

# UNA APROXIMACIÓN DEL IMPACTO DE LAS TIC SOBRE EL CRECIMIENTO ECONÓMICO MUNDIAL

**Manuel Agüeros**

Universidad de Cantabria; Av. De los Castros, S/N. 39005 Santander (Cantabria)- Spain.  
Tel. +34942201567; Fax: +34942201603 E-mail: [aguerosm@unican.es](mailto:aguerosm@unican.es)

**Pedro Casares-Hontañón**

Universidad de Cantabria; Av. De los Castros, S/N. 39005 Santander (Cantabria)- Spain.  
Tel. +34942201692; Fax: +34942201603 E-mail: [casaresp@unican.es](mailto:casaresp@unican.es)

**Pablo Coto-Millán (Corresponding Author)**

Universidad de Cantabria; Av. De los Castros, S/N. 39005 Santander (Cantabria)- Spain.  
Tel. +34942201653; Fax: +34942201603 E-mail: [cotop@unican.es](mailto:cotop@unican.es)

## **Resumen**

El crecimiento económico y sus determinantes han sido unos aspectos analizados con intensidad por los economistas. Igualmente, la existencia de procesos de convergencia/divergencia entre países o áreas geográficas, también han sido objeto de numerosos trabajos. En este artículo planteamos un modelo de crecimiento económico que considera tres inputs (capital físico, capital TIC y factor trabajo); sus bases teóricas se encuentran en el trabajo de Mankiw, Romer y Weil (1992). Además, realizamos una contrastación empírica empleando fuentes estadísticas del Banco Mundial, y concluimos que el capital TIC influye significativamente sobre el crecimiento económico; también se demuestra la existencia de convergencia absoluta entre países durante el período considerado.

**Palabras clave:** Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones (TIC), crecimiento, convergencia, estado estacionario, rendimientos de escala.

**Clasificación JEL:** H12, H81.

## 1. Introducción

El análisis económico de la distribución mundial de la renta y de la riqueza de los países es un tema que ha generado intensos debates y conjeturas a lo largo de los últimos siglos. Los economistas clásicos (Adam Smith y David Ricardo, entre otros) abordaron la cuestión de crecimiento económico (desigual) de los países con un enfoque macroeconómico. Estos economistas postulaban que el crecimiento económico estaba condicionado por las ventajas en los costes de producción de los países, suponiendo que ello daba lugar a distintos niveles de competitividad internacional; además, legitimaron el capital físico, la tierra y el factor trabajo para explicar las diferencias en los niveles de producción agregada de los países.

Durante el último siglo, han surgido numerosos trabajos que complementan las bases de la teoría clásica; tal ha sido el volumen y la calidad de éstos, que algunos de ellos han dado lugar a una nueva corriente del pensamiento económico, denominada *economía neoclásica*. En este sentido, destacamos que las aportaciones -teóricas y empíricas- que se produjeron hasta 1980, asumían que el progreso técnico se determinaba de forma exógena. Otro punto de partida de estos modelos era la existencia de convergencia, asumiendo que los países alcanzarían una situación de equilibrio estacionario en el largo plazo, suponiendo una situación de equilibrio estacionario, con tasas de crecimiento nulas.

Sin embargo, algunos críticos consideraron que las diferencias en los niveles de renta per cápita y su permanencia en el tiempo venían determinados por procesos de divergencia. De este modo, justificaron esta premisa señalando los rendimientos crecientes de escala de los factores productivos; en este caso, la divergencia entre países en el largo plazo permite determinar de forma endógena de qué forma se implanta el progreso tecnológico en la economía, dando paso a los modelos de crecimiento endógeno. La crítica principal que realizan estos modelos a la existencia de convergencia estriba en que, en presencia de crecimiento exógeno, existen rendimientos decrecientes de los inputs, aduciendo que la acumulación recurrente de inputs dará lugar a un rendimiento marginal nulo, y ello implicaría una trasbase de inputs desde los países con menor rendimiento marginal hacia territorios donde ese rendimiento sea superior y, por tanto, la tendencia a la convergencia global. El paradigma de los modelos de crecimiento exógeno lo encontramos en Solow (1956 y 1957).

Por su parte, el desarrollo de la teoría del crecimiento endógeno está encabezado por Romer (1986 y 1987), Lucas (1988) y Rebelo (1991). En ellos, se considera que los inputs no cumplen las condiciones de Inada (es decir, que su rendimiento marginal no es decreciente y, por tanto, la situación de estado estacionario a nivel mundial sería inalcanzable). Para ello, emplean distintos determinantes del crecimiento económico, como son el progreso tecnológico y el capital humano.

Seguidamente, realizaremos una revisión literaria que distingue tres enfoques para estudiar el crecimiento económico. En la sección 3, hacemos un desarrollo analítico del modelo teórico. Dentro del apartado 4, explicamos el origen y las características básicas de los datos utilizados en la contrastación empírica, cuyos resultados mostramos e interpretamos en la sección 5. Finalmente, extraemos una serie de conclusiones a raíz de los resultados obtenidos (sección 6).

## **2. Revisión Literaria**

En este contexto, con modelos de crecimiento exógeno y endógeno, han surgido numerosas aportaciones (teóricas y empíricas) que abordan el papel que juegan las tecnologías de la información como factor de crecimiento. Estos trabajos tratan, entre otras cosas, de dar respuesta a la conocida paradoja de Solow, quien en 1987, y con respecto al efecto de las nuevas tecnologías sobre la productividad y crecimiento, afirmaba: *“lo que esto significa es que, como todos los demás, estoy un poco avergonzado por el hecho de que todo el mundo siente que ha habido una revolución tecnológica, un cambio drástico en la vida productiva, que se ha visto acompañada en todas partes, incluyendo a Japón, por una desaceleración del crecimiento de la productividad, no por un paso adelante. Se puede ver la era de la informática en todas partes, pero no en las estadísticas de productividad”* (Solow, 1987).

Pues bien, entre los trabajos que relacionan TIC y crecimiento económico podemos distinguir, básicamente, tres enfoques alternativos, siendo el objetivo de estas subsecciones destacar, en cada uno de ellos, los artículos más relevantes y sus principales resultados.

## ***2.1 Enfoque basado en la contabilidad del crecimiento económico***

Dentro de esta metodología, los trabajos más sobresalientes son los siguientes: Oliner y Sichel (1994), quienes consideraron que las tecnologías de la información influían sobre la productividad de las empresas norteamericanas; concluyeron que la incorporación de equipos informáticos apenas contribuía a incrementar su productividad (un 2%). Gordon (2000, 2003 y 2004) también incluyó las nuevas tecnologías en sus análisis de contabilidad del crecimiento económico, y en todos estos estudios señaló que este input no genera crecimiento económico *per se*.

Jorgenson, Ho y Stiroh (2006a) analizaron las etapas del crecimiento de la productividad total de los factores en EEUU; elaboraron una predicción sobre la productividad y sus perspectivas, que se basó en considerar que el notable crecimiento de la TPF observado durante el período 2000-2004 era transitorio, y su ritmo se ralentizaría, aunque a porcentajes algo superiores a los observados en los años anteriores. Jorgenson y Vu (2005) también analizaron los determinantes de la productividad incorporando la información tecnológica como un determinante adicional del crecimiento del PIB. Seguidamente, Jorgenson, Ho y Stiroh (2006b) demostraron empíricamente la relevancia creciente de la información tecnológica dentro de la productividad agregada de la economía de EEUU; para ello, analizaron distintas etapas del siglo XX, y es en la década 1995-2004 cuando el capital tecnológico tiene más influencia sobre la PTF y, a su vez, sobre el PIB. Finalmente, Jorgenson, Ho y Stiroh (2007) efectuaron una descomposición de la productividad total de los factores, similar al modelo planteado con anterioridad (ver Jorgenson, Ho y Stiroh (2006a)), y destacaron la desaceleración de la PTF en la economía de EEUU durante el período 1973-2005.

## ***2.2 Enfoque basado en la estimación de funciones de producción***

Brynjolfsson e Hitt (1996) analizaron el gasto empresarial en sistemas de información, y la aportación de este componente (entre otros) a la productividad de una muestra de empresas norteamericanas, durante el período 1987-1991. Determinaron que existía una productividad marginal positiva y decreciente en los factores productivos considerados.

Posteriormente, Schreyer (2000) estudió la contribución de las TIC al crecimiento económico en los siete países más ricos de la OCDE (G-7) en el año 1996. Su principal resultado fue que las TIC generan un impacto significativo sobre el crecimiento económico, y es Estados Unidos el país que lidera el ranking.

Jorgeson, Stiroh, Gordon y Sichel (2000) consideraron una frontera de posibilidades de producción para abordar el impacto de las nuevas tecnologías sobre el crecimiento económico en EEUU durante el último tercio del siglo XX. Destacaron que las TIC pueden ser inputs y outputs en función de su utilización; además, consideraron que el output desagregaron las principales variables que afectan al output (consumo e inversión), y demostraron la importancia creciente de equipos informáticos, software y comunicaciones sobre el output de EEUU.

Paralelamente, Oliner y Sichel (2000) también emplearon las tecnologías de la información como un input del crecimiento económico; para ello, se inspiraron en Oliner et al. (1994), desarrollaron el factor capital en diversos inputs del crecimiento económico durante el período 1974-1999, y obtuvieron el impacto de cada uno de ellos sobre la producción agregada.

Jorgeson (2001) planteó una frontera de posibilidades de producción para analizar la economía norteamericana del período 1948-1999; en dicho modelo, incorporó una desagregación del capital tecnológico en cuatro variables, y comprobó que todas ellas afectaban con intensidad creciente al valor añadido, segmentando el período en cuatro etapas. Nordhaus (2001) también realizó un análisis desagregado del crecimiento de la productividad norteamericana, concluyendo que el subsector nueva economía contribuía de forma positiva y creciente a la evolución de la productividad.

Por su parte, Pilat y Lee (2001) señalan que las TIC generan un impacto directo sobre variables como el crecimiento económico, la productividad total de los factores o la eficiencia técnica del sector manufacturero. Estas afirmaciones fueron contrastadas empíricamente utilizando datos de los países más avanzados de la OCDE. Bresnahan, Brynjolfsson y Hitt (2002) estudiaron los componentes de la demanda de trabajo en EEUU en las décadas de 1980 y 1990. Entre otros resultados, obtuvieron importantes correlaciones entre la información tecnológica utilizada por las empresas la contratación de trabajadores

con cualificación elevada, pero no observaron un efecto directo sobre el crecimiento económico.

Stiroh (2002, 2004) también demostró empíricamente que el uso de información tecnológica por parte de empresas y trabajadores aumentaba significativamente la productividad laboral y la eficiencia de las empresas. Además, planteó y estimó una función de producción, suponiendo que uno de sus determinantes son las TIC; en sus resultados –referidos a EEUU desde 1987 hasta el año 2000- obtuvo que el factor productivo que más contribuye al crecimiento económico es el trabajo, seguido del factor capital en sentido tradicional y del capital que agrupa la información tecnológica.

Además, Jorgenson y Motohashi (2005) estudiaron la evolución descendente de los precios de los bienes informáticos en EEUU y Japón. Además, elaboraron un modelo de crecimiento económico en cuya función de producción se consideró la información tecnológica como un input adicional, que descompusieron a su vez en distintos inputs. En dicho trabajo, obtuvieron los siguientes resultados: en relación con Japón, la información tecnológica es un input que determina el 13,4% del crecimiento económico durante el período 1990-1995 y el 36,7% en la etapa 1995-2003; respecto de EEUU, estos porcentajes son el 15,2% y el 16,6%.

Por último, Neffati y Besbes (2013) analizaron la correlación entre las TIC y el crecimiento económico en una muestra de países árabes, obteniendo un impacto positivo de las TIC sobre el crecimiento económico durante el período 2000-2009. La semejanza de este trabajo con nuestra investigación estriba en que utilizan los mismos indicadores de las TIC que se emplean en la presente investigación.

### ***2.3 Enfoque basado en la estimación empírica de la solución de equilibrio estacionario de un modelo de crecimiento.***

Dentro de este enfoque, que será el que nosotros vamos a emplear en este estudio, destacan una serie de artículos que amplían el modelo original de Mankiw, Romer y Weil (1992) (en adelante, M-R-W), dentro de los cuales queremos señalar, por su relevancia, los de Nonneman, W. y Vanhoudt, P. (1996), que ampliaron el modelo de M-R-W considerando como inputs el capital físico, el capital humano y los gastos en I+D de los países de la

OCDE; por su parte, Canarella y Pollard (2003) replicaron el trabajo de M-R-W, únicamente para la muestra de países de la OCDE, aunque en su análisis econométrico realizaron diversas variantes de los modelos iniciales. Supriyo y Dutta (2007) también replicaron empíricamente el modelo de M-R-W para las regiones de la India, y destacaron el papel del capital intangible sobre el crecimiento económico. Por su parte, Ram (2007) también contrastó empíricamente la ecuación de equilibrio estacionario propuesta por M-R-W, que amplió considerando el coeficiente intelectual de cada país (IQ) como factor productivo adicional; concluyó que existía una relación intensa entre éste y el crecimiento económico. Posteriormente, Fischer (2009) realizó una extensión teórica del modelo M-R-W hacia un enfoque que incorpora la econometría espacial, y estudió (teórica y empíricamente) los efectos spillover del capital humano, y su consideración como una externalidad.

Ulasan (2011) también contrastó empíricamente las hipótesis planteadas por M-R-W, considerando fundamentales los resultados de convergencia condicional, así como del capital humano de distintos grupos de países; para ello, utilizaron datos de sección cruzada de los años 1960 y 2000 y obtuvieron unas tasas de convergencia condicionada comprendidas entre el 1% y el 2%.

En las líneas que siguen trataremos de probar que transcurridos más de veinte años desde que Solow formulara su paradoja estamos en condiciones de proporcionar una solución teórica y empírica para un panel de datos de determinados países del mundo en el periodo 1990-2011.

### **3. El Modelo**

Se parte de los modelos de Solow (1957) y de Mankiw, Romer y Weil (1992), pero aquí realizaremos una desagregación del factor capital en dos componentes. El primero de ellos se trata del capital físico, tal y como se conoce tradicionalmente en la teoría económica, mientras que el segundo agrupa una parte de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). Por lo tanto, partimos de la ecuación (1) para desarrollar el modelo teórico.

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

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

A largo plazo, Se supone que la evolución del empleo coincide con el crecimiento de la población total, con una tasa constante igual a n.

Los dos componentes del capital (capital  $K_{tic_{it}}$  y  $K_{notic_{it}}$ ) se deprecian a una tasa anual, que –suponemos- serán constantes e iguales a  $\delta$  y  $\psi$ , respectivamente. Por simplicidad, imponemos este supuesto asumiendo que cuando las empresas maximizan su beneficio intercambiarán en la utilización de los factores de producción capital  $K_{tic}$  y capital  $K_{notic}$  hasta que los productos marginales netos de depreciación sean iguales. Esto es, para unos ciertos parámetros  $\lambda$  y  $\eta$  se verifican las igualdades que se incluyen en la expresión (2).

$$\lambda(Y/K_{tic}) = \eta(Y/K_{notic}); \quad K_{notic} = (\eta/\lambda) K_{tic} \quad (2)$$

La ecuación (2) nos informa de que el capital  $K_{tic}$  es una proporción del capital físico. O que capital  $K_{tic}$  y capital  $K_{notic}$  guardan una proporcionalidad.

Además, suponemos que  $\alpha + \beta = 1$ , esto es, que imponemos, al igual que en el modelo neoclásico, que hay rendimientos constantes de escala, esto es homogeneidad de grado uno en los inputs capital y trabajo, y que por tanto, asociado este supuesto al de rendimientos marginales decrecientes del capital queda garantizada la existencia de estado estacionario.

En realidad el suponer el progreso técnico exógeno y un estado estacionario es lo más insatisfactorio del modelo neoclásico desde el punto de vista teórico y empírico. La combinación de rendimientos constantes de escala y de productividad marginal del capital decreciente garantiza la existencia de un estado estacionario. Sin embargo, en los últimos doscientos años (período que podríamos denominar muy largo plazo) la economía mundial

ha crecido siempre. En el modelo neoclásico la inclusión de progreso técnico exógeno explicaría este crecimiento a saltos de un estado estacionario a otro con mayores niveles de acumulación de capital. Sin embargo, supondremos que el progreso técnico surge como el maná, no de asignar recursos para que se genere y esto es tremendamente insatisfactorio. Para resolver este problema en la literatura teórica se han abandonado algunos de los supuestos del modelo neoclásico, como el supuesto de rendimientos constantes, por tanto la función de producción en nuestro modelo ya no es neoclásica: o bien se supone que no hay competencia perfecta, o bien se relaja algún otro supuesto. No obstante, sobre el modelo que aquí se propone cabe decir que, a pesar de no ser una descripción perfecta de la realidad económica, sobre todo nos ayuda a entender la transición de una economía de un país, dentro de un conjunto de países, hacia el estado estacionario, aunque la existencia de esta situación de equilibrio se puede cuestionar con planteamientos teóricos y empíricos.

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

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

$$IBK_{notic_{it}} + IBK_{tic_{it}} = S_{it} = s_{notic_{it}}Y_{it} + s_{tic_{it}}Y_{it} \quad (3)$$

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

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

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

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

Igualmente, formulamos las ecuaciones (4) y (5) en términos *per cápita*, que dan lugar a las ecuaciones (6) y (7).

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

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

La transformación de las ecuaciones (4) y (5) a las ecuaciones (6) y (7) tiene como objetivo expresar (6) y (7) en términos de volumen de trabajo eficiente, lo cual es posible ya que hemos supuesto la existencia de rendimientos constantes de escala. Por tanto  $y_{it} = \frac{Y_{it}}{(A_{it}L_{it})}$ ,

$knotic_{it} = \frac{Knotic_{it}}{(A_{it}L_{it})}$  y  $ktic_{it} = \frac{Ktic_{it}}{(A_{it}L_{it})}$  son magnitudes por trabajador o por habitante si se

supone que el aumento de empleo coincide en el largo plazo con el de la población con una tasa constante igual a  $n$ . Las ecuaciones (6) y (7) las podemos expresar tal y como se planteamos en las ecuaciones (8) y (9).

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

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

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

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

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

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

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

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

Posteriormente, despejamos el capital TIC de la ecuación (12), para obtener una expresión que será sustituida dentro de la ecuación (13), lo que se desarrolla en las ecuaciones (14) a (18).

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

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

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

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

La ecuación (17) expresa el capital físico de estado estacionario del modelo propuesto. Igualmente, obtenemos la expresión analítica del capital TIC, también en su estado estacionario. Dicho resultado se incluye en la ecuación (18).

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

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

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

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

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

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

La ecuación (21) nos muestra que la renta per cápita depende de la tasa de crecimiento del progreso técnico constante ( $g$ ), de la tasa de crecimiento de la población activa ( $n$ ), de la participación del capital físico ( $snotic_{it}$ ) y de la participación del capital tic ( $stic_{it}$ ) en la renta de cada país( $i$ ), en cada periodo ( $t$ ). Esto es, la renta alcanzada por cada país en el último año disponible (la renta de equilibrio en el largo plazo o estado estacionario de cada país) es explicada a partir de las variables explicativas siguientes: el crecimiento de la población activa del periodo; la tasa de inversión en capital físico del período (cuya “proxy” suele ser la formación bruta de capital sobre el PIB); y, otros factores causales resultantes de la descomposición del capital. En este caso, hemos descompuesto el factor capital en capital TIC ( $Ktic$ ) y capital físico (capital en sentido tradicional,  $Knotic$ ), por lo que la variable a incorporar además de la tasa de inversión en el capital físico es la tasa de inversión en capital TIC ( $Ktic$ ).

Por otro lado, para poder estimar la ecuación (21) en términos de convergencia condicionada (convergencia  $\beta$ ), al igual que M-R-W (1992), incorporamos el retardo del PIB per cápita en logaritmos en la regresión, por suponer que la convergencia condicionada será mayor cuanto menor sean los niveles de renta per cápita iniciales de los países, y viceversa. Además, supondremos que el término  $LnA_0$  se descompone en un término constante ( $\phi$ ) y una perturbación o componente aleatorio ( $\varepsilon_{it}$ ); éste recoge todos aquellos factores no considerados dentro del resto de variables. Con estas transformaciones, llegamos a la ecuación (22).

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

Finalmente, añadir que la estimación econométrica de  $(1 - e^{-\lambda t})$  nos informará sobre el grado de convergencia/divergencia existente en el conjunto de los países de la muestra considerada. Teniendo en cuenta que asumimos la existencia de unos stocks de capital

(físico y TIC) que alcanzan el estado estacionario, también tiene sentido analizar –si es que existe– la convergencia condicionada o convergencia beta entre los distintos países. Siguiendo a Barro y Sala-i-Martin (1990, 1991 y 1992) y M-R-W (1992), la velocidad de convergencia condicionada ( $\lambda$ ) obtenida como una tasa de crecimiento acumulativo anual, se puede inferir con la expresión (23), donde está directamente asociada al retardo de la renta per cápita. En nuestro caso, esta estimación vendrá simbolizada por  $\rho$ .

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

Cabe añadir que se empleará la metodología de estimación econométrica derivada del método generalizado de momentos, aplicada al caso particular de los paneles dinámicos, y siempre considerando que se trata de un panel no balanceado.

#### **4. Datos**

El Banco Mundial es un organismo internacional con diversos objetivos, la mayoría de los cuales están estrechamente relacionados con la pobreza y el desarrollo económico del conjunto de países. Para ello, desde su creación (en 1944) ha dedicado una parte creciente de sus recursos a la obtención de estadísticas e indicadores, que se organizan en bases de datos. En este trabajo, efectuaremos la contrastación empírica del modelo planteado con los indicadores incluidos en la base de datos denominada *World Economic Indicators*.

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

**Cuadro 1. Estructura de los indicadores utilizados**

| <b>Indicador</b>      | <b>Definición</b>   | <b>Fuente (años)</b>      |
|-----------------------|---|---------------------------|
| <b>y<sub>it</sub></b> | PIB por persona activa, calculado en dólares constantes de EEUU del año 2005.                         | Banco Mundial (1990-2011) |
| <b>n</b>              | Tasa de crecimiento de la población activa.   | Banco Mundial (1990-2011) |
| <b>INV</b>            | Inversión en formación bruta de capital fijo sobre el PIB en dólares constantes de EEUU del año 2005. | Banco Mundial (1990-2011) |
| <b>TIC1</b>           | Número de usuarios de internet por cada 100 habitantes.   | Banco Mundial (1990-2011) |
| <b>TIC2</b>           | Número de suscripciones a banda ancha fija por cada 100 habitantes.                                   | Banco Mundial (1990-2011) |
| <b>TIC3</b>           | Número suscripciones a terminales de telefonía móvil por cada 100 habitantes.                         | Banco Mundial (1990-2011) |
| <b>TIC4</b>           | Número de suscripciones de líneas de telefonía fija por cada 100 habitantes.                          | Banco Mundial (1990-2011) |

Fuente: Elaboración propia.

Hay que añadir que todos los datos cubren el periodo 1990-2011 y hacen referencia a 104 países del mundo, los cuales se mencionan a continuación: Argelia, Argentina, Armenia, Australia, Austria, Azerbaiyán, Bangladesh, Bielorrusia, Bélgica, Bolivia, Bosnia-Herzegovina, Brasil, Bulgaria, Canadá, Chile, China, Colombia, Croacia, Cuba, República Checa, Dinamarca, Ecuador, Egipto, El Salvador, Estonia, Etiopía, Finlandia, Francia, Georgia, Alemania, Grecia, Guatemala, Honduras, Hong Kong, Hungría, Islandia, La India, Indonesia, Irán, Irlanda, Israel, Italia, Jamaica, Japón, Kazajistán, Corea del Sur, Kirguistán, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Macedonia, Madagascar, Malawi, Malasia, Malta, México, Moldavia, Mongolia, Marruecos, Países Bajos, Nueva Zelanda, Noruega, Pakistán, Panamá, Paraguay, Perú, Islas Filipinas, Polonia, Portugal, Rumanía, Rusia, Arabia Saudí, Singapur, Eslovaquia, Eslovenia, España, Sudáfrica, Suecia, Suiza, Tayikistán, Tailandia, Trinidad y Tobago, Túnez, Turquía, Ucrania, Reino Unido, Estados Unidos, Uruguay, Uzbekistán, Venezuela, Vietnam y Zimbabue.

Para llevar a cabo nuestro análisis empírico, vamos a separar los países anteriores en base a las categorías establecidas por M-R-W (1992). Además, considerando las tres submuestras de países realizadas en dicho trabajo, hay que tener en cuenta que el mapa geográfico-político mundial se ha modificado sustancialmente. La desintegración de la Unión Soviética, y la sucesión de conflictos bélicos en numerosos países africanos y asiáticos son una de las principales causas de estas alteraciones.

Por lo tanto, teniendo en cuenta los cambios que se han producido en la geografía política mundial durante las últimas décadas, continuamos respetando las tres categorías de países propuestas por M-R-W (1992), aunque con los matices que se indican a continuación.

M-R-W (1992) consideraron tres cluster de países: non-oil countries, intermediate countries y OECD countries. En el grupo de países no exportadores de petróleo, originalmente se consideraban 98 países, mientras que en nuestro caso hemos conseguido datos tan solo para 68 países; en el caso de los países intermedios, hemos construido una submuestra con 62 países (en el caso de M-R-W (1992), eran 75); además, el grupo de países integrantes de la OCDE se ha incrementado, pasando de 22 a 34 miembros. Finalmente, conviene recordar que M-R-W construyeron la primera submuestra con los países cuya industria no estaba especializada en el petróleo y sus derivados en el año 1985; la submuestra de países intermedios solamente excluye a aquellos cuya población no superase el millón de habitantes en el mismo año; y la tercera submuestra agrupa, como ya hemos puntualizado, los 22 países adscritos a la OCDE en aquel año.

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

**Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de las variables empleadas**

| <b>Variable</b> | <b>Media</b> | <b>Min</b> | <b>Max</b> | <b>C.V. Pearson</b> |
|-----------------|--------------|------------|------------|---------------------|
| <b>y</b>        | 13746        | 432,05     | 74021      | 0,90                |
| <b>INV</b>      | 23,03        | -0,69      | 59,77      | 0,29                |
| <b>n</b>        | 0,001        | -0,01      | 0,009      | 1,35                |
| <b>TIC1</b>     | 14,96        | 0,00       | 94,69      | 1,50                |
| <b>TIC2</b>     | 6,17         | 0,00       | 41,12      | 1,48                |
| <b>TIC3</b>     | 25,23        | 0,02       | 94,15      | 0,80                |
| <b>TIC4</b>     | 25,00        | 0,15       | 74,46      | 0,79                |

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

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

Finalmente, destacamos que el principal inconveniente de la base de datos estriba en la no disponibilidad de estadísticas en casos aislados; al estar las series temporales de algunos países incompletas, desarrollaremos la aplicación empírica con la metodología de los datos de panel incompletos.

## **5. Resultados**

A continuación, realizamos el análisis empírico considerando los resultados teóricos obtenidos en la ecuación (21). Las correspondientes transformaciones logarítmicas hacen que disminuyan las posibilidades de existencia de heterocedasticidad en los residuos del modelo.

Los Cuadros 3, 4 y 5 recogen una comparación de los resultados obtenidos en el trabajo de M-R-W (1992) con la evidencia empírica que se ha obtenido a partir del modelo descrito en este trabajo, utilizando la base de datos descrita anteriormente. También hemos de considerar la robustez de las estimaciones obtenidas en cada modelo; debido a que estamos trabajando con datos de panel incompletos, en cada modelo la largura de las series temporales será distinta (vista como diferencia entre el máximo y el mínimo número de observaciones en el conjunto de países). Hay que añadir que, por motivos relacionados con la disponibilidad limitada de datos y con la composición de los grupos de países, los resultados econométricos no serán estrictamente comparables con los obtenidos en el trabajo de referencia.

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

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

**Cuadro 3. Estimaciones de la ecuación (22): países no exportadores de petróleo (*non-oil countries* en el trabajo de M-R-W (1992))**

|                                      | <b>Modelo 1</b>      | <b>Modelo 2</b>      | <b>Modelo 3</b>      | <b>Modelo 4</b>      | <b>Modelo 5</b>      |
|--------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <b>Modelo de panel</b>               | Efectos Aleatorios   | Efectos Fijos        | Efectos Fijos        | Efectos Fijos        | Efectos Aleatorios   |
| <b>Observaciones (N)</b>             | 1375                 | 1245                 | 672                  | 1300                 | 1374                 |
| <b>Largura temporal</b>              | (18-21)              | (14-21)              | (2-14)               | (12-21)              | (18-21)              |
| <b>Constante</b>                     | -0,108***<br>(-5,67) | 0,25**<br>(2,504)    | 0,529***<br>(2,76)   | 0,279***<br>(2,76)   | -0,123***<br>(-2,14) |
| <b>Ln <math>y_{t-1}</math></b>       | -0,003**<br>(-2,09)  | -0,0518***<br>(-5,6) | -0,107***<br>(-6,03) | -0,058***<br>(-6,35) | -0,017***<br>(-5,6)  |
| <b>Ln INV</b>                        | 0,045***<br>(10,08)  | 0,053***<br>(10,02)  | 0,085***<br>(9,22)   | 0,052***<br>(9,42)   | 0,042***<br>(9,41)   |
| <b>Ln TIC1</b>                       | -                    | 0,003***<br>(5,29)   | -                    | -                    | -                    |
| <b>Ln TIC2</b>                       | -                    | -                    | 0,005***<br>(4,65)   | -                    | -                    |
| <b>Ln TIC3</b>                       | -                    | -                    | -                    | 0,004***<br>(6,93)   | -                    |
| <b>Ln TIC4</b>                       | -                    | -                    | -                    | -                    | 0,011***<br>(5,01)   |
| <b>Ln (n+g+<math>\delta</math>)</b>  | -0,005<br>(-1,25)    | 0,02<br>(1,26)       | 0,099**<br>(2,46)    | 0,027*<br>(1,69)     | 0,037**<br>(2,27)    |
| <b>Ln (n+g+<math>\psi</math>)</b>    | -                    | -0,099<br>(-1,44)    | -0,376**<br>(-2,30)  | -0,135*<br>(-1,91)   | -0,184**<br>(-2,57)  |
| <b><math>\alpha</math> Inferido</b>  | 93,8%                | 49,21%%              | 43,23%               | 45,66%               | 63,22%               |
| <b><math>\beta</math> Inferido</b>   | -                    | 2,71%                | 2,48%                | 3,4%                 | 11,3%                |
| <b><math>\lambda</math> Inferido</b> | 0,3%                 | 5,34%                | 11,32%               | 5,98%                | 1,17%                |
| <b>R<sup>2</sup> corregido</b>       | -                    | 0,195                | 0,296                | 0,183                | -                    |
| <b>Hausman (p-valor)</b>             | 6,98*<br>(0,073)     | 31,66***<br>(0,000)  | 55,8***<br>(0,000)   | 42,99***<br>(0,000)  | 8,83<br>(0,116)      |

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

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 4. Estimaciones de la ecuación (22): países intermedios (*intermediate countries* en el trabajo de M-R-W (1992))**

|                                      | <b>Modelo 1</b>     | <b>Modelo 2</b>      | <b>Modelo 3</b>      | <b>Modelo 4</b>      | <b>Modelo 5</b>      |
|--------------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <b>Modelo de Panel</b>               | Efectos Fijos       | Efectos Fijos        | Efectos Fijos        | Efectos Fijos        | Efectos Fijos        |
| <b>Observaciones (N)</b>             | 1250                | 1147                 | 631                  | 1202                 | 1249                 |
| <b>Largura temporal</b>              | (18-21)             | (14-21)              | (2-14)               | (13-21)              | (18-21)              |
| <b>Constante</b>                     | -0,089<br>(-1,57)   | 0,23**<br>(2,25)     | 0,409**<br>(2,09)    | 0,246***<br>(2,46)   | 0,011<br>(0,13)      |
| <b>Ln <math>y_{t-1}</math></b>       | -0,011*<br>(-1,81)  | -0,053***<br>(-5,55) | -0,088***<br>(-4,81) | -0,055***<br>(-6,03) | -0,037***<br>(-5,03) |
| <b>Ln INV</b>                        | 0,065***<br>(11,46) | 0,067***<br>(11,41)  | 0,087***<br>(9,08)   | 0,06***<br>(10,51)   | 0,061***<br>(10,76)  |
| <b>Ln TIC1</b>                       | -                   | 0,003***<br>(4,93)   | -                    | -                    | -                    |
| <b>Ln TIC2</b>                       | -                   | -                    | 0,004***<br>(3,98)   | -                    | -                    |
| <b>Ln TIC3</b>                       | -                   | -                    | -                    | 0,004***<br>(5,82)   | -                    |
| <b>Ln TIC4</b>                       | -                   | -                    | -                    | -                    | 0,017***<br>(5,65)   |
| <b>Ln <math>(n+g+\delta)</math></b>  | -0,004<br>(-0,88)   | 0,019<br>(1,23)      | 0,08**<br>(2,09)     | 0,02<br>(1,46)       | 0,031**<br>(1,98)    |
| <b>Ln <math>(n+g+\psi)</math></b>    | -                   | -0,096<br>(-1,4)     | -0,301*<br>(-1,86)   | -0,11<br>(-1,64)     | -0,153**<br>(-2,2)   |
| <b><math>\alpha</math> Inferido</b>  | 85,53%              | 54,51%               | 48,63%               | 50,49%               | 55,1%                |
| <b><math>\beta</math> Inferido</b>   | -                   | 2,37%                | 2,19%                | 3,24%                | 11,86%               |
| <b><math>\lambda</math> Inferido</b> | 1,12%               | 5,45%                | 9,21%                | 5,66%                | 3,77%                |
| <b>R<sup>2</sup> corregido</b>       | 0,174               | 0,21                 | 0,292                | 0,21                 | 0,197                |
| <b>Hausman<br/>(p-valor)</b>         | 35,78<br>(0,000)    | 34,36<br>(0,000)     | 37,65<br>(0,000)     | 38,3<br>(0,000)      | 14,69<br>(0,012)     |

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

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 5. Estimaciones de la ecuación (22): países integrantes de la OCDE (OECD countries en el trabajo de M-R-W (1992))**

|                                      | <b>Modelo 1</b>      | <b>Modelo 2</b>       | <b>Modelo 3</b>       | <b>Modelo 4</b>       | <b>Modelo 5</b>     |
|--------------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| <b>Modelo de panel</b>               | Efectos<br>Fijos     | Efectos<br>Fijos      | Efectos<br>Fijos      | Efectos<br>Fijos      | Efectos<br>Fijos    |
| <b>Observaciones (N)</b>             | 706                  | 695                   | 404                   | 702                   | 705                 |
| <b>Largura temporal</b>              | (16-21)              | (16-21)               | (9-14)                | (16-21)               | (16-21)             |
| <b>Constante</b>                     | 0,144*<br>(1,81)     | 1,233***<br>(10,12)   | 1,607***<br>(6,16)    | 1,281***<br>(10,42)   | 0,191**<br>(1,96)   |
| <b>Ln <math>y_{t-1}</math></b>       | -0,041***<br>(-5,93) | -0,143***<br>(-13,88) | -0,217***<br>(-10,09) | -0,147***<br>(-14,64) | -0,054***<br>(-7,5) |
| <b>Ln INV</b>                        | 0,1***<br>11,63      | 0,1***<br>(13,15)     | 0,113***<br>(11,37)   | 0,093***<br>(11,99)   | 0,092***<br>(10,63) |
| <b>Ln TIC1</b>                       | -                    | 0,009***<br>(11,26)   | -                     | -                     | -                   |
| <b>Ln TIC2</b>                       | -                    | -                     | 0,005***<br>(4,96)    | -                     | -                   |
| <b>Ln TIC3</b>                       | -                    | -                     | -                     | 0,011***<br>(13,04)   | -                   |
| <b>Ln TIC4</b>                       | -                    | -                     | -                     | -                     | 0,037***<br>(5,77)  |
| <b>Ln (n+g+<math>\delta</math>)</b>  | 0,007<br>(1,51)      | -0,012<br>(-0,92)     | 0,008**<br>(2,47)     | -0,014<br>(-1,01)     | -0,002<br>(-0,01)   |
| <b>Ln (n+g+<math>\psi</math>)</b>    | -                    | 0,106<br>(1,61)       | -0,435**<br>(2,08)    | 0,11<br>(1,62)        | 0,041<br>(0,54)     |
| <b><math>\alpha</math> Inferido</b>  | 70,92%               | 38,22%                | 33,74%                | 37,08%                | 53,54%              |
| <b><math>\beta</math> Inferido</b>   | -                    | 7,71%                 | 1,48%                 | 4,26%                 | 15,04%              |
| <b><math>\lambda</math> Inferido</b> | 4,19%                | 15,43%                | 24,46%                | 15,9%                 | 5,55%               |
| <b>R<sup>2</sup> corregido</b>       | 0,247                | 0,405                 | 0,467                 | 0,409                 | 0,281               |
| <b>Hausman<br/>(p-valor)</b>         | 54,01<br>(0,000)     | 195,24<br>(0,000)     | 138,81<br>(0,000)     | 204,04<br>(0,000)     | 43,38<br>(0,000)    |

Significatividad: entre paréntesis se muestran los t-ratio. p\* < 0,1; p\*\* < 0,05; p\*\*\* < 0,01.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los cuadros 3, 4 y 5, hay que destacar una serie de cuestiones. En primer lugar, el modelo 1 de cada Cuadro representa las estimaciones correspondientes con el modelo de Solow (1956), en el cual la evolución de la renta per cápita de los países solamente dependía de la evolución del capital físico por trabajador y de su depreciación. Por otra parte, dado que estamos trabajando con paneles incompletos (no balanceados), la largura temporal de las series de cada país refleja la serie más pequeña del grupo de países con respecto a la serie más amplia. Los modelos 2, 3, 4 y 5 de cada Cuadro estiman el planteamiento teórico del modelo descrito, con cuatro indicadores que aproximan el capital TIC, todas ellas descritas en el Cuadro 1.

A continuación, pasamos a comentar los resultados econométricos del Cuadro 3. En dicho Cuadro, se incluyen las estimaciones para el grupo de países no productores de petróleo. En relación al modelo 1, se ha seleccionado el modelo de efectos aleatorios, pues el p-valor del estadístico de Hausman es del 7%; también destacamos que la velocidad de convergencia condicionada es bastante reducida (un 0,3% anual); además, la participación del capital físico sobre la producción agregada es anormalmente elevada (un 93,8%), lo que quiere decir que tan sólo el 6% restante de la producción total corresponde al factor trabajo. En relación con los modelos 3, 4 y 5, podemos afirmar que las estimaciones son notablemente mejores; en estos casos, es preciso estimar los modelos con efectos fijos, y ellos dan lugar a una participación del capital físico que oscila entre el 43% y el 63%; la importancia relativa del capital TIC en estos casos oscila entre el 2% y el 11,3%, dependiendo del indicador utilizado. La convergencia condicionada es sensiblemente mayor (entre el 1% y el 11% anual); también observamos que los estimadores asociados a las tasas de depreciación de los dos factores (capital físico y capital TIC) tienen signo opuesto, lo que indica que es correcto considerar una tasa de depreciación para cada input. Considerando lo anterior, matizamos que la proporción de la producción agregada de estos países correspondiente al factor trabajo oscila aproximadamente entre el 55% y el 35%.

En segundo lugar, las estimaciones del Cuadro 4 corresponden al grupo de países intermedios, que eran aquellos con una población superior al millón de habitantes. En primer lugar, justificamos la elección de efectos fijos por los p-valor asintóticos obtenidos con el test de Hausman, todos ellos inferiores al 5%. Del modelo 1 (planteamiento de Solow (1956)) destacamos que se ha obtenido una velocidad de convergencia moderada

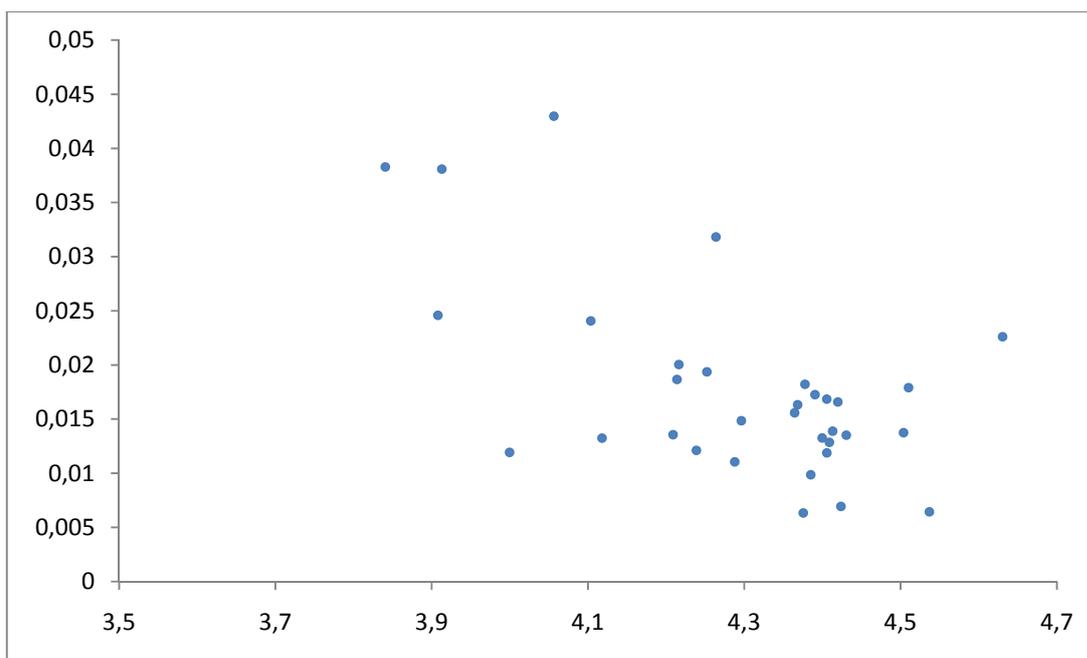
(1,12% anual), y al igual que ocurría en el modelo 1 del grupo *non oil countries*, la importancia relativa del capital físico es elevada (un 85%), lo cual dista de la mayor parte de resultados empíricos obtenidos en otros trabajos que consideraban únicamente las hipótesis de Solow (en la estimación de M-R-W (1992) este porcentaje se situó en un 60%). Por otra parte, en las especificaciones que incorporan las TIC como un input adicional (modelos 2 a 5) se obtienen resultados muy distintos, similares a las cifras observadas por otros autores. En lo que respecta al ritmo de convergencia, ésta se sitúa entre el 5% y el 9% anual; la participación del capital físico sobre el PIB se sitúa en unos valores porcentuales comprendidos entre el 48% y el 55%, mientras que la contribución del capital TIC sobre el VAB oscila entre el 2% y el 11%. Al igual que en el grupo de países del Cuadro 3, las estimaciones correspondientes a las tasas de depreciación del capital físico y capital TIC presentan valores distintos y de signo opuesto (positivas en el primer caso y negativas en el segundo), aunque presentan una significatividad estadística escasa. Comparando los Cuadros 3 y 4, se observa que el grupo de países intermedios presentan unos resultados empíricos más cercanos a los obtenidos por otros autores en trabajos similares, con respecto al grupo *non oil countries*. También destacamos que la variable denominada TIC4 (suscripciones a líneas de telefonía fija) presenta un impacto sobre el VAB sensiblemente mayor que el resto de indicadores.

En tercer lugar, el Cuadro 5 incluye los resultados econométricos del grupo de países integrantes de la actual OCDE. Resulta necesario estimar las 5 especificaciones utilizando el modelo de efectos fijos, teniendo en cuenta que el p-valor asintótico del test de Hausman tiende a cero. En lo que respecta al modelo 1, la participación del capital físico sobre el VAB se sitúa en el 70%, muy por encima del 36% obtenido por M-R-W (1992). No obstante, al incorporar el capital TIC, el porcentaje de producción agregada que se le atribuye al capital físico oscila entre un 33% y un 38% (salvo en el caso de la telefonía fija, cuyo porcentaje es de un 53%); por su parte, la contribución del capital TIC sobre el VAB en la OCDE se sitúa entre el 4% y el 15%, salvo en el caso de la variable TIC2 (abonados a banda ancha fija), que apenas supera el 1%, y ello puede ocurrir por la escasez de datos, considerando que el número de observaciones es de 404, mientras que en el resto de modelos, se cuenta con 700 observaciones aproximadamente. Por lo tanto, podemos afirmar que la contribución relativa del factor trabajo dentro de los países de la OCDE durante el

período 1990-2011 se sitúa entre el 55% y el 65% del PIB per cápita. Respecto a los resultados de convergencia condicionada, los modelos 2, 3 y 4 presentan tasas de convergencia anual entre el 14% y el 24%, mientras que el modelo de Solow (modelo 1) y el modelo que considera la telefonía fija como capital TIC (modelo 5) arrojan unas velocidades de convergencia del 4% y 5% respectivamente. Por último, destacamos que la bondad del ajuste medida a través del  $R^2$  es, en todos los casos, bastante baja, aunque los países de la OCDE presentan un mejor ajuste respecto a grupos de países restantes.

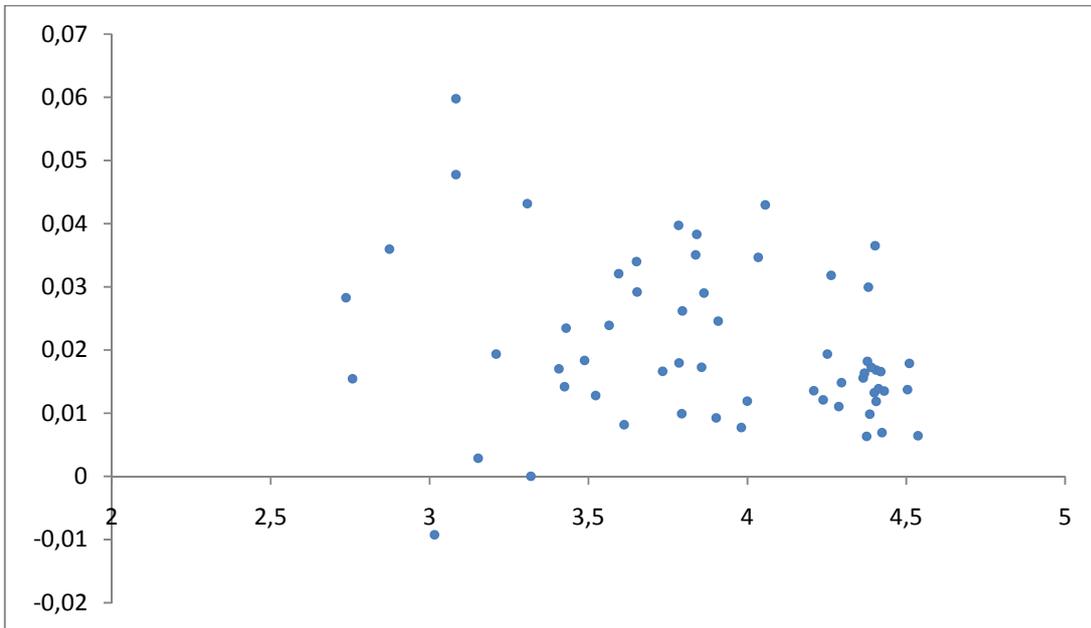
En las Figuras 1, 2 y 3 se presentan los gráficos de dispersión que relacionan el crecimiento medio anual del PIB per cápita durante el período 1990-2011 (eje vertical) con el logaritmo del PIB per cápita del año 1990.

**Figura 1. Relación crecimiento económico- PIB per cápita en 1990 (en logaritmos): países no productores de petróleo.**



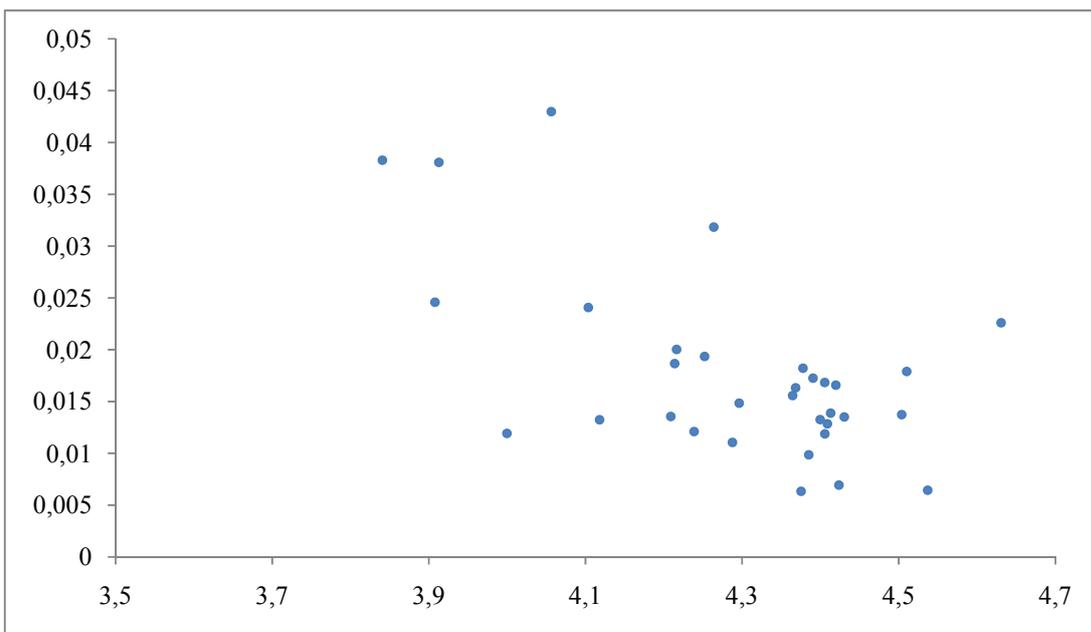
Fuente: elaboración propia.

**Figura 2. Relación crecimiento económico- PIB per cápita en 1990 (en logaritmos): países intermedios.**



Fuente: elaboración propia.

**Figura 3. Relación crecimiento económico- PIB per cápita en 1990 (en logaritmos): países de la OCDE.**



Fuente: elaboración propia.

A la vista de las Figuras 1, 2 y 3 se intuye la existencia de una relación inversa entre los niveles de PIB per cápita iniciales y la tasa de crecimiento del PIB durante todo el período. Ahora bien, hay que tener en cuenta que se trata de dos muestras de países compuestas por territorios bastante heterogéneos entre sí, y que en muchos casos no comparten unas características mínimas como para ser incluidos en el mismo cluster. Sin embargo, la Figura 3 incorpora los países de la OCDE, y en ella sí que se aprecia de forma más nítida el principio básico para la existencia de convergencia condicional, que está basado en que los países con menores niveles de renta per cápita inicial tienden a presentar, en el largo plazo, unas tasas de crecimiento anual superiores a aquellos países con renta per capital inicial superior a los anteriores. Por lo tanto, nuestros resultados econométricos están, en parte, respaldados por estos análisis gráficos, al menos en los que a convergencia condicionada se refiere.

## **6. Conclusiones**

En esta investigación se elabora un modelo inspirado en el modelo neoclásico de Solow para resolver la paradoja que él mismo planteó en el año 1987 sobre las tecnologías de información y comunicación. Además, tratamos de construir un modelo que se inspira en el trabajo de M-R-W (1992). En el apartado 2, hemos revisado los principales trabajos que han considerado la medición del crecimiento económico, junto con otros aspectos, como puede ser la velocidad de convergencia/divergencia condicionada existente entre un grupo de países determinado. No obstante, hemos abordado la cuestión del crecimiento económico internacional con distintos enfoques; hemos considerado, por un lado, los modelos de crecimiento endógeno, los cuales fundamentan sus resultados en los rendimientos crecientes de escala y, por lo tanto, no consideran la posibilidad de existencia de convergencia condicional; además, estos modelos obtenían un resultado teórico que marcaba la evolución del progreso técnico. Por su parte, los modelos macroeconómicos de crecimiento exógeno no cuentan con esa ventaja; describen las características iniciales del modelo, y suponen que el progreso técnico tomará una determinada senda, asumiendo que dicha variable es ajena al modelo. Sin embargo, los modelos de crecimiento exógeno sí

consideran la posibilidad de que existiesen procesos de convergencia, e incluso son capaces de proporcionar herramientas analíticas para medir la intensidad de esa convergencia.

Por otra parte, hemos subrayado la importancia creciente que han adquirido las nuevas tecnologías de información y comunicaciones (TIC) cuya importancia, tanto para los consumidores como para las empresas, ha crecido notablemente hasta nuestros días. En el apartado 3 hemos desarrollado el modelo teórico, considerando la posibilidad de que el crecimiento económico cuente con los factores de producción considerados en la economía neoclásica (empleo y capital físico), y además, con un input adicional que represente todos esos aspectos que facilitan los procesos de producción y –quizá- repercutan positivamente sobre la productividad; a este nuevo input le hemos denominado capital TIC. En el apartado 4 hemos descrito las características básicas de los datos. Dentro de la sección 5 hemos incluido la aplicación empírica basada en el resultado teórico que se obtuvo con las expresiones de equilibrio en el largo plazo para ambos inputs; de esta manera, hemos efectuado diversas estimaciones econométricas, considerando distintos modelos y distintos grupos de países.

A continuación, describimos las conclusiones esenciales de este trabajo.

El crecimiento económico de largo plazo considerando el capital TIC mejora las predicciones del modelo ampliado de Solow e inspirado en M-R-W (1992). La incorporación del capital TIC normaliza la contribución del capital físico sobre el PIB per cápita.

La importancia relativa del capital físico sobre el PIB per cápita, dentro del grupo *non oil countries*, oscila entre un 43% y un 63% del total, mientras que peso del capital TIC sobre la producción agregada se sitúa entre un 2% y un 3%; por lo tanto, el porcentaje de producción correspondiente al factor trabajo oscila entre un 35% y un 55%. Además, el ritmo de convergencia anual estimada de estos países oscila entre el 5% y el 11%.

En el caso de los *intermediate countries*, el capital físico representa entre un 48% y un 55%, dependiendo de la variable TIC considerada. Dentro de este grupo de países, el capital TIC tiene un peso relativo similar al grupo anterior de países. Por ello, la contribución del factor trabajo a la producción oscilaría entre un 45% y un 50%. En este caso, la velocidad de convergencia anual oscila entre un 5% y un 9%.

Por su parte, los países de la OCDE obtienen resultados más coherentes con la literatura empírica moderna. Considerando los modelos 2, 3 y 4, la participación del capital físico oscila entre el 33% y el 38%, mientras que el impacto económico del capital TIC está comprendido entre el 1,5% y el 7%. Por otra parte, la convergencia resulta más heterogénea en función del modelo elegido, situada entre el 5% y el 24% anual.

Finalmente, destacamos la relación inversa existente entre los niveles de renta per cápita del año base y el ritmo anual de crecimiento hasta el período final. Gráficamente, hemos esbozado esta hipótesis, si bien es en el grupo de países de la OCDE donde lo podemos comprobar mejor.

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

Finalmente, las inversiones en las TIC tienen un impacto positivo y significativo en la generación de crecimiento económico para los países del mundo, en un contexto de largo plazo.

## 7. Referencias

- Banco Mundial (1990-2011): Indicadores económicos. Base de datos “World Development Indicators” (WDI).
- Barro, R. and Sala-i-Martin, X. (1991): “Convergence across States and Regions”, *Brookings Papers on Economic Activity* 1, pp. 107-182.
- Barro, R. and Sala-i-Martin, X. (1992a): “Convergence”, *Journal of Political Economy* 100, 2 (April), pp. 223-251,
- Barro, R. and Sala-i-Martin, X. (1992b): “Regional Growth and Migration: A Japan-United States Comparison”, *Journal of the Japanese and International Economics* 6, pp. 312-346.
- Barro, R. and Sala-i-Martin, X. (1995): *Economic Growth*, McGraw-Hill.
- Barro, R. and Sala-i-Martin, X. (2009): *Economic Growth*, 2<sup>a</sup> ed. The MIT Press.
- Bresnahan, T.F., E. Brynjolfsson, y L- Hitt (2002): “Information Technology, Workplace Organization, and the Demand for Skilled Labor: Firm-level Evidence”, *Quarterly Journal of Economics*, 117 (1), pp. 339-76.
- Brynjolfsson, E. y L . Hitt (1996): “Paradox Lost. Firm level evidence on the returns to technology information system spending”. *Management Science*, 42(4), pp. 541-558.
- Canarella, G. y Pollard, S.K. (2003):”The Augmented Solow Model and the OECD Sample”. *International Business & Economics Journal*. 2 (7), pp. 89-102.
- De Long, B. (2001): “A Historical Perspective on the New Economy”. Montreal New Economy Conference, Montreal.
- Fischer, M. (2009): “A spatially augmented Mankiw-Romer-Weil model: Theory and Evidence. Institute of economic geography and GIScience. Viena.
- Gordon, R. (2000): “Does the New Economy measures up to the great inventions of the past?”, *Journal of Economic Perspectives*, 14(4), pp. 49-74.
- Gordon, R. (2003): “HI-tech Innovation and productivity Growth: Does Supply create its own demand?., NBER, Working Paper, 9437.
- Gordon, R. (2004): “Why was Europe left at the station when America’s productivity locomotive departed?, NBER, Working Paper, 10611.
- Hicks, J. (1965): “Capital and growth”. Oxford University Press. New York.

- Jorgenson, D.W. (2001): "Information technology and the US economy". *American Economic Review*, 91(1), pp. 1-6.
- Jorgenson, D.W., Stiroh, K.J., Gordon, R.J. y Sichel, D.E. (2000): "Raising the Speed Limit: U.S. Economic Growth in the Information Age". *Brookings Papers on Economic Activity*. Vol. 2000(1), pp. 125-235.
- Jorgenson, D.W., Motohashi, K. (2005): "Information technology and the Japanese Economy". NBER. Working paper n° 11801.
- Jorgenson, D.W. y Vu, K. (2005): "Information technology and the World Economy". *The Scandinavian Journal of Economics*. 107 (4), pp. 631-650.
- Jorgenson, D.W., Ho, M.S. y Stiroh, K.J. (2006a): "The sources of the Second Surge of U.S. productivity and implications for the future", Banco de la Reserva Federal de Nueva York. Mimeo.
- Jorgenson, D.W., Ho, M.S. y Stiroh, K.J. (2006b): "Potencial Growth of th U.S. Economy: Will the Productivity Resurgence Continue?". *Business Economics*, 41(1), pp. 7-16.
- Jorgenson, D.W., Ho, M.S. y Stiroh, K.J. (2007): "A retrospective Look at the U.S. Productivity Growth Resurgence", Federal Reserve Bank of New York, Staff Reports, n° 277.
- Krugman, P.(1991): "Increasing Returns and Economic Geography". *Journal of Political Economy*, 99(3), pp. 483-499.
- Lucas, R.E. (1988): "On the Mechanics of Economic Development". *Journal of Monetary Economics*. 22 (1), pp. 3-42.
- Mankiw, G., Romer, D; and D.N. Weil (1992): "A Contribution to the Empirics of Economic Growth", *The Quarterly Journal of Economics*, 107 (2), pp. 407-437.
- Neffati, M. y Besbes, L. (2013): "Corretation ICT education and economic growth . Case of the Arab Economies. *International Journal of Economics, Finance and Management*. 2 (1), pp. 135-142.
- Nonneman, W. y Vanhoudt, P. (1996): "A Further Argumentation of the Solow Model and the Empirics of Economic Growth for OECD Countries". *The Quaterly Journal of Economics*. 11 (3), pp. 453.553.
- Nordhaus, W, (2001): "Productivity growth and the New Economy", NBER working Papers, 8096,

- Oliner, S.D, y Sichel, D.E. (1994): “Computer and output growth revisited: how big is the puzzle?”, *Brooking Papers on Economic Activity*, 2, pp. 273-317.
- Oliner, S.D, y Sichel, D.E. (2000): *The resurgence of growth in the late 1990s: is information technology the story?*, Federal Reserve Board, Washintong.
- Pilat, D. y Lee, F.C. (2001): “Productivity growth in ITC -producing and ITC-using industries: a source of growth differentials in the OECD?”. *STI Working Papers* 2001/4.
- Ram, R. (2007): “IQ and economic growth: Further argumentation of Mankiw, Romer and Weil model”. *Economics Letters*. 94, pp. 7-11.
- Rebelo, S. (1991): “Long-Run Policy Analysis and Long-Run Growth”. *The Journal of Political Economy*. 99 (3), pp. 500-521.
- Romer, P.M. (1986):”Increasing Returns and Long-Run Growth”. *Journal of Political Economy*. 94 (5), pp.1002-1037.
- Romer, P.M. (1987): “Growth Based on increasing Returns Due to Specialization”. *The American Economic Review*, 77(2), 56-62.
- Sala-i-Martín, X. (2002): *Apuntes de crecimiento económico*. 2ª ed. Antoni Bosch.
- Schreyer, P. (2000): “The contribution of Information and Communication Technology to Output Growth: A study of the G7 Countries”. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*. 2000/2, OECD Publishing.
- Schumpeter, J.A. y Nichol, A.J. (1934): “Robinson’s Economics of Imperfect Competition”. *Journal of Political Economic*. 42 (2), pp. 249-259.
- Solow, R. (1956): “A contribution to the Theory of Economic Growth”. *The Quaterly Journal of Economics*. 70 (1), pp. 65-94.
- Solow, R. (1957): “Technical Change and the Aggregate Production Function”. *Review of Economics and Statistics* 39, pp. 312-20.
- Solow, R. (1987): “We’d Better Watch Out”. *Book Review de Manufacturing Matters. The Myth of the Post-Industrial Economy*. Por Stephen S. Cohen y John Zysman . *The New York Times*. July 12, 1987.
- Stiroh, K. (2002): *Information technology and the U.S. productivity revival: wath the industry data say?*. *American Economic Review*, 92(5), pp. 1559-1576.

- Stiroh, K. (2004): "Reassessing the Impact of IT in the Production Function: A Meta-Analysis and Sensitivity Tests", Federal Reserve Bank of New York.
- Supriyo, D. y Dutta, D. (2007): "Impact of Intangible Capital on Productivity and Growth: Lessons from the Indian Information Technology Software Industry". The Economic Record. 83 (Special Issue), pp. 73-86.
- Swan, T.W. (1956): "Economic Growth and Capital Accumulation". Economic Record. 32 (2), pp. 334-361.
- Ulasan, B. (2011): "Augmented Neoclassical Growth Model: a replication over the period 1960-2000". Working paper 2011/01: Central Bank of the Republic of Turkey.