ln A(0) + gt + \frac{\beta}{1-\alpha-\gamma} \ln(h) + \frac{\alpha}{1-\alpha-\gamma} \ln(s_k) + \frac{\gamma}{1-\alpha-\gamma} \ln(s_A) - \frac{\alpha+\gamma}{1-\alpha-\gamma} \ln(n + g + \delta) \quad (18)$$

El desarrollo matemático de las ecuaciones anteriores se encuentra en el anexo 7.2.  
Ecuación Estado Estacionario.

### 3.2. Convergencia

En la literatura económica hay dos tipos claramente definidos de convergencia: convergencia  $\beta$  y convergencia  $\sigma$ . Primero, la convergencia beta, que se refiere a cuando las naciones más pobres crecen más rápidamente que las ricas, y la segunda, la convergencia sigma, que implica una disminución en el tiempo en la dispersión transversal de la renta per cápita. Ambos conceptos están directamente relacionados con la teoría neoclásica del crecimiento de Solow, donde los factores de producción, particularmente el capital, están sujetos a rendimientos decrecientes. En este estudio se va a estudiar, en primer lugar, la  $\beta$ -convergencia incondicional:

$$\ln Y_t - \ln Y_0 = a - \beta \ln Y_0 \quad (19)$$

siendo  $\beta$  el coeficiente que mide la convergencia,  $\ln Y_0$  el valor de la renta inicial y  $a$  la variable constante.

Según el modelo de Solow, el proceso de crecimiento debería conducir a las economías a un estado estacionario de largo plazo caracterizado por una tasa de crecimiento que depende únicamente de las tasas exógenas de progreso tecnológico y de la tasa de crecimiento de la población activa. Entonces, este modelo predice convergencia solo cuando dos economías tengan el mismo estado estacionario, donde la más atrasada crecerá más rápidamente, tendiendo a converger con la más adelantada.

Sin embargo, no se espera convergencia, porque cada país alcanza su propio estado estacionario. Si se utilizan técnicas estadísticas para controlar aquellos determinantes del estado estacionario (tasa de ahorro, capital humano, tasa de crecimiento de la población, progreso tecnológico) se puede observar que se da convergencia (Mankiw, Romer and Weil 1992). Es decir, las economías muestran convergencia condicionada: todo indica que tienden hacia sus propios estados estacionarios, que vienen determinados por variables como la tasa de ahorro, el crecimiento de la población, el capital humano y el progreso tecnológico.

Desarrollando ciertos procedimientos matemáticos, se puede obtener formalmente la ecuación de convergencia del modelo simple de Solow, que se va a utilizar en el análisis de regresión:

$$\ln y(t) - \ln y(0) = (e^{-\lambda t} - 1) \ln y(0) + (1 - e^{-\lambda t}) \ln y^* \quad (20)$$

Se transforma esta ecuación mediante la igualación  $y=Y/AL$  y substituyendo el valor de  $y^*$ :

$$\begin{aligned} \ln y(t) - \ln y(0) &= \ln \left( \frac{Y(t)}{L(t)} \right) - \ln \left( \frac{Y(0)}{L(0)} \right) + \ln A(t) - \ln A(0) \\ \ln \left( \frac{Y(t)}{L(t)} \right) - \ln \left( \frac{Y(0)}{L(0)} \right) &= [\ln A(0)(1 - e^{-\lambda t}) + gt] - (1 - e^{-\lambda t}) \ln \frac{Y(0)}{L(0)} + (1 - e^{-\lambda t}) \cdot \frac{\alpha}{1 - \alpha} \\ &\quad \cdot \ln \left( \frac{s}{n + g + \delta} \right) \quad (21) \end{aligned}$$

La ecuación de convergencia condicionada teniendo en cuenta el capital humano es la siguiente:



$$\ln\left(\frac{Y(t)}{L(t)}\right) - \ln\left(\frac{Y(0)}{L(0)}\right) = [\ln A(0)(1 - e^{-\lambda t}) + gt] - (1 - e^{-\lambda t}) \cdot \ln \frac{Y(0)}{L(0)} + (1 - e^{-\lambda t}) \cdot \frac{\alpha}{1 - \alpha} \cdot [\ln(s) - \ln(n + g + \delta)] + (1 - e^{-\lambda t}) \frac{\beta}{1 - \alpha} \ln(h) \quad (22)$$

Finalmente, la ecuación de convergencia, teniendo en cuenta también el esfuerzo tecnológico, se presenta así:

$$\ln\left(\frac{Y(t)}{L(t)}\right) - \ln\left(\frac{Y(0)}{L(0)}\right) = [\ln A(0)(1 - e^{-\lambda t}) + gt] - (1 - e^{-\lambda t}) \cdot \ln \frac{Y(0)}{L(0)} - (1 - e^{-\lambda t}) \cdot \frac{\alpha}{1 - \alpha - \gamma} \cdot \ln(n + g + \delta) + (1 - e^{-\lambda t}) \cdot \frac{\alpha}{1 - \alpha - \gamma} \cdot \ln s_k + (1 - e^{-\lambda t}) \cdot \frac{\gamma}{1 - \alpha - \gamma} \cdot \ln s_{kA} \quad (23)$$

El desarrollo para obtener la ecuación de convergencia se encuentra en el anexo 7.3.

Desarrollo ecuación convergencia condicionada.

### 3.2.1. Velocidad de convergencia

La tasa de convergencia ( $\lambda$ ) indica la rapidez con que la economía se está acercando a su estado estacionario. Específicamente, se define como el cambio proporcional en la tasa de crecimiento de la renta (por unidad de eficiencia) de un cambio en la renta.

$$\frac{d\dot{y}/y}{d \ln y} = (1 - \alpha)(n + g + \delta) \approx \lambda \quad (24)$$

Entonces cuanto mayor sea  $(n + g + \delta)$  mayor será la velocidad de convergencia. La ecuación  $\frac{\dot{y}}{y}$  se encuentra en el anexo 7.3. Desarrollo ecuación convergencia condicionada.

Al tener en cuenta el capital humano, hace que la velocidad de convergencia sea todavía menor, ya que viene determinada por la siguiente ecuación:

$$(1 - \alpha - \beta)(n + g + \delta) \approx \lambda \quad (25)$$

Finalmente, la velocidad de convergencia introduciendo el esfuerzo tecnológico es:

$$(1 - \alpha - \beta - \gamma)(n + g + \delta) \approx \lambda \quad (26)$$

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 4.1. Convergencia incondicionada

En primer lugar, se realiza la convergencia  $\beta$  incondicional en renta per cápita de los países de la eurozona entre 1998 y 2017, mediante una regresión donde la variable dependiente es la tasa de crecimiento y la variable independiente la renta per cápita inicial:

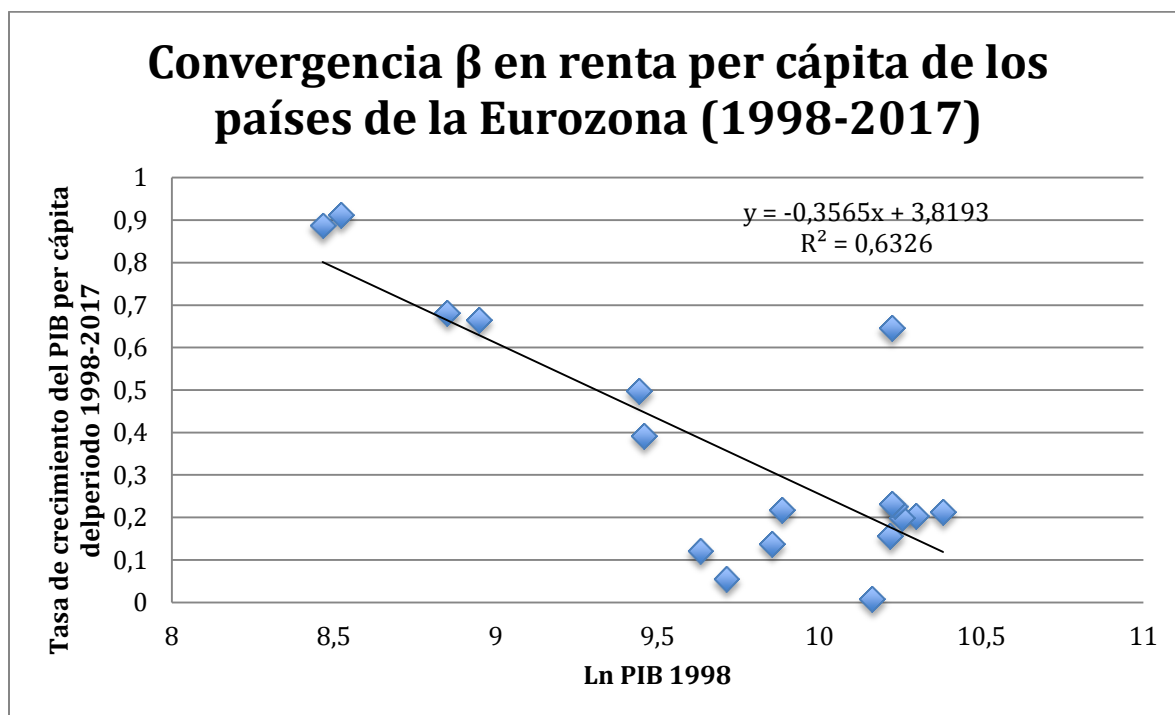


Gráfico 1: Convergencia beta en renta per cápita de los países de la EMU

El Gráfico 1 relaciona la renta per cápita de las diferentes economías en 1998, donde los valores están en logaritmos naturales representados en el eje de las x, con la tasa promedio anual de crecimiento entre 1998 y 2017 en el eje de las y. La recta de regresión entre ambas variables se estima con la línea de tendencia, y es la propia ecuación de convergencia incondicional  $\beta$ . El valor del coeficiente de la x es la  $\beta$ , y es negativo, lo que demuestra que los países con menor

renta en 1998 han crecido más, como promedio. Entonces, se deduce que la correlación entre la renta per cápita inicial y la tasa de crecimiento es negativa, por tanto, se puede afirmar que se ha producido el proceso de convergencia entre los países de la UEM.

El coeficiente  $R^2$ , con un valor de 0.6326, muestra que la renta per cápita tiene un elevado poder explicativo de la tasa de crecimiento. Con el valor  $\beta$  se puede calcular la velocidad de convergencia, la cual resultará ser 2,2%. Mientras que Lituania, Letonia, Eslovaquia y Estonia crecen a ritmos más rápidos y con menor renta per cápita, Francia, Alemania, Holanda y Bélgica tienen un menor crecimiento y mayor renta per cápita.

Aunque la estimación es favorable, si se controla la tasa de inversión, la tasa de crecimiento de la población, el capital humano e incluso el esfuerzo técnico, se espera obtener mejores resultados. Es decir, si se realiza un estudio de convergencia condicionada se espera que los resultados sean más óptimos.

Entonces, para poder realizar el estudio de convergencia condicionada, en primer lugar, como ya se ha indicado, se realizará un estudio para determinar las variables significativas que explican las diferencias en renta per cápita de las economías en su estado estacionario. Una vez comprobadas las variables, sobretodo aquellas relacionadas con el progreso técnico, se procederá a estudiar la convergencia de los países de la UEM teniendo en cuenta estos términos estudiados.

## **4.2. Análisis de regresión de renta per cápita**

Para realizar este estudio se va a seguir, como ya se ha especificado anteriormente, el modelo de Solow ampliado. En este primer análisis, se utilizan las ecuaciones (16), (17) y (18)

expuestas en el apartado 3.1.2. Estado estacionario. La primera suposición que se realiza es que todos los países de la UEM se encuentran en su estado estacionario en el año 2017.

El parámetro  $\ln A(0)$  de la ecuación se considera incluida en la constante de la regresión, valor del corte en la ordenada, y el parámetro  $gt$  se aproxima siguiendo el modelo de las ideas a partir del número de investigadores. Por otro lado, el parámetro  $h$ , que representa el capital humano, viene determinado en este primer estudio por los años promedio de educación de la población, ya que en muchos estudios se utiliza esta medida como aproximación al capital humano.

En la muestra de países de la UE del análisis, se considera el logaritmo natural del PIB per cápita en 2017 como el ingreso per cápita en el estado estacionario y se usa el promedio de tasa de inversión anual, la tasa de crecimiento de la población, los años promedios de escolaridad, el promedio de los gastos de I+D anual, el promedio del número investigadores anuales y el valor promedio anual del Global Innovation Index.

A continuación, utilizando los datos mencionados anteriormente de los parámetros que aparecen en las ecuaciones, se presentan los primeros resultados obtenidos sobre el análisis de regresión. Con esto, se podrán conocer las variables que explican las diferencias en renta per cápita de los países de la UEM.

Ante los resultados de la [Tabla 1](#) se puede observar que tanto la tasa de crecimiento de la población como la tasa de inversión son estadísticamente significativas para explicar por qué las rentas entre países son diferentes. El coeficiente del parámetro  $\ln (s-n)$  es negativo, por tanto, la tasa de población predomina por encima de la tasa de inversión. Esto se debe a que la mayoría de los países de Europa oriental presentan tasas negativas de crecimiento demográfico.

Por otro lado, a primera vista, se podría pensar que los resultados en cuanto al capital humano son erróneos, ya que no son significativos y deberían serlo, pero los niveles de estudio entre las diferentes naciones son bastante similares, por tanto se puede pensar que se trata de un conjunto de países situados en el mismo rango de estado estacionario. Además, esto también puede ser causa de que los países del este tienen una renta per cápita mucho más baja que los países del oeste, siendo Eslovenia el país más rico del este con igual renta per cápita que Grecia, el país menos rico del oeste de Europa. Sin embargo, los países del este tienen un capital humano muy alto, incluso algunos más alto que Portugal, España o igual que Alemania. De esta manera, sería interesante utilizar otro tipo de variable de capital humano para poder comprobar realmente estos resultados.

El valor de  $R^2$  muestra que porcentaje explican las variables en cuanto a la diferencia en la renta per cápita. En las estimaciones [1], [2] y [3] éste es muy bajo, lo que significa que tanto el parámetro  $\ln(s-n)$  como el capital humano explican el 46,63% de las diferencias en la renta per cápita entre los países de la muestra.

En cuanto a los valores relacionados con el esfuerzo tecnológico, se observa que todas las variables escogidas han salido significativas. En la estimación [4], se observa que el parámetro del Global Innovation Index es estadísticamente muy significativo y explica el 63.99% de las diferencias en renta per cápita de los países de UEM. Esto es debido a que este índice recoge muchas de las variables ya contempladas con el modelo expuesto, por tanto era de esperar que fuera una variable tan significativa. El índice de I+D del Global Innovation Index (GII), que tiene en cuenta tanto el gasto de I+D como el número de investigadores entre otros datos, demuestra que la innovación es un parámetro clave. En la estimación [5], se comprueba que la

variable de I+D del GII es más potente significativamente que el capital humano, como ya se esperaba de los resultados anteriores.

En las estimaciones [6] y [7], se comprueba que es estadísticamente más significativo el gasto de I+D que el número de investigadores (ambas variables contempladas en el GII). En la columna [8] se vuelve a demostrar, con la negatividad del coeficiente del número de investigadores y del capital humano, que el gasto de I+D predomina. Aunque debido a la multicolinealidad esta estimación no es válida, es decir, el gasto de I+D absorbe la significación y vacía a las otras dos variables, cambiando así su signo.

Por otro lado, se comprueba que en aquellas regresiones en las que se ha tenido en cuenta variables sobre el esfuerzo tecnológico, el coeficiente  $R^2$  es más elevado.

En la siguiente sección, se realizará el mismo estudio utilizando otra variable explicativa para el capital humano.

VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLE DEPENDIENTE							
	RENTA PER CÁPITA 2017							
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Ln (s)-Ln (n)	<b>-0.2519***</b>		<b>-0.2830***</b>					
	[0.0764]		[0.0783]					
Ln (h)		<b>0.1643</b>	<b>0.9173</b>		<b>0.2430</b>			<b>-0.1185</b>
		[0.8766]	[0.6941]		[0.6864]			[0.9035]
Ln (Gasto I+D)						<b>0.4806***</b>		<b>0.7720*</b>
						[0.1325]		[0.3862]
Ln (Nº investigadores)							<b>0.3628*</b>	<b>-0.5311</b>
							[0.1935]	[0.4487]
Ln (GII)				<b>2.8057***</b>				
				[0.5262]				
Ln (GII I+D)					<b>0.4391***</b>			
					[0.1316]			
R <sup>2</sup>	0.4042	0.0022	0.4663	0.6399	0.4272	0.4511	0.1801	0.2813
Nº Observaciones	18	18	18	18	18	18	18	18

Tabla 1: Análisis de regresión de renta per cápita de 18 países de la UEM

NOTA: En todas las regresiones las variables están en logaritmos. Los errores estándar se muestran entre corchetes []. \*,\*\*,\*\*\* muestran significancia en niveles de 10%, 5% y 1% , respectivamente.

s: inversión en relación al PIB

n: tasa de crecimiento de la población

h: años promedio de escolaridad de la población

Gasto de I+D: gasto en investigación y desarrollo sobre el PIB

GII: Global Innovation Index

GII I+D: indicador del Global Innovation Index que explica la I+D

Nº investigadores: número de investigadores en I+D por cada millón de habitantes



#### **4.2.1. Variable nueva de capital humano**

Dado que el capital humano es un parámetro muy importante para explicar el crecimiento económico y en los resultados anteriores no se ha obtenido valores relevantes, se va a utilizar otra variable, denominada Economic Complexity Index (ECI). Este índice mide el conocimiento en la sociedad que se ve traducida en los productos que hace. Los productos más complejos son productos químicos sofisticados y maquinaria, mientras que los productos menos complejos del mundo son materias primas o productos agrícolas simples. La complejidad económica de un país depende de la complejidad de los productos que exporta. Un país se considera "complejo" si exporta no sólo productos altamente complejos, sino también un gran número de productos diferentes.

ECI clasifica a los países según su nivel de complejidad. Ha sido demostrado que cuando un país produce bienes complejos, además de un gran número de productos, es por lo general más desarrollado económicamente o se puede esperar experimentar un rápido crecimiento económico en un futuro próximo (Hausmann, et al. 2011). En consecuencia, el ECI puede utilizarse como una medida del desarrollo económico y en este trabajo va a ser estudiado como variable representativa del capital humano.

En la [Tabla 2](#) se pueden ver los diferentes valores que se han obtenido realizando la misma regresión entre la nueva variable de capital humano y la estudiada anteriormente, aunque se han descartado Chipre y Malta debido a la inexistencia de datos del ECI de estos países.

En la estimación [1], cuando solo se tiene en cuenta el índice de complejidad económica, se observa que éste explica el 35,69% de la diferencia en renta per cápita de los países y que es un valor bastante significativo (5%). En cambio, en la estimación [6], se muestra que los

años promedio de escolaridad no es una variable significativa y que tan solo explica el 0,01%. En las estimaciones [2] y [7], introduciendo la tasa de población y la tasa de inversión, ni las cifras ni la significancia varían prácticamente con respecto a las estimaciones citadas anteriormente.

Sin embargo, al introducir la variable del Global Innovation Index de I+D, la situación cambia. Los resultados de las estimaciones [3] y [8], demuestran que el GII I+D es estadísticamente muy significativo, y que éste absorbe la significación del índice ECI, y hace disminuir el valor de su coeficiente con respecto a los resultados de las anteriores estimaciones. El valor de  $R^2$  para ambas estimaciones es elevado, 70.75% y 69.63%, respectivamente, debido a la variable GII I+D.

Como se puede ver en las estimaciones [4] y [9], al incluir la variable de gasto de I+D, la significación de las variables de capital humano se ve absorbida por el parámetro de I+D, incluso provoca que cambie el signo de una de ellas y deja de ser válida la estimación. La  $R^2$  en la estimación [4] alcanza un valor de 0.5817, lo que significa que el gasto de I+D y el ECI explican el 58,17% de las diferencias en renta per cápita de los países de la UEM.

Comparando las dos últimas estimaciones, [5] y [10], se observa de nuevo la significación estadística de las variables que representan el esfuerzo técnico, en este caso la variable de número de investigadores. En la estimación [10], este parámetro provoca un cambio de signo en el coeficiente del capital humano, haciendo inválida la estimación. Sin embargo, en la estimación [5], es la variable de capital humano la que absorbe la significancia del coeficiente de número de investigadores.

Finalmente, con los resultados analizados de la *Tabla 2*, se puede concluir que el parámetro Economic Complexity Index es más significativo y más robusto para explicar la

diferencia en renta per cápita de los países de la UEM, que la otra variable del capital humano que viene determinada por los años promedio de escolaridad de cada país.

VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLE DEPENDIENTE									
	RENTA PER CÁPITA 2017									
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]
Ln (s)-Ln (n)		<b>-0.2178**</b>					<b>-0.3075***</b>			
		[0.0767]					[0.0819]			
Ln (h)	<b>0.3567**</b>	<b>0.2401**</b>	<b>0.1222</b>	<b>0.0748</b>	<b>0.2529</b>	<b>0.1141</b>	<b>0.9063</b>	<b>0.4881</b>	<b>-0.1381</b>	<b>-0.0707</b>
	[0.1280]	[0.1124]	[0.1077]	[0.1514]	[0.1443]	[0.9707]	[0.7288]	[0.5596]	[0.6595]	[0.8400]
Ln (Gasto I+D)				<b>0.5716**</b>					<b>0.6498***</b>	
				[0.2161]					[0.1550]	
Ln (Nº investigadores)					<b>0.4327</b>					<b>0.7098**</b>
					[0.3062]					[0.2935]
Ln (GII)										
Ln (GII I+D)			<b>0.6529***</b>					<b>0.7717***</b>		
			[0.1654]					[0.1414]		
R <sup>2</sup>	0.3569	0.6031	0.7075	0.5817	0.4423	0.0001	0.5209	0.6963	0.5753	0.3110
Nº Observaciones	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Tabla 2: Análisis comparativo de regresión de renta per cápita de 16 países de la UEM con dos variables de capital humano

NOTA: En todas las regresiones las variables están en logaritmos. Los errores estándar se muestran entre corchetes []. \*,\*\*,\*\*\* muestran significancia en niveles de 10%, 5% y 1% , respectivamente. En **color negro** se muestran los valores del análisis de regresión para la nueva variable de capital humano (ECI) , y en **color azul** se muestran los valores con la variable de capital humano (años promedio de escolaridad de la población).

s: inversión en relación al PIB

n: tasa de crecimiento de la población

h: capital humano

Gasto de I+D: gasto en investigación y desarrollo sobre el PIB

GII: Global Innovation Index

GII I+D: indicador del Global Innovation Index que explica la I+D

Nº investigadores: número de investigadores en I+D por cada millón de habitantes

#### ***4.2.2. Comparación entre análisis de regresión con y sin Chipre y Malta***

En esta sección se hará una comparación de resultados entre incorporar o no Chipre y Malta a la muestra de países. Se ha planteado este análisis porque se trata de las dos economías más pequeñas de la zona euro. El objetivo en este apartado es, simplemente, estudiar si Malta y Chipre, al ser países más pequeños en cuanto al número de población con respecto a los demás, llevan a obtener resultados más desfavorables en el análisis de regresión de renta per cápita para el conjunto de los países de la UEM.

En la **Tabla 3** se pueden visualizar las diferentes estimaciones que se han realizado con las mismas variables utilizadas en los análisis anteriores. Como se está realizando una comparación con mayor o menor número de países de muestra, simplemente se va a utilizar como variable para el capital humano los años promedio de escolaridad.

De manera general, se observa que el valor de los coeficientes de los distintos parámetros son más elevados cuando se descarta Malta y Chipre. Sin embargo, el error estándar aumenta de manera leve en casi todos los coeficientes de las variables cuando solo tenemos una muestra de 16 países.

Por otro lado, aquellas variables que son significativas en la muestra de 18 países mantienen su grado de significación estadística cuando se reduce la muestra a 16 países. Además, se puede observar un incremento notable del valor de la  $R^2$  en las diferentes estimaciones sin Chipre y Malta.

Se puede destacar aquella estimación donde se analiza el índice de I+D del Global Innovation Index, ya que el coeficiente de este parámetro se ve alterado significativamente cuando la muestra no incluye a Malta y Chipre. Es decir, se convierte en una variable más potente para la explicación de la diferencia de renta per cápita de los países de la muestra. Además, los coeficientes de las variables de gasto de I+ D y número de investigadores también presentan una mejoría notable.

Con el análisis comparativo de muestras de distinto número de países, se puede afirmar una mejoría de los resultados cuando se elimina Chipre y Malta del estudio. Por tanto, en el análisis de regresión de convergencia condicionada de los países de la UEM, realizado en la siguiente sección, no se van a incorporar estos dos países en la muestra.

**VARIABLES  
INDEPENDIENTES**

**VARIABLE DEPENDIENTE**

	RENDA PER CÁPITA 2017									
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]
Ln (s)-Ln (n)	<b>-0.2830***</b> [0.0783]					<b>-0.3075***</b> [0.0819]				
Ln (h)	<b>0.9173</b> [0.6941]		<b>0.2430</b> [0.6864]		<b>0.0209</b> [0.8245]	<b>0.9063</b> [0.7288]		<b>0.4881</b> [0.5596]		<b>-0.0707</b> [0.8400]
Ln (Gasto I+D)				<b>0.4806***</b> [0.1325]					<b>0.6469***</b> [0.1490]	
n (Nº investigadores)					<b>0.3623*</b> [0.2008]					<b>0.7098**</b> [0.2935]
Ln (GII)		<b>2.8057***</b> [0.5262]					<b>2.8534***</b> [0.5560]			
Ln (GII I+D)			<b>0.4391***</b> [0.1316]					<b>0.7717***</b> [0.1415]		
R <sup>2</sup>	0.4663	0.6399	0.4272	0.4511	0.1801	0.5209	0.6529	0.6993	0.5739	0.3110
Nº Observaciones	18	18	18	18	18	16	16	16	16	16

**Tabla 3: Análisis comparativo de regresión de renta per cápita con y sin Chipre y Malta**

NOTA: En todas las regresiones las variables están en logaritmos. Los errores estándar se muestran entre corchetes []. \*,\*\*,\*\*\* muestran significancia en niveles de 10%, 5% y 1% , respectivamente. En **color negro** se muestran los valores del análisis de regresión con 18 países del EMU, y en **color azul** se muestran los valores con 16 países del EMU (sin Malta y Chipre).

s: inversión en relación al PIB

n: tasa de crecimiento de la población

h: años promedio de escolaridad de la población

Gasto de I+D: gasto en investigación y desarrollo sobre el PIB

GII: Global Innovation Index

GII I+D: indicador del Global Innovation Index que explica la I+D

Nº investigadores: número de investigadores en I+D por cada millón de habitantes

### 4.3. Análisis de convergencia condicionada

En esta sección, se realizará el estudio de convergencia condicionada, donde se utilizarán las ecuaciones (21), (22) y (23) que se muestran en el apartado 3.2. Convergencia.

La variable dependiente ahora será la tasa de crecimiento de la renta per cápita durante el período de 1998 hasta 2017. Las variables independientes serán las utilizadas en el análisis de regresión de renta per cápita como los años promedio de escolaridad, gasto de I+D, número de investigadores,... Además, debido a los resultados obtenidos anteriormente, no se tendrá en cuenta ni Malta ni Chipre en toda la sección 4.3.

Se puede comprobar con los resultados de la [Tabla 4](#) que la renta inicial es un parámetro altamente significativo, como ya se predecía en el modelo, y su coeficiente proporciona el valor de convergencia  $\beta$ . El valor del coeficiente de renta per cápita es negativo en todas las estimaciones y el valor de  $R^2$  es 0.64 cuando solo se tiene en cuenta la renta inicial. La velocidad de convergencia anual es de 2,16%.

La observación [2] muestra un valor de beta menos negativo y significativo al introducir la tasa de inversión y la tasa de crecimiento de la población. En la estimación [3], se observa que el valor del coeficiente del capital humano (años promedio de escolaridad) indica que se trata de una variable clave para el crecimiento de los países y que condiciona significativamente la convergencia en la UEM. Con ello se puede pensar que el resultado es contradictorio al obtenido en la regresión de renta per cápita, pero ahora se está analizando el crecimiento y no el nivel de renta. Entre los países ricos y pobres de la UEM no se aprecian prácticamente diferencias de acumulación de capital humano, lo que causa que no sea una variable muy explicativa de la



diferencia en renta per cápita. Los países del Este (Estonia, Lituania, Eslovenia,...) tienen unas tasas de crecimiento muy elevadas y el promedio de escolaridad de su población es alto, de ahí que el valor del coeficiente salga tan significativo.

Por otro lado, los coeficientes de las variables de esfuerzo tecnológico que aparecen en las estimaciones [4], [5] y [7], no son significativos, pero tienen signo positivo, lo que demuestra que están positivamente correlacionados con la tasa de crecimiento.

Con los datos se percibe que aquellos países con mayor renta per cápita tienen más inversión en I+D, realizan más esfuerzo tecnológico, mientras que los países más pobres (países del este) crecen más rápidamente en su  $A$  (también denominada Productividad Total de los Factores) y directamente en su PIB per cápita pero sin hacer un esfuerzo adicional en I+D. Entonces, la distancia existente entre éstos y los países tecnológicamente más avanzados, viene recogida por la renta inicial y por su inversión en capital humano. La elevada educación les permite crecer en su  $A$ , ya que adquieren la capacidad para imitar a los países que realmente producen tecnología gracias a sus inversiones en esfuerzo tecnológico.

En la estimación [6], el coeficiente  $\beta$  alcanza el valor más negativo, demostrando que el GII es una variable muy completa que provoca el proceso de convergencia en los países de la Unión Monetaria Europea. Además, el coeficiente de este parámetro resulta tener un efecto estadísticamente significativo y positivo sobre la tasa de variación del PIB per cápita indicando que se trata de una variable fundamental y que condiciona la convergencia.

Las estimaciones [8], [9] y [10], que incorporan variables de I+D y capital humano, muestran valores mucho menos negativos en el coeficiente de renta per cápita. Los valores del

capital humano siguen siendo significativos, lo que demuestra que este parámetro es clave para el proceso de convergencia en la UEM.

En la próxima sección, se realizará de nuevo la comparación entre los resultados del parámetro de complejidad económica y la variable de años promedio de escolaridad, dado que los resultados obtenidos de esta variable de capital humano han resultado ser fundamentales para entender el proceso de convergencia de los países de la UEM y, sin embargo, no tan importante para la explicación de la diferencia en renta per cápita.

VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLE DEPENDIENTE									
	TASA DE CRECIMIENTO ECONÓMICO									
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]
Ln (PIB 1998)	<b>-0.3512***</b>	<b>-0.2455**</b>	<b>-0.3084***</b>	<b>-0.4295***</b>	<b>-0.3962***</b>	<b>-0.5118***</b>	<b>-0.4171**</b>	<b>-0.3035***</b>	<b>-0.3320***</b>	<b>-0.3287**</b>
	[0.0707]	[0.1186]	[0.0558]	[0.1064]	[0.0807]	[0.0719]	[0.1416]	[0.0953]	[0.0675]	[0.1136]
Ln (s)-Ln (n)		<b>-0.0764</b>								
		[0.0691]								
Ln (h)			<b>0.9507***</b>					<b>0.9596**</b>	<b>0.9019**</b>	<b>0.9408***</b>
			[0.2893]					[0.3301]	[0.3053]	[0.3043]
Ln (Gasto I+D)				<b>0.1277</b>				<b>-0.0075</b>		
				[0.1297]				[0.1134]		
Ln (Nº investigadores)					<b>0.1643</b>				<b>0.0779</b>	
					[0.1463]				[0.1195]	
Ln (GII)						<b>1.2169***</b>				
						[0.3626]				
Ln (GII I+D)							<b>0.1006</b>			<b>0.0303</b>
							[0.1855]			[0.1459]
R <sup>2</sup>	0.6378	0.6689	0.8021	0.6630	0.6699	0.8059	0.6458	0.8022	0.7089	0.8028
Nº Observaciones	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Tabla 4: Análisis de regresión de convergencia condicionada de 16 países de la UEM entre 1998 y 2017

NOTA: En todas las regresiones las variables están en logaritmos. Los errores estándar se muestran entre corchetes []. \*, \*\*, \*\*\* muestran significancia en niveles de 10%, 5% y 1% , respectivamente.

s: inversión en relación al PIB

n: tasa de crecimiento de la población

h: años promedio de escolaridad de la población

Gasto de I+D: gasto en investigación y desarrollo sobre el PIB

GII: Global Innovation Index

GII I+D: indicador del Global Innovation Index que explica la I+D

Nº investigadores: número de investigadores de I+D por cada millón de habitantes

#### **4.3.1. Variable capital humano**

A continuación se desarrolla una comparación con las dos variables explicativas del capital humano, de la misma forma que se ha realizado en el estudio de regresión de renta per cápita.

En la [Tabla 5](#) se presentan los resultados de las diferentes estimaciones de las dos variables de capital humano. Si se comparan las estimaciones [1] y [5] se ve una intervención muy distinta en el proceso de convergencia de los países de la UEM. Mientras que la variable de años promedio de escolaridad disminuye el valor del coeficiente de renta per cápita, el coeficiente del ECI aumenta el valor del coeficiente  $\beta$ . Ambas variables tiene coeficientes positivos y significativos, lo cual lleva a deducir que ambas influyen en el crecimiento económico de los países.

Al analizar las estimaciones [2] y [6], se observa la misma pauta. Incluyendo el  $\ln(s-n)$ , el valor de beta no aumenta, pero si el valor de  $R^2$ . En la estimación [3] se incorpora el índice de I+D del GII, que hace aumentar también el valor del coeficiente de renta per cápita y es un coeficiente significativo en el crecimiento. En cambio, la observación [7] no puede ser considerada buena porque el coeficiente del índice de I+D del GII se convierte en negativo, la renta inicial y el capital humano absorben la significación. De igual forma, se pueden descartar las estimaciones [4] y [8].

Estos resultados demuestran que el proceso de convergencia también viene condicionado por el ECI pero no de la misma manera que los años promedio de escolaridad. Mientras que en el estudio de renta per cápita, el ECI es un parámetro significativo para explicar la diferencia entre los países de la UEM, los años promedio de escolaridad es el condicionante principal para el proceso de convergencia entre estos países.

VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLE DEPENDIENTE							
	TASA DE CRECIMIENTO ECONÓMICO							
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Ln PIB 1998	<b>-0.3084***</b> [0.0558]	<b>-0.2455**</b> [0.0927]	<b>-0.3287**</b> [0.1136]	<b>-0.3035***</b> [0.0953]	<b>-0.4208***</b> [0.0716]	<b>-0.3168**</b> [0.1105]	<b>-0.4104***</b> [0.1287]	<b>-0.4060***</b> [0.0999]
Ln (s)-Ln (n)		<b>0.0469</b> [0.0548]				<b>0.0748</b> [0.0613]		
Ln (h)	<b>0.9507***</b> [0.2893]	<b>0.9059**</b> [0.2970]	<b>0.9408***</b> [0.3043]	<b>0.9596**</b> [0.3301]	<b>0.1281*</b> [0.0607]	<b>0.1272*</b> [0.0599]	<b>0.1304*</b> [0.0675]	<b>0.1389</b> [0.0799]
Ln (Gasto I+D)				<b>-0.0075</b> [0.1134]				<b>-0.0337</b> [0.1524]
Ln (Nº investigadores)								
Ln (GII)								
Ln (GII I+D)			<b>0.0303</b> [0.1459]				<b>-0.0179</b> [0.1795]	
R <sup>2</sup>	0.8021	0.8135	0.8028	0.8022	0.7295	0.7593	0.7297	0.7306
Nº Observaciones	16	16	16	16	16	16	16	16

Tabla 5: Análisis comparativo de regresión de convergencia condicionada entre dos variables de capital humano

NOTA: En todas las regresiones las variables están en logaritmos. Los errores estándar se muestran entre corchetes []. \*, \*\*, \*\*\* muestran significancia en niveles de 10%, 5% y 1% , respectivamente. En **color negro** se muestran los valores del análisis de regresión con la anterior variable de capital humano (años promedio de escolaridad de la población) , y en **color azul** se muestran los valores para la nueva variable de capital humano (ECI).

s: inversión en relación al PIB

n: tasa de crecimiento de la población

h: capital humano

Gasto de I+D: gasto en investigación y desarrollo sobre el PIB

GII: Global Innovation Index

GII I+D: indicador del Global Innovation Index que explica la I+D

Nº investigadores: número de investigadores en I+D por cada millón de habitantes

### **4.3.2. Comparación antes y después de la crisis**

El periodo escogido para este estudio (1998-2017) se puede dividir en dos partes a nivel económico. En 2008 se inició una crisis económica, que duró hasta 2014, aunque hay muchos países que todavía a día de hoy no han conseguido recuperar los valores previos a la crisis. De esta manera, en esta sección se desarrollará un estudio de convergencia de los países de la UEM donde se evaluará el efecto de la crisis en la evolución de la convergencia de éstos. Para ello, se comparará los valores del periodo de 1998 - 2007 con los valores de todo el periodo completo (1998-2017).

En este análisis se utilizan las mismas variables que en los anteriores estudios de regresión, excepto que no se incluye el Global Innovation Index. Esto se debe a que solo se dispone de datos a partir de 2013, y al haber fragmentado el periodo de estudio, no sería coherente usar un valor medio para el primer periodo (1998-2007).

Si se hace una comparación entre la [Tabla 6](#) y la [Tabla 7](#) se puede llegar a ciertas conclusiones sobre el impacto de la crisis en la convergencia de los países de la UEM. Con un análisis general de los resultados, a simple vista se percibe que las cifras del coeficiente beta en las distintas estimaciones son más elevadas cuando se analiza todo el periodo, ya que la crisis ha afectado, en gran medida, aquellos países más desarrollados. Además, el valor de  $R^2$  es también superior en las observaciones del periodo 1998-2017.

En las estimación [2] de ambas tablas, los valores del coeficiente beta no son muy dispares y tienen la misma significancia. El parámetro de capital humano es muy significativo en ambos análisis, así como muy explicativo del proceso de convergencia.

En las estimaciones [4] y [5], el coeficiente de la renta per cápita aumenta en ambos casos, aunque más cuando se introduce el gasto de I+D que el número de investigadores. En

las dos tablas, ambas observaciones proporcionan valores positivos para los parámetros de esfuerzo tecnológico.

En conclusión, con este análisis se ha podido verificar que realmente la crisis no ha roto correlaciones y que existe convergencia entre países de la UEM. Además, las variables que determinan ésta no cambian su significación teniendo en cuenta el periodo de crisis.

VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLE DEPENDIENTE				
	TASA DE CRECIMIENTO ECONÓMICO				
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Ln (PIB 1998)	<b>-0.2755***</b> [0.0401]	<b>-0.2127**</b> [0.0735]	<b>-0.2460***</b> [0.0306]	<b>-0.3235***</b> [0.0656]	<b>-0.3059***</b> [0.0433]
Ln (s)-Ln (n)		<b>0.0488</b> [0.0479]			
Ln (h)			<b>0.5228***</b> [0.1459]		
Ln (Gasto I+D)				<b>0.0687</b> [0.0742]	
Ln (Nº investigadores)					<b>0.1084</b> [0.0717]
R <sup>2</sup>	0.7711	0.7880	0.8848	0.7852	0.8053
Nº Observaciones	16	16	16	16	16

Tabla 6: Análisis de regresión de convergencia de los países de la UEM en el periodo de 1998 a 2007

NOTA: En todas las regresiones las variables están en logaritmos. Los errores estándar se muestran entre corchetes []. \*,\*\*,\*\*\* muestran significancia en niveles de 10%, 5% y 1% , respectivamente.

PIB 1998: PIB del primer año del periodo

s: inversión en relación al PIB

n: tasa de crecimiento de la población

h: años promedio de escolaridad de la población

Gasto de I+D: gasto en investigación y desarrollo sobre el PIB

Nº investigadores: número de investigadores en I+D por cada millón de habitantes



VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLE DEPENDIENTE				
	TASA DE CRECIMIENTO ECONÓMICO				
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Ln (PIB 1998)	<b>-0.3512***</b> [0.0707]	<b>-0.2455**</b> [0.1186]	<b>-0.3084***</b> [0.0558]	<b>-0.4295***</b> [0.1064]	<b>-0.3962***</b> [0.0807]
Ln (s)-Ln (n)		<b>0.0764</b> [0.0691]			
Ln (h)			<b>0.9507***</b> [0.2893]		
Ln (Gasto I+D)				<b>0.1277</b> [0.1297]	
n (Nº investigadores)					<b>0.1643</b> [0.1463]
R <sup>2</sup>	0.6378	0.6689	0.8021	0.6630	0.6699
Nº Observaciones	16	16	16	16	16

Tabla 7: Análisis de regresión de convergencia de los países de la UEM en el periodo de 1998 a 2017

NOTA: En todas las regresiones las variables están en logaritmos. Los errores estándar se muestran entre corchetes []. \*,\*\*,\*\*\* muestran significancia en niveles de 10%, 5% y 1% , respectivamente.

PIB 1998: PIB del primer año del periodo

s: inversión en relación a1 PIB

n: tasa de crecimiento de la población

h: años promedio de escolaridad de la población

Gasto de I+D: gasto en investigación y desarrollo sobre el PIB

Nº investigadores: número de investigadores en I+D por cada millón de habitantes

## 5. CONCLUSIONES

Este estudio pretende contrastar empíricamente si el esfuerzo técnico ha contribuido en el proceso de convergencia en los países de la Unión Económica y Monetaria de la Unión Europea desde sus inicios. En consecuencia, se ha utilizado el modelo neoclásico de Solow. Dado que el foco principal de este estudio es el esfuerzo tecnológico se ha ampliado el modelo, incorporando una variable representativa del stock de conocimiento, como el gasto en I+D. Además, para endogenizar aún más la PTF (Productividad Total de los Factores), se ha planteado el modelo de las ideas de Romer, permitiendo introducir en el análisis otras variables de innovación como el número de investigadores o el Global Innovation Index.

En primer lugar, con el primer estudio de convergencia incondicional, ya se ha detectado convergencia entre los países de la UEM, es decir, los países más pobres han crecido por encima del promedio, y los países ricos han crecido por debajo de la media.

En segundo lugar, con el estudio de regresión de renta per cápita de 2017 se ha podido determinar el poder explicativo de las variables de esfuerzo técnico, comprobando que son estadísticamente significativas. A excepción del parámetro del número de investigadores, todas las otras son muy significativas y ayudan a explicar la diferencia entre las economías de la UEM.

También se ha hecho un estudio un poco más exhaustivo de la variable adecuada para representar al capital humano. Comparando los años de escolaridad con el índice de complejidad económica, se ha comprobado que éste último es mucho más significativo en el estudio de renta per cápita. Los años promedio de escolaridad tienen una cifra muy elevada para aquellos países que tienen menor renta per cápita y se encuentren en el mismo estado

estacionario que los países más ricos. De ahí que, no se haya obtenido significación por parte de esta variable.

En tercer lugar, se ha llevado a cabo el estudio de convergencia condicional con tan solo 16 países de la UEM, eliminando Malta y Chipre, por los resultados obtenidos en la regresión comparativa en renta per cápita. Se han obtenido resultados un poco contradictorios con los de la regresión de renta per cápita de 2017. Mientras que los años promedio de escolaridad resultan ser estadísticamente significativos, los coeficientes de las variables de esfuerzo tecnológico son poco significativos, aunque positivos. Esto se explica claramente cuando se analiza la relación directa entre la renta per cápita y el valor de las distintas variables.

Los países con menor renta per cápita (este de Europa) crecen más pero realizan poca inversión en I+D (como cabe esperar de su atraso, que favorece una estrategia de imitación tecnológica y no de innovación) y tienen un elevado número de años de escolaridad de la población. Por el contrario, los países con mayor renta (Europa occidental) poseen un alto capital humano y realizan una mayor inversión en I+D. Entonces se puede afirmar que el capital humano tiene un papel clave en el proceso de convergencia de la UEM porque permite a los países más pobres adquirir capacidad de imitación que les lleva a crecer en su PTF.

Ante los resultados obtenidos, se esperaba que la variable de I+D fuera más significativa en el proceso de convergencia. Ésta ha sido introducida para explicar la PTF, sin embargo, se ha comprobado que los países más pobres crecen en su PTF sin hacer esfuerzos de I+D. La PTF recoge muchos otros aspectos además del progreso tecnológico (derivado del esfuerzo tecnológico) como la eficiencia que han conseguido los países al abrirse al exterior. En este estudio, se hubiera podido incluir una  $A_0$  distinta para cada país, pero probablemente esté estrechamente relacionada con la renta per cápita de 1998. Por otro

lado, el cálculo limitado por el periodo 1998-2017, sin poder introducir un panel con años intermedios, restringe la potencialidad del análisis empírico.

Finalmente, con el análisis comparativo de convergencia condicional entre el periodo 1998-2007 y el periodo 1998-2017, se muestra el efecto de la crisis en el proceso de convergencia de los países de la eurozona. Las diferentes estimaciones demuestran como la crisis ha causado que no se haya producido un avance y buen funcionamiento en la integración monetaria europea y que todavía haya mucha más diferencia entre los países del oeste con los del este.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Abramovitz, Moses. "Resource and Output Trends in the United States Since 1870 ." *The American Economic Review* 46, no. 2 (Mayo 1956): 5-23.
- Aghion, Philip, and Peter Howitt. "A model of growth through creative destruction." *Econometrica* 60, no. 2 (Marzo 1992): 323-351.
- Ayala, Astrid, and Szabolcs Blazsek. "How has the financial crisis affected the fiscal convergence of Central and Eastern Europe to the Eurozone? ." *Applied Economics Letters* 19 (2012): 471-476.
- Barro, Rober J. "Economic Growth in a cross section of countries." *The Quarterly Journal of Economics* 106, no. 2 (Mayo 1991): 407-443.
- Barro, Robert J., and Xavier Sala-i-Martin. "Convergence." *Journal of Political Economy* 100, no. 2 (1992): 223-251.
- Barro, Robert J., and Xavier Sala-i-Martin. *Convergence across States and Regions*. Brookings Papers on Economic Activity , 1991, 107-182.
- Battisti, Michele, and Di Vaio Gianfranco. "A spatially filtered mixture of beta-convergence regressions for EU regions, 1980-2002." *Empirical economics* 34, no. 1 (2008): 105-121.
- Bengoia, Marta, Valeriano Martínez-San Román, and Patricio Pérez. "Do R & D activities matter for productivity? A regional spatial approach crossmark assessing the role of human and social capital ." *Economic Modelling* 60 (2017): 448-461.
- Borsi, Mihaly Tamas, and Nobert Metiu. "The evolution of economic convergence in the European Union." *Empirical Economics* 48, no. 2 (Marzo 2015): 657-681.
- Brada, Josef C., Ali M. Kutun, and Su Zhou. "Real and monetary convergence between the European Union's core and recent member countries: A rolling cointegration approach ." *Journal of Banking & Finance* 29, no. 1 (Enero 2005): 249-270.
- Buseti, Fabio, Lorenzo Forni, Andrew Harvey, and Fabrizio Venditti. "Inflation Convergence and Divergence within the European Monetary Union." *International Journal of Central Banking* 3, no. 2 (Junio 2007): 95-121.
- Byrne, Joseph P., and Norbert Fiess. "Euro area inflation: aggregation bias and convergence ." *Review World Economics* 146 (2010): 339-357.
- Canova, Fabio. "Testing for convergence clubs in income per capita: a predictive density approach." *International Economic review* 45, no. 1 (Febrero 2004).
- Carvalho., Vasco M., and Andrew C. Harvey. "Convergence in the trends and cycles of euro-zone income." *Journal of Applied Econometrics* 20, no. 2 (Abril 2005): 275-289.
- Cavenaile, Laurent, and David Dubois. "An empirical analysis of income convergence in the European Union ." *Applied Economics Letters* 18, no. 17 (2011): 1705-1708.
- Coe, David T., and Elhanan Helpman. "International R&D Spillovers." *European Economic Review* 39, no. 5 (Mayo 1995): 859-887.
- Coe, David T., Elhanan Helpman, and Alexander W. Hoffmaister. "International R&D spillovers and institutions ." *European Economic Review* 53 (2009): 723-741 .
- Corrado, Luis, Ron Martin, and Melvyn Weeks. "Identifying and interpreting regional convergence clusters across Europe." *The Economic Journal* 115, no. 502 (Marzo 2005): C133-C160.
- Cuaresma, Jesus Crespo, Doris Ritzberger-Grünwald, and Maria Antoinette Silgoner. "Growth, convergence and EU membership ." *Applied Economics* 40, no. 5 (2008): 643-656.
- Cuñado, Juncal, and Fernando Perez de Gracia. "Real convergence in some Central and Eastern European countries ." *Applied Economics* 38, no. 20 (Noviembre 2006): 2433-2441.
- Estrada, Ángel, Jordi Galí, and David López-Salido. "Patterns of Convergence and Divergence in the Euro Area ." *IMF Economic Review* 61, no. 4 (2013): 601-630.

- Fischer, Manfred M., and Claudia Stirböck. "Pan-European regional income growth and club-convergence ." *The Annals of Regional science* 40, no. 4 (Diciembre 2006): 693-721.
- Fritsche, Ulrich, and Vladimir Kuzin. "Analysing convergence in Europe using the non-linear single factor model." *Empirical Economics* 41, no. 2 (2011): 343-369.
- Griffith, Rachel, Stephen Redding, and John Van Reenen. "Mapping the two faces of R&D: productivity growth in a panel of OECD industries." *The Review of Economics and Statistics* 86, no. 4 (Noviembre 2004): 883–895 .
- Griliches, Zvi. "R&D and the productivity slowdown." *The American economic review* 70, no. 2 (Mayo 1980): 343-348.
- Grossman, Gene M., and Elhanan Helpman. "Quality Ladders in the Theory of Growth." *The Review of economic studies* 58, no. 1 (Enero 1991): 43-61.
- Gurbiel, Roman. "Impact of innovation and technology transfer on economic growth: the central and eastern europe experience regions." *arsaw School of Economics* , 2002, 1-18.
- Hausmann, Ricardo, César A. Hidalgo, Sebastián Bustos, and Michele Coscia. *The Atlas of Economic Complexity*. Puritan Press, 2011.
- Haynes, Philip, and Jonathan Haynes. "Convergence and Heterogeneity in Euro Based Economies: Stability and Dynamics ." *Economies* 4, no. 16 (Agosto 2016).
- Henrekson, Magnus, Johan Torstensson, and Rasha Torstensson. "Growths effetes of European intgration." *European Economic Review* 41 (1997): 1537-1557.
- Honohan, Patrick, and Philip R. Lane. "Divergent inflation rates in EMU ." *Economic Policy*, 2003: 357-394.
- Jenkins, Michael A., and Petya Madzharova. "Real interest rate convergence under the euro ." *Applied Economics Letters* 15 (2008): 473-476.
- Jones, Charles Irving. *Introducción al crecimiento económico*. Pearson Education, 2000.
- Karanasos, M., P. Koutroumpis, Y. Karavia, A. Kartsaklas, and V. Arakelian. "Inflation convergence in the EMU ." *Journal of Empirical Finance* 39 (2016): 241-253.
- Kocenda, Evzen. "Macroeconomic convergence in transition countries." *Journal of Comparative Economics* 29, no. 1 (Marzo 2001): 1-23.
- Kutan, Ali M, and Taner M. Yigit. " Real and nominal stochastic convergence: Are the new EU members ready to join the Euro zone?" *Journal of Comparative Economics* 33, no. 2 (Junio 2005): 387-400.
- Kutan, Ali M., and Taner M. Yigit. "European integration, productivity growth and real convergence ." *European Economic Review* 51, no. 6 (Agosto 2007): 1370-1395.
- Kutan, Ali M., and Taner M. Yigit. "Nominal and real stochastic convergence of transition economies ." *Journal of Comparative Economics* 32, no. 1 (Marzo 2004): 23-36.
- Lopez, Claude, and David H. Papell. "Convergence of Euro area inflation rates ." *Journal of International Money and Finance* 31 (2012): 1440-1458.
- Lucas, Robert E. "On the mechanics od economic development." *Journal of Monetary Economics* 22, no. 1 (Julio 1988): 3-42.
- Mankiw, N. Gregory, David Romer, and Davis N. Weil. "A contribution to the empirics of economic growth." *The Quarterly Journal of Economics* 107, no. 2 (May 1992): 407-437.
- Mora, Toni. "Evidencing European regional convergence clubs with optimal grouping criteria ." *Applied Economics Letters* 12, no. 15 (Diciembre 2005): 937-940.
- Pece, Andreea Maria, Olivera Ecaterina Oros Simona, and Florina Salisteanu. "Innovation and economic growth: An empirical analysis for CEE countries." *Procedia Economics and Finance* 26 (2015): 461 – 467.
- Pessoa, Argentino. *Innovation and economic growth: what is the actual importance of R&D?* Universidad de Porto, FEP Working Papers , 2007, 1-17.
- Qua, Danny T. "Empirics for economic growth and convergence." *European economic review* 40, no. 6 (Junio 1996): 1353-1375.

- Ramajo, Julián, Miguel A. Márquez, Geoffrey J.D. Hewings, and María M. Salinas. "Spatial heterogeneity and interregional spillovers in the European Union: Do cohesion policies encourage convergence across regions? ." *European Economic Review* 52, no. 3 (Abril 2008): 551-567.
- Rebelo, Sergio. "Long-Run Policy Analysis and Long-Run Growth ." *The Journal of Political Economy* 99, no. 3 (Junio 1991): 500-521 .
- Robledo, Jacobo Campo, and Juan Pablo Herrera Saavedra. "Patentes y crecimiento económico: ¿innovación de residentes o no residentes? ." *Desarrollo y Sociedad* 76 (2016): 243-272 .
- Romer, Paul M. "Endogenous Technological Change." *The Journal of political economy* 98, no. 5 (October 1990): 71-102.
- Romer, Paul M. "Increasing Returns and Long-Run Growth ." *Journal of Political Economy* (The University of Chicago Press ) 94, no. 5 (October 1986): 1002-1037 .
- Sala-i-Martin, Xavier. *European Economic Review* 40, no. 6 (Junio 1996): 1325-1352.
- Solow, Robert M. "A Contribution to the Theory of Economic Growth." *The Quarterly Journal of Economics* 70, no. 1 (Febrero 1956): 65-94.
- Sonderman, David. "Productivity in the euro area: any evidence of convergence? ." *Empirical Economics* 47 (2014): 990-1027.
- Ulku, Hulya. R&D, Innovation, and Economic Growth: An Empirical Analysis . *International Monetary Fund Working Papers* , 2004, 2-35.
- Vandhout, Patrick. "Did the European Unification Induce Economic Growth? In Search of Scale Effects and Persistent Changes ." *Weltwirtschaftliches Archiv* 135, no. 2 (1999): 195-220.
- Weil, David N. *Crecimiento Económico*. 1ª. Madrid: Pearson Educacion, 2006.

## 7. ANEXOS

### 7.1. Ecuación de acumulación de capital

Se parte de la siguiente igualación:

$$k = \frac{K}{AL}$$

Se aplica logaritmos:

$$\log k = \log \frac{K}{AL}$$

$$\log k = \log K - \log A - \log L$$

Se deriva y se pone en términos de tasa de crecimiento:

$$\frac{\dot{k}}{k} = \frac{\dot{K}}{K} - \frac{\dot{A}}{A} - \frac{\dot{L}}{L}$$

$$\frac{\dot{k}}{k} = \frac{\dot{K}}{K} - g - n$$

Se introduce la ecuación  $\dot{K} = sY + \delta K$ :

$$\frac{\dot{k}}{k} + g + n = \frac{sY}{K} - \delta = \frac{sy}{k} - \delta$$

$$\frac{\dot{k}}{k} = \left(\frac{sy}{k}\right) - \delta - n - g$$

$$\dot{k} = sy - (n + g + \delta)k$$

### 7.2. Ecuación Estado Estacionario

#### 7.2. Ecuación modelo básico

Se parte de la ecuación de acumulación de capital físico:

$$\dot{k} = sy - (n + g + \delta)k$$

Se introduce esta igualación  $\dot{k} = 0$ :



$$sy = (\delta + n + g)k$$

$$\frac{sy}{k} = n + \delta + g$$

$$\frac{sk^\alpha}{k} = n + \delta + g; \quad s \cdot k^{(\alpha-1)} = n + \delta + g$$

$$\frac{s}{n + \delta + g} = k^{1-\alpha}; \quad k^* = \left( \frac{s}{n + \delta + g} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}}$$

$$y^* = \left( \frac{s}{n + \delta + g} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}$$

Se aplica logaritmos:

$$\frac{Y}{L}(t) = A(t) \left( \frac{s}{n + \delta + g} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}$$

$$\ln \left( \frac{Y}{L} \right) = \ln A(0) + gt + \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln(s) - \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln(n + g + \delta)$$

### 7.2.2. Estado estacionario con capital humano

Partiendo de la ecuación de acumulación de capital físico igualada a cero:

$$0 = s_k(k^\alpha h^\beta) - (n + g + \delta)k$$

$$\frac{s}{n + g + \delta} \cdot h^\beta = k^{1-\alpha}$$

$$k^* = \left( \frac{s}{n + g + \delta} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \cdot h^{\left( \frac{\beta}{1-\alpha} \right)}$$

$$y^* = (h)^{\frac{\beta}{1-\alpha}} \cdot \left( \frac{s}{n + g + \delta} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}$$

Aplicando logaritmos:

$$\ln \left( \frac{Y}{L} \right) = \ln A(0) + gt + \frac{\beta}{1-\alpha} \ln(h) + \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln(s) - \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln(n + g + \delta)$$

### 7.2.3. Estado estacionario con progreso tecnológico

Se igualan ambas ecuaciones de capital a cero:

$$0 = (s_k \cdot h^\beta \cdot k_A^\gamma) \cdot k^\alpha - (n + g + \delta)k$$

$$0 = (s_A \cdot h^\beta \cdot k^\alpha) \cdot k_A^\gamma - (n + g + \delta)k_A$$

Se llega a las siguientes ecuaciones:

$$k^* = \left( \frac{s_k^{1-\gamma} \cdot s_A^\beta}{n + g + \delta} \right)^{\frac{1}{1-\alpha-\gamma}} \cdot h^{\frac{\beta}{1-\alpha-\gamma}}$$

$$k_A^* = \left( \frac{s_k^\alpha \cdot s_A^{1-\alpha}}{n + g + \delta} \right)^{\frac{1}{1-\alpha-\gamma}} \cdot h^{\frac{\beta}{1-\alpha-\gamma}}$$

$$y^* = \left( \frac{s_k^{1-\gamma} \cdot s_A^\beta}{n + g + \delta} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha-\gamma}} \cdot \left( \frac{s_k^\alpha \cdot s_A^{1-\alpha}}{n + g + \delta} \right)^{\frac{\gamma}{1-\alpha-\gamma}} \cdot h^{\frac{\beta}{1-\alpha-\gamma}}$$

Aplicamos logaritmos:

$$\ln\left(\frac{Y}{L}\right) = \ln A(0) + gt + \frac{\beta}{1-\alpha-\gamma} \ln(h) + \frac{\alpha}{1-\alpha-\gamma} \ln(s_k) + \frac{\gamma}{1-\alpha-\gamma} \ln(s_A) - \frac{\alpha+\gamma}{1-\alpha-\gamma} \ln(n+g+\delta)$$

## 7.3. Desarrollo ecuación convergencia condicionada

### 7.3.1. Ecuación de convergencia condicionada del modelo simple

Se parte de la función de producción:

$$y = k^\alpha$$

Se deriva:

$$\frac{\dot{y}}{y} = \alpha \frac{\dot{k}}{k} \quad (1)$$

Utilizando la ecuación de evolución del capital,  $\dot{k} = sy - (n + g + \delta)k$ , se llega:

$$\frac{\dot{y}}{y} = \alpha \left( \frac{sy}{k} - (n + g + \delta) \right)$$

y con  $y^{1/\alpha}$ , se llega:

$$\frac{\dot{y}}{y} = \alpha \left[ \frac{sy}{y^{1/\alpha}} - (n + g + \delta) \right] \quad (2)$$

Utilizando logaritmos,  $y = e^{\ln y}$ , se obtiene:

$$\phi \ln y = \frac{\dot{y}}{y} = \alpha \left[ s \cdot e^{-\frac{(1-\alpha)}{\alpha} \ln y} - (n + g + \delta) \right]$$

Ahora, se realiza la aproximación de Taylor:

$$\left. \frac{\dot{y}}{y} \right|_{\ln y = \ln y^*} \approx \phi(\ln y^*) + \phi'(\ln y^*)(\ln y - \ln y^*) \quad (3)$$

Donde los diferentes términos son:

$$\phi \ln y^* = s \cdot y^{*\frac{-(1-\alpha)}{\alpha}} - (n + g + \delta)$$

$$\phi' \ln y^* = -\frac{(1-\alpha)}{\alpha} \alpha \cdot s \cdot e^{-\frac{(1-\alpha)}{\alpha} \ln y^*} = -(1-\alpha) \cdot s \cdot y^{*\frac{-(1-\alpha)}{\alpha}}$$

En el estado estacionario, se da la igualación  $\phi \ln y^* = 0$ .

$$0 = s \cdot y^{*\frac{-(1-\alpha)}{\alpha}} - (n + g + \delta); \quad s \cdot y^{*\frac{-(1-\alpha)}{\alpha}} = (n + g + \delta)$$

Entonces el término  $\phi' \ln y^*$  queda como:

$$\phi' \ln y^* = -(1-\alpha)(n + g + \delta)$$

La sustitución de estos resultados en la ecuación (3) produce:

$$\frac{\dot{y}}{y} = -(1-\alpha) \cdot (n + g + \delta) \cdot (\ln y - \ln y^*) = -\lambda(\ln y - \ln y^*) \quad (4)$$

Siendo  $\lambda$  la velocidad de la convergencia. Ahora, se busca una ecuación de la forma:

$$\ln \left( \frac{Y(t)}{L(t)} \right) - \ln \left( \frac{Y(0)}{L(0)} \right) = \beta_0 + \beta_1 \ln \left( \frac{Y(0)}{L(0)} \right) + \beta_2 \ln(s) + \beta_2 \ln(n + g + \delta) \quad (5)$$

donde se definen las siguientes variable:

$$\ln y = x; \quad \frac{\dot{y}}{y} = \dot{x}; \quad \lambda = (1-\alpha)(n + g + \delta); \quad b = (1-\alpha)(n + g + \delta) \ln y^*$$

Y se obtiene la siguiente ecuación:

$$\dot{x}(t) = -\lambda \cdot x(t) + b$$

Se resuelve fácilmente,

$$x(t) = x(0)e^{-\lambda t} + \frac{b}{\lambda}(1 - e^{-\lambda t})$$

Se introduce las variables definidas anteriormente:

$$\ln y(t) = \ln y(0)e^{-\lambda t} + \ln y^*(1 - e^{-\lambda t})$$

En términos de tasa de crecimiento:

$$\ln y(t) - \ln y(0) = (e^{-\lambda t} - 1)\ln y(0) + (1 - e^{-\lambda t})\ln y^*$$

Usando la expresión del estado estacionario  $y^* = \left(\frac{s}{n+g+\delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}$  y usando la expresión

$$\ln y(t) - \ln y(0) = \ln\left(\frac{Y(t)}{L(t)}\right) - \ln\left(\frac{Y(0)}{L(0)}\right) + \ln A(t) - \ln A(0)$$

Se obtiene la ecuación de convergencia condicionada para el modelo simple de Solow:

$$\ln\left(\frac{Y(t)}{L(t)}\right) - \ln\left(\frac{Y(0)}{L(0)}\right) = [\ln A(0)(1 - e^{-\lambda t}) + gt] - (1 - e^{-\lambda t})\ln\frac{Y(0)}{L(0)} + (1 - e^{-\lambda t}) \cdot \frac{\alpha}{1 - \alpha} \cdot \ln\left(\frac{s}{n + g + \delta}\right)$$