

MEMORIA DEL TRABAJO FIN DE GRADO

Hacia la frontera tecnológica. El capital humano y la teoría schumpeteriana del crecimiento

(Towards the Technological Frontier. Human Capital and the Schumpeterian Growth Theory)

Autor: D. Daniel Sánchez Rodríguez

Tutor: D. Juan Acosta Ballesteros

Grado en ECONOMÍA
FACULTAD DE ECONOMÍA, EMPRESA Y TURISMO
Curso Académico 2014/2015

La Laguna, a 30 de junio de 2015

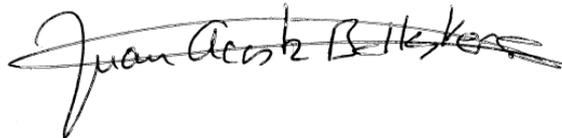
D. Juan Acosta Ballesteros, profesor del Departamento de Economía, Contabilidad y Finanzas

CERTIFICA:

Que la presente Memoria de Trabajo Fin de Grado en Economía titulada “Hacia la frontera tecnológica. El capital humano y la teoría schumpeteriana del crecimiento” y presentada por el alumno D. Daniel Sánchez Rodríguez realizada bajo mi dirección, reúne las condiciones exigidas por la Guía Académica de la asignatura para su defensa

Para que así conste y surta los efectos oportunos, firmo la presente en La Laguna a 30 de junio de dos mil quince.

El tutor

A handwritten signature in black ink, reading "Juan Acosta Ballesteros". The signature is written in a cursive style with a long horizontal stroke across the top.

Fdo.: D. Juan Acosta Ballesteros

La Laguna, a 30 de junio de 2015

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. CAPITAL HUMANO, INNOVACIÓN Y CRECIMIENTO.....	3
2.1. CAPITAL HUMANO, INNOVACIÓN Y CRECIMIENTO. LOS MODELOS DE CRECIMIENTO ECONÓMICO SCHUMPETERIANOS	3
2.1.1. De los modelos de crecimiento exógenos a la teoría schumpeteriana.....	3
2.1.2. Aghion y Howitt y los modelos de crecimiento schumpeteriano. El paradigma de la destrucción creativa	4
2.1.3. Innovación e imitación en la teoría schumpeteriana del crecimiento.....	5
2.2. CAPITAL HUMANO Y CRECIMIENTO.....	7
2.3. TEORÍA SCHUMPETERIANA, CAPITAL HUMANO Y RELATIVIDAD TECNOLÓGICA. DISTINTOS EFECTOS PARA DISTINTOS PAÍSES	9
3. CAPITAL HUMANO, PIB PER CÁPITA Y PROXIMIDAD A LA FRONTERA. UN ANÁLISIS EMPÍRICO	12
3.1. HIPÓTESIS Y METODOLOGÍA.....	12
3.2. DATOS Y VARIABLES	13
3.2.1. PIB per cápita en paridad del poder adquisitivo (PPA)	13
3.2.2. Proximidad a la frontera tecnológica	13
3.2.3. Capital humano.....	13
3.2.4. La muestra.....	14
3.3. EL MODELO EMPÍRICO.....	15
3.4. LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS EMPÍRICO.....	16
3.4.1. Estimaciones para la muestra total.....	16
3.4.2. Distintos países, distintos efectos. La relatividad tecnológica del capital humano	19
4. CONCLUSIONES.....	25
5. BIBLIOGRAFÍA	27
ANEXO 1. Relación de países incluidos en la muestra.....	30
ANEXO 2. Estadísticos descriptivos y estimación de panel utilizando los criterios de proximidad a la frontera inicial y final.....	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Media y desviaciones típicas de las variables	15
Tabla 3.2: Test de especificación de la muestra total	17
Tabla 3.3: Estimación de un panel con efectos fijos.....	18
Tabla 3.4: Estadísticos descriptivos de las 2 sub-muestras	20
Tabla 3.5: Países con una FT_0 superior a la mediana	21
Tabla 3.6: Países con una FT_0 inferior o igual a la mediana	22
Tabla 3.7: Efectos marginales de cada nivel educativo	23
Tabla 3.8: Test de especificación. Países con una FT_0 superior a la mediana	23
Tabla 3.9: Test de especificación. Países con una FT_0 igual o inferior a la mediana.....	24
Tabla A1.1: Países componentes de la muestra.....	30
Tabla A1.1: Estadísticos descriptivos de las sub-muestras	31
Tabla A2.2: Países con una FT_0 y una FT_F mayor (cerca de la frontera) y menor igual (alejados de la frontera) a sus medianas.....	31

RESUMEN

En este trabajo se analiza, tomando como base la teoría schumpeteriana, si el papel del capital humano sobre los niveles de vida de los países depende del estado de la tecnología. De este modo, se contrasta que el capital humano influye positivamente en la renta per cápita (hipótesis 1) y que el efecto de cada nivel educativo depende de la posición del país con respecto de la frontera tecnológica (hipótesis 2). Utilizando la metodología del análisis de regresión, se estiman modelos de datos de panel para 78 países con observaciones quinquenales en el periodo 1975-2010. Los resultados no respaldan con claridad las hipótesis de partida si el capital humano se mide en años de educación, si bien, utilizando los porcentajes de población según su nivel educativo, se obtiene evidencia en favor de ambas hipótesis, sobre todo, cuando se tienen en cuenta los distintos niveles tecnológicos entre los países.

Palabras clave: capital humano, innovación, destrucción creativa, relatividad tecnológica

ABSTRACT

This study analyzes if the effect of human capital on living standards depends on the state of the technology. Based on Schumpeterian theory, two hypotheses are tested: the positive contribution of human capital to per capita income (hypothesis 1) and whether the impact of each educational level depends on country's distance to technological frontier (hypothesis 2). Using regression analysis methodology, a set of panels of 78 countries between 1975 and 2010 (in five-year intervals) has been estimated. The results do not clearly support the hypotheses if human capital is measured in years of education. In contrast, using percentages of population according its educational level, there is clear evidence for both hypotheses, especially when different technological levels are taken into account.

Keywords: human capital, innovation, creative destruction, technological relativity

1. INTRODUCCIÓN

Una idea ampliamente aceptada entre los economistas es que la única manera que tiene un país de sostener sus niveles de vida es producir al menos misma cantidad de bienes y servicios empleando una menor cantidad de factores de producción. La productividad “...no lo es todo, pero en el largo plazo lo es casi todo...” (Krugman, 2010:11). En el modelo de crecimiento que surge tras la Revolución Industrial, la tecnología es “...la madre de todos los *spillovers*¹...” (Mokyr, 2005:5), es el medio que proporciona mejores y más baratas herramientas, máquinas, ordenadores, *software* y medios de transporte que ayudan a producir y proveer esta mayor cantidad de bienes y servicios.

Para innovar, el factor *sine qua non* es el conocimiento, puesto que determina en cada momento qué invención o innovación es o no factible. Sin conocimiento útil no es posible generar un crecimiento sostenido en el tiempo y, al igual que el progreso técnico, “...no cae gratis del cielo...” (De la Fuente, 1992:340). No es una variable exógena, sino consecuencia de las decisiones y preferencias de los agentes en la economía, es el resultado de una inversión, así como efecto de otras actividades humanas, y precisa ser compartido, distribuido y transmitido, a través de la educación, para que una sociedad pueda hacer uso efectivo de él (Mokyr, 2005). Para De la Fuente (1992), la calidad del esfuerzo humano es creciente con la inversión en educación, por lo que el empleo de la fuerza de trabajo como factor explicativo en la función de producción puede estar subestimando su verdadero efecto.

Esta noción de conocimiento útil, de saber puesto en práctica en el proceso productivo, de talento innato, de habilidades y de *know-how* adquiridos con la formación académica y mediante la experiencia confluyen hacia un concepto: el capital humano. El motivo por el que los trabajadores, investigadores y empresas de hoy en día son más productivos no procede sólo de que cuentan con una tecnología de la que sus antepasados no disponían, sino además de su saber hacer, de que saben cómo utilizar esta tecnología. El éxito económico de un país reside entonces en “...fomentar la innovación tecnológica, invertir en personas y movilizar el talento y las habilidades de un gran número de individuos...” (Acemoglu y Robinson, 2013:101), en innovar para poder competir de forma sólida y sostenible en un mundo cada vez más globalizado.

Medir el efecto de este conocimiento útil en los distintos niveles de vida entre los países constituye el objetivo de este trabajo. A la hora de cuantificar este impacto, hay que tener en cuenta, en primer lugar, que el capital humano, al igual que el resto de factores de producción es susceptible de ser acumulado y que, en general, esta acumulación tiene efectos positivos sobre la tasa de crecimiento de la economía (Aghion, Akcigit y Howitt, 2013), lo que concuerda con experiencias presentes y

¹ Traducido directamente del inglés como “desbordamiento”, vendría a implicar en este caso un efecto positivo sobre la totalidad del sistema, un concepto similar al de externalidad.

pasadas en la mayoría de las economías del mundo. Así, el nivel educativo de la fuerza de trabajo de un país es uno de los principales determinantes de su renta per cápita (Krueger y Lindahl, 2001).

Adoptar tecnologías y conocimientos ya generados deriva, en los países rezagados tecnológicamente, en una tasa de crecimiento mayor a la de los países adelantados. Este es el denominado efecto *catch-up* o “ventaja del atraso” (Howitt, 2000) generado por estrategias de imitación. Sin embargo, conforme un país deja de estar a la cola tecnológicamente, el efecto *catch-up* se diluye, por lo que la economía, para seguir creciendo, deberá apoyarse en la innovación y, en consecuencia, impulsar las estrategias, instituciones y políticas que la faciliten. Si se tiene en cuenta que la adaptación de tecnología ya creada es una actividad sencilla y poco intensa en conocimiento, dar el salto a un modelo innovador requiere un capital humano más cualificado. Se hace evidente que el capital humano juega un papel clave en la transición de una estrategia a otra.

Estas ideas son la base principal de las hipótesis planteadas en este trabajo. Por un lado, si la acumulación de capital humano es fuente de crecimiento, aumentar el *stock* debería tener un efecto positivo sobre los niveles de vida de un país (hipótesis 1). Por otro lado, sería lógico que distintos niveles educativos tengan distintos efectos de acuerdo con la posición relativa que el país ocupa respecto a la frontera tecnológica (hipótesis 2 o de relatividad tecnológica). Así, sería de esperar que en países más cercanos a la frontera tecnológica, donde sus sectores dependen más de la innovación, el efecto generado por la educación terciaria sea mayor al generado por la primaria o la secundaria. De este modo, el modelo planteado busca hallar evidencia sobre un tema hasta ahora muy poco tratado a nivel empírico.

Para contrastar las hipótesis planteadas, se ha construido un panel de 78 países, referido al periodo 1975-2010, con observaciones quinquenales, empleando los datos recopilados en las Penn World Tables (Feenstra, Inklaar y Timmer, 2015) y en Barro y Lee (2013). A partir del análisis de regresión, y empleando para ello este panel, se han estimado 4 especificaciones distintas, en las cuales se recoge el impacto de la educación en la renta per cápita, teniendo en cuenta que el efecto de cada nivel educativo será diferente en función de la proximidad del país a la frontera tecnológica. Con el fin de poder captar aún mejor la importancia de la relatividad tecnológica, se ha dividido la muestra en función del nivel tecnológico, utilizando el criterio de la distancia a la frontera mediana en el primer periodo para obtener dos sub-grupos homogéneos de 39 países. Este procedimiento se repite posteriormente, cuando se tienen en cuenta las distancias a la frontera inicial y final, generando dos sub-muestras de 30 países.

El trabajo se estructura como sigue: en el capítulo 2 se revisan las investigaciones previas que dan soporte a las hipótesis planteadas. Así, en 2.1 se examina la teoría del crecimiento schumpeteriano, en 2.2 se muestran las aportaciones y resultados alcanzados en el análisis econométrico y en 2.3 se exponen las bases de la hipótesis de relatividad tecnológica. El capítulo 3 desarrolla el análisis empírico: en 3.1 se plantean

las hipótesis a contrastar y la metodología utilizada para realizar dicho contraste, en 3.2 se explican las fuentes de donde proceden y se presentan las variables empleadas en el modelo, que es planteado en 3.3. El capítulo finaliza con 3.4, donde se muestran los resultados del modelo estimado. El capítulo 4 expone las conclusiones.

2. CAPITAL HUMANO, INNOVACIÓN Y CRECIMIENTO

En este capítulo se revisan las investigaciones previas que proporcionan soporte a las hipótesis planteadas en la parte empírica (capítulo 3) del trabajo. En primer lugar, se considera la evolución de la teoría del crecimiento para destacar los rasgos fundamentales de los modelos de crecimiento schumpeterianos. En segundo lugar, se sintetizan los trabajos de carácter aplicado que relacionan el capital humano con el crecimiento económico. En tercer y último lugar, se presentan las ideas fundamentales de los trabajos empíricos que han tomado en consideración las características de la teoría schumpeteriana del crecimiento a la hora de cuantificar el impacto del capital humano en el nivel de vida de los países.

2.1. CAPITAL HUMANO, INNOVACIÓN Y CRECIMIENTO. LOS MODELOS DE CRECIMIENTO ECONÓMICO SCHUMPETERIANOS

2.1.1. De los modelos de crecimiento exógenos a la teoría schumpeteriana

Solow (1956) describe el crecimiento como un proceso fruto de la acumulación de capital propiciada por el ahorro. Sin embargo, este modelo tiene, desde el punto de vista empírico, una limitación bastante importante: el crecimiento se agota como consecuencia de los rendimientos decrecientes en el factor capital, lo cual no concuerda con la experiencia de las economías occidentales, que en el largo plazo habían registrado importantes y sostenidas tasas de crecimiento.

En un trabajo posterior, Solow (1957) llega a la conclusión de que hay una parte importante del crecimiento que no es explicada por los factores trabajo y capital. En este artículo se atribuye al progreso técnico esta proporción de la renta que no es atribuida a los restantes factores. Sin embargo, en este modelo, los cambios en la tecnología se consideran aleatorios, por lo que en ausencia de un *shock* tecnológico externo (exógeno), el crecimiento se agota, dados los rendimientos decrecientes en el capital. De acuerdo con esto, sin cambio tecnológico continuo no se puede explicar un incremento sostenido en el PIB a largo plazo. Sin embargo, esta asunción del progreso tecnológico como un factor externo, independiente de las decisiones de los agentes en la economía, es probablemente la mayor limitación de esta clase de modelos, ya que no es posible influir en el progreso técnico, y por ende en el crecimiento de la economía, a través de medidas de política económica.

A finales de los 80 comienza a desarrollarse, tras los trabajos seminales de Romer (1986) y Lucas (1988), una gran cantidad de investigaciones sobre crecimiento endógeno, en las cuales el progreso tecnológico deja de ser una variable externa al modelo para ser el fruto de las decisiones de los agentes y, por lo tanto, el crecimiento

del producto a largo plazo depende de estas mismas preferencias y decisiones. Dentro de esta línea de investigación destacan además las aportaciones de Romer (1990) y Aghion y Howitt (1992), en las cuales se atribuye el cambio técnico endógeno, y por lo tanto, el crecimiento a largo plazo a actividades de I+D en las empresas. Los incentivos a la innovación por parte de las empresas están constituidos por las rentas del monopolio que proceden del desarrollo de nuevos productos o bienes intermedios.

Romer (1990) desarrolla un modelo en el que el crecimiento en el largo plazo depende de la inversión en I+D, poniendo las bases para el desarrollo posterior de trabajos de este tipo. Se modeliza el cambio tecnológico por medio de la aparición de nuevos (aunque no necesariamente mejorados) productos o variedades de productos, proceso a través del cual se genera crecimiento en la productividad. Así, la tasa de crecimiento del PIB depende directamente del grado de variedades de producto en el mercado. Las innovaciones en esta economía resultarían de las investigaciones e inversiones de un sector emprendedor o de I+D, cuya motivación es la de captar rentas monopolísticas derivadas de dicha innovación. Esto pone de relieve el papel de los *spillovers* tecnológicos, entre los que estarían, según Jones y Vollrath (2013), la reducción de los costes de la investigación, la aparición de mejores bienes intermedios, o la contención en los salarios pagados en las actividades de I+D, entre otros.

Este modelo tiene una serie de limitaciones, entre las cuales la principal es que trata un solo tipo de innovación, la de producto, además de que no concibe el papel del dinamismo económico que la innovación supone. Así, los productos, una vez lanzados en el mercado, permanecen en él para siempre, al igual que las empresas que los fabrican. Dicho de otro modo, no le da un papel relevante a las constantes entradas y salidas, a la obsolescencia² de los productos, por lo que no hay lugar para la destrucción creativa.

2.1.2. Aghion y Howitt y los modelos de crecimiento schumpeteriano. El paradigma de la destrucción creativa

Otra línea de investigación que incorpora la innovación tecnológica como motor del crecimiento es la iniciada por Aghion y Howitt (1992). A pesar de las similitudes que presenta con el de Romer (1990), el modelo difiere porque se introduce no sólo que el nuevo producto pueda ser mejor que el anterior, sino que tanto nuevos productos como empresas sustituyan a los antiguos productos y fabricantes, apropiándose de las rentas monopolísticas de las que estos disfrutaban. En otras palabras, se trata de un modelo con destrucción creativa, donde las empresas innovadoras buscan ganar la “carrera por la patente”. Las rentas del monopolio de este modo no serán más que “...*el premio ofrecido por la sociedad capitalista al innovador exitoso...*” (Schumpeter, 1942:102).

² De hecho, Deneckere y Judd (1986) demostraron que en este modelo, con introducción de depreciación en el capital, el crecimiento se vería ampliamente recortado.

En la modelización, sin embargo, hay un fuerte componente probabilístico, ya que la mejora tecnológica tiene una probabilidad de tener lugar en cada instante del tiempo que depende de la intensidad con la que se investiga. Por ello, la innovación es una actividad que depende de incentivos, ya que cuanto mayor sea la posibilidad de rentabilizar el gasto en I+D realizado, a través de una patente posterior, mayor será la intensidad con la que se innova en la economía.

En la economía planteada por el modelo se producen 2 tipos de bienes: de consumo e intermedios. Existe además un tercer sector, el de la investigación, clave para el desarrollo tanto de nuevos bienes intermedios como para de la mejora de los actuales. Así, cada innovación consiste en la invención de una nueva línea de bienes intermedios, que contribuyen a una producción más eficiente de los bienes finales. Son lo que en Aghion, Akcigit y Howitt (2013) se denomina *General-Purpose Technologies*, como por ejemplo, el motor de vapor, la electricidad, o más recientemente, las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

El innovador no mantiene la propiedad de la idea, vende la patente al sector de bienes intermedios a cambio de unas rentas. En el modelo, la patente sólo cubre al sector de bienes intermedios y garantiza al poseedor el derecho exclusivo de producir dicho bien, durante un intervalo temporal infinito, pero que en la práctica finaliza con la aparición de la siguiente innovación.

Los incentivos tienen un papel clave en el modelo, puesto que las empresas innovan para generar una patente que les conceda acceso a estas rentas monopolísticas. De este modo, la intensidad con la que las empresas investigan estará en función del tamaño de estas rentas monopolísticas. En este sentido, la lección que se puede extraer es que es necesario un mínimo de poder de mercado para que existan incentivos a la innovación.

Estos mismos incentivos también provoca que las empresas entrantes, deseosas de generar una patente que les garantice rentas de monopolio, sean las que presenten las innovaciones más radicales. Del mismo modo, este hecho es el desencadenante en el modelo de la destrucción creativa, amplificado por lo que en Aghion y Howitt (1992) se denomina *business-stealing effect* o efecto robo de negocio. El efecto básicamente consiste en que el innovador entrante no internaliza la pérdida de excedente del monopolista establecido. Si además se relaciona este efecto con el poder de mercado, cuanto mayor sea este último, mayor será el *business-stealing effect*.

En el modelo no hay *spillovers* contemporáneos en el sector de la investigación (lo que dificulta la copia inmediata por parte de los competidores), si bien los innovadores presentes pueden aprovechar de la investigación realizada en el pasado, cuyo *spillover* permanece para la sociedad.

2.1.3. Innovación e imitación en la teoría schumpeteriana del crecimiento

Aghion, Akcigit y Howitt (2013), siguiendo los trabajos de Aghion, Harris y Vickers (1997), Aghion, Harris, Howitt y Vickers (2001) y Acemoglu y Akcigit (2012)

entre otros, relajan el supuesto de que cuando se introduce un nuevo producto en el mercado, desplaza automáticamente y expulsa al producto ya establecido. Para ello, introducen la posibilidad de que una innovación pueda ser menos radical, distinguiendo entre innovación radical o *leapfrogging innovation* y pequeñas mejoras, micro-inventiones (Mokyr, 2005:10) o *step-by-step innovations*.

El mecanismo mediante el que se modifica el modelo consiste en permitir que una empresa pueda estar varios pasos por detrás del líder de su sector o industria, de modo que tras desarrollar un nuevo producto, pueda acercarse al líder sin llegar a superarlo. Este supuesto de innovación paso a paso puede interpretarse considerando que cuando el líder innova genera un conocimiento tácito que no puede ser copiado por el rival sin que este emprenda e invierta en sus propias investigaciones para desarrollar su versión. Este planteamiento conduce a una forma más rica de relación entre innovación y crecimiento, en la que en algunos casos la empresa a la vanguardia lidera un “pelotón de cabeza” en el que los competidores se sitúan relativamente cerca del líder (*neck-and-neck*), mientras que a las empresas más alejadas del líder les basta con imitarlo para avanzar.

Cuando este planteamiento se extiende al ámbito país, la lógica reside en que las innovaciones de un país con frecuencia descansan en las realizadas por otro, es decir, el proceso de difusión o *spillover* tecnológico es un factor importante a la hora de explicar la convergencia tecnológica y en los niveles de vida entre países. Howitt (2000) mostró que un país que comienza estando bastante por detrás del nivel tecnológico del referente puede registrar una tasa de crecimiento mayor a la de los países se encuentren más cerca de la frontera tecnológica, dado que el país más rezagado hará un avance hacia la frontera mayor en tanto sus sectores convergen hacia ella. Este fenómeno es el que en la literatura se ha denominado “ventaja del atraso” y, siguiendo a Acemoglu, Aghion y Zilibotti (2006), surge porque la adopción e imitación de tecnología existente es una actividad de explotación relativamente sencilla en relación a la innovación, pero cuyo efecto se va diluyendo conforme el país se acerca a la frontera tecnológica.

La consecuencia más clara es que, conforme la economía se acerque a la frontera, esta deberá apoyarse más en políticas e instituciones que conduzcan y faciliten la innovación en lugar de favorecer la imitación. De este modo, la teoría schumpeteriana ofrece un marco que apoya la idea de que las políticas e instituciones más adecuadas para el crecimiento pueden depender del nivel tecnológico del país. Este hecho es conocido como relatividad tecnológica.

Aghion, Akcigit y Howitt (2013), tomando algunos conceptos introducidos por Acemoglu y Robinson (2013) en su libro *Por qué fracasan los países*, introducen la noción de instituciones adecuadas para el crecimiento, si bien, la idoneidad de una u otra institución dependerá no sólo del contexto del país, sino, una vez más, de su posición con respecto de la frontera tecnológica. Una de estas instituciones es la competencia, ya que generalmente, en industrias donde la competición es más intensa, las empresas dependerán más de la actividad innovadora para sostener su posición en el

mercado. Entre las demás instituciones citadas en el trabajo están la democracia, el sistema financiero, la política comercial, y sobre todo, la educación, que será tratada en el apartado 2.3, donde se consideran trabajos que aportan evidencia de que las instituciones tienen un diferente efecto según el estado de la tecnología.

2.2. CAPITAL HUMANO Y CRECIMIENTO

Son varias definiciones las que se han dado para el capital humano y ninguna de ellas se puede considerar universalmente aceptada. Para la OCDE (2013), el capital humano es el conjunto de conocimientos y habilidades adquiridas por la fuerza de trabajo a través tanto de la educación como de la experiencia, una mezcla de aptitudes y habilidades innatas y adquiridas. Acemoglu y Autor (2011), en la misma línea que la OCDE, consideran el capital humano como un *stock* de conocimientos innatos y/o adquiridos que contribuyen a la productividad del trabajador. La preocupación en establecer el grado de importancia del capital humano en el éxito económico de un país no es un tema de debate nuevo en economía, pero coincidiendo con el impulso a principios de los 90 de la teoría del crecimiento endógeno, el análisis de regresión comienza a registrar un número creciente de investigaciones que tratan de revelar una relación clara entre el capital humano y la tasa de crecimiento económico de un país.

En este sentido, la mayoría de los trabajos recientes citan como base de sus desarrollos las aportaciones realizadas por Krueger y Lindahl (2001), aprovechando el enfoque introducido por Mincer (1974) en su función de ganancias salariales del capital humano. La idea principal detrás de este enfoque es que el nivel educativo de un país es el principal determinante del crecimiento en los ingresos. Krueger y Lindahl adaptan este modelo, explicando el PIB⁴ en función de los años de estudio. De este modo, el parámetro asignado a la variable años de estudio se puede interpretar como la tasa de retorno de la educación. El fundamento que sustenta esta relación es que por medio de la educación, la fuerza de trabajo pueda desarrollarse y adoptar tecnología existente (Nelson y Phelps, 1966) o incluso crear tecnología nueva (Benhabib y Spiegel, 1994), contribuyendo al progreso tecnológico y afectando de este modo la tasa de crecimiento.

Llevando estas ideas al terreno del crecimiento económico, Krueger y Lindahl afirman que no sólo el nivel educativo es importante para explicar el crecimiento del producto, sino que, debido a que el cambio tecnológico tiene sesgo hacia el conocimiento-habilidad (*skill-biased*), es clave en economías cuyo patrón productivo esté enfocado a actividades intensas en innovación. La educación, por tanto, puede justificarse como un bien generador de externalidades mucho más allá de su tasa de retorno privada.

En línea con estas ideas, en el modelo de Romer (1990) pueden hallarse ciertas proposiciones a tener en cuenta a la hora de analizar el impacto del capital humano en

⁴ Los resultados de la estimación, según comentan los autores, serán bastante similares, se use el PIB en términos absolutos o en términos per cápita, pese a que el segundo uso está mucho más extendido en la literatura.

el crecimiento. Una de las principales evidencias de su trabajo es la relación entre el nivel educativo inicial (el número de individuos literatos) como predictor del crecimiento: importa el nivel inicial del capital humano más que el cambio en el mismo, lo que según Topel (1999) puede deberse a la especificación en logaritmos de la educación. Otra idea fundamental es que la educación secundaria y la terciaria tienen, en general, mayor potencial explicativo del nivel y crecimiento del PIB que la educación primaria. Esta idea es desarrollada por Heckman y Klenow (1997) en una modificación macro de la ecuación salarial de Mincer.

Romer (1990), Benhabib y Spiegel (1994) y Barro y Sala i Martín (1995), introducen el nivel inicial de educación como regresor, llegando a la conclusión de que el cambio en los años de educación tiene un efecto escasamente significativo en la explicación del crecimiento económico. No obstante, el interés de estos autores por la convergencia económica hace que introduzcan en muchos casos también como regresores el nivel inicial de PIB o el *stock* inicial de capital. Sin embargo, cuando el capital se excluye de la ecuación como regresor, el cambio en la educación tiene un efecto además de positivo, estadísticamente significativo, tanto en términos absolutos como si se especifica en logaritmos.

Del mismo modo, las estimaciones de Krueger y Lindahl ven reducidas en un 50% su cuantía si regresores como el incremento en el *stock* de capital son incluidos⁵, pese a que dichas estimaciones sigan manteniéndose estadísticamente significativas. Aquí, sin embargo, puede existir un cierto *trade-off*, ya que mantener el término del cambio en el *stock* de capital (en logaritmos) puede ser interesante para experimentar con la complementariedad entre capital físico y humano: los países podrán atraer más inversión si mejoran su nivel de capital humano, por lo que parte de los rendimientos del capital pueden atribuirse a este último factor. Además, si el valor del parámetro asignado al capital se restringe a su peso en la renta nacional, los cambios en los años de educación pasan a manifestar una relación positiva con el nivel y crecimiento del *output*.

Acemoglu y Autor (2012) volviendo a la ecuación de Krueger y Lindahl, estiman una regresión para el crecimiento, en periodos comprendidos entre 10 y 20 años. Aparte de mantener el PIB inicial (parámetro de “convergencia”) y los años de estudio inicial⁶, introducen un “índice” de complejidad de tareas, definido como la fracción del empleo repartida entre ocupaciones profesionales, técnicas y de *management*. Los autores plantean 8 especificaciones distintas de esta ecuación, teniendo un especial interés la que permite la interacción entre las variables del índice de complejidad y los años de estudio. La especificación distingue entre un nivel educativo agregado, con estimaciones relevantes, y distintos niveles educativos, encontrando estimaciones bastante significativas (cuantitativa y estadísticamente) en la interacción del índice de complejidad con los años de estudio post-secundarios.

⁵ Especialmente si no se restringe el valor del parámetro al peso del capital sobre la renta nacional.

⁶ Permite la posibilidad de que, si su estimador excede de cero, la acumulación de capital humano facilite la innovación y el uso de nuevas tecnologías que contribuyan a expandir el *output*.

Alejándose del enfoque de Krueger y Lindahl, De la Fuente y Doménech (2006) retomando una discusión ya enunciada por ellos, amplían el concepto de capital para incluir el capital humano en el mismo. Así, el crecimiento económico, en última instancia, procedería de la acumulación de capital humano, en términos de Lucas (1988). Otros autores como Sala i Martín (2000), siguiendo otro enfoque, introducen el capital humano como elemento que incrementa la eficiencia del factor trabajo⁷. Benhabib y Spiegel (1994) no hallaron evidencia de coeficientes significativos para el capital humano cuando se considera como tercer factor en la función de producción.

Acemoglu y Autor (2012), también tomando como base un modelo del tipo Solow ampliado con capital humano y rendimientos constantes a escala, emplean una medida agregada del capital humano como unidades de trabajo eficiente. No obstante, el uso de funciones de producción agregadas, y de medidas de capital humano que no distinguen entre trabajo poco, medianamente y altamente cualificado, pueden llevar a estimaciones poco precisas en su contribución al nivel y crecimiento del producto.

2.3. TEORÍA SCHUMPETERIANA, CAPITAL HUMANO Y RELATIVIDAD TECNOLÓGICA. DISTINTOS EFECTOS PARA DISTINTOS PAÍSES

Según Aghion y Howitt (2013), la acumulación de capital humano es una fuente de crecimiento, si bien existen en la práctica casos de países que han crecido no acumulando más, sino mejor capital humano, aumentando la calidad del *stock* disponible. Hasta hace pocos años, no había una respuesta clara entre los expertos sobre qué signo tiene el efecto del capital humano sobre el nivel y crecimiento del producto, más aún cuando la pregunta se limitaba a países ricos e industrializados. Así, que no se hallara evidencia de efecto positivo fue, según Vandembussche, Aghion y Meghir (2006) y Hanushek y Woessmann (2007) debido a que no se tuvo en cuenta que el tipo de educación es la que rinde más a la hora de impulsar el cambio tecnológico es la terciaria. Este hecho pudo ser consecuencia del uso de un indicador agregado del nivel educativo, en vez de hacer una distinción entre los niveles primario, secundario y terciario⁸.

Según estos mismos autores, manteniendo la composición del capital humano constante, un aumento en el nivel genera efectos beneficiosos sobre el crecimiento. Sin embargo, cuando se hace distinción entre distintos niveles educativos, el efecto del capital humano pasa no sólo a ser significativo, sino que además, dependiendo de en qué posición se encuentre el país con respecto de la frontera tecnológica, el efecto será

⁷ Se podría hablar de unidades de trabajo “eficientes”

⁸ La división educativa (por niveles) es la empleada en la Clasificación Internacional Normalizada de la Educación (CINE) desarrollada por la UNESCO, cuya primera versión data de 1976. Su última revisión fue la del año 2011.

Esta clasificación introduce un marco y una metodología que facilita la comparación internacional entre países y programas educativos. La educación primaria comprendería los niveles CINE 0 (pre-escolar) y 1 (primaria); la secundaria los niveles 2 (secundaria) al 4 (post-secundaria no terciaria) y la terciaria a los niveles 5 (primer ciclo de educación terciaria, no conduce directamente a una cualificación avanzada) a 6 (segundo ciclo de educación terciaria, que conduce directamente a una cualificación avanzada). El resumen completo de esta clasificación puede consultarse en <http://goo.gl/Ho5ErP>.

distinto. Así, cuanto más cercano a la frontera se encuentre el país, mayor será el efecto sobre el crecimiento de una mejora en la educación terciaria, asumiendo que el cambio técnico, en términos de Acemoglu y Autor (2012:427) tiene “*sesgo hacia el conocimiento*”, ya que los sectores del país dependerán en mayor medida de la innovación para competir. Todo lo contrario sucede cuando el país se encuentra relativamente lejos de la frontera tecnológica; su modelo productivo se basará en la imitación, por lo que se verá beneficiado más en las mejoras en los dos primeros niveles educativos que en el terciario.

Siguiendo este hilo argumental, la posición relativa con respecto a la frontera tecnológica juega un papel importante en cuanto a qué tipo de modelo económico está favoreciendo el país en cuestión; imitación o innovación. Basándose en la idea original de Nelson y Phelps (1966), Benhabib y Spiegel (1994) probaron una versión del modelo de los primeros, observando que un mayor *stock* de capital humano no sólo favorece la convergencia o *catch-up* con la frontera tecnológica, sino que facilita la adopción de tecnologías más avanzadas. De aquí se podrían sacar ciertas interpretaciones; según Aghion, Boustan, Hoxby y Vandenbussche (2009), la inversión en educación terciaria podría ser contraproducente en países lejanos a la frontera tecnológica, puesto que, la productividad de la mano de obra con mejor formación es mayor en países más cercanos a la frontera, donde en general, percibirán mayores salarios, razón por la cual, los trabajadores más formados acabarán migrando a estos países.

De estas proposiciones se pueden extraer algunas lecciones. La primera es que el efecto *catch-up* en economías avanzadas es limitado, por lo que la parte del cambio tecnológico que puede explicar la contribución de la mano de obra menos cualificada es muy pequeña. Esto no quita que los autores también hablen de asignaciones; si un país dispone de mucha mano de obra poco cualificada (respectivamente cualificada), se especializará en imitación (respectivamente innovación). Si la dotación factorial se toma como dada, la decisión de imitar o innovar dependerá de la posición relativa del país con respecto de la frontera tecnológica. Una segunda idea es que la educación juega papeles diferentes según el nivel de desarrollo alcanzado por un país, y puede ser, en buena medida, factor explicativo de distintas trayectorias económicas.

La tercera idea es que, conforme avanza el desarrollo económico, más importante se vuelve la selección, especialmente a nivel empresarial. Los autores, recogiendo un trabajo de Acemoglu, Aghion y Zilibotti (2006) suponen que la refinanciación de los *managers* antiguos o establecidos fomenta la inversión a largo plazo y la imitación, mientras que dar paso a nuevos y más cualificados y talentosos *managers* incentiva la innovación. De este modo, las economías que dilatan demasiado en el tiempo el salto a una estrategia innovadora se estancan.

En términos empíricos, Vandenbussche, Aghion y Meghir (2006) desarrollan un estudio en el cual la posición relativa de un país respecto a la frontera tecnológica determina el efecto de la educación en la evolución de su tecnología. La variable dependiente escogida para explicar esta relación es el crecimiento en la Productividad

Total de los Factores (PTF). La medida de proximidad a la frontera⁹ que utilizan estos autores es el ratio entre la PTF del país considerado y la del referente (EE.UU.).

El concepto de PTF es un elemento imprescindible para explicar el trabajo de estos últimos autores. Por simplificación y asumiendo un modelo tipo Solow, la PTF es la proporción de la renta que no explican los restantes factores empleados en el proceso productivo (generalmente, capital y trabajo), el denominado progreso técnico (Solow, 1957:312) o residuo de Solow. Este elemento es clave para explicar tanto el producto como su tasa de crecimiento (Sala i Martín, 2000), quedando su nivel determinado por cómo de intensa y eficientemente se combinan los factores, lo que responde a mejoras en el capital humano, (por la educación o la experiencia), en innovación (de producto, de procesos, organizativas), etc.

En una primera especificación, Vandenbussche, Aghion y Meghir (2006) relacionan el crecimiento en la PTF con la proximidad a la frontera tecnológica, el porcentaje de población con estudios superiores y la interacción entre ambas variables (todas ellas, retardadas un periodo). Sus resultados evidencian un efecto bastante significativo para el porcentaje de educación con estudios superiores en países más cercanos a la frontera. En una segunda especificación, la variable porcentaje de educación con estudios superiores es sustituida por los años de estudio en cada nivel educativo, hallando en la estimación una relación muy significativa entre la interacción de años de educación terciaria con la proximidad a frontera tecnológica.

La conclusión del estudio es clara: cuanto más cerca esté un país de la frontera tecnológica, más dependerá de la innovación para hacer progresar su tecnología, lo que implica que, en principio, el efecto del capital humano cualificado es mayor cuanto más cerca se encuentre el país del referente tecnológico, contando con una mayor significatividad las especificaciones en porcentajes que en años para las variables educativas.

Acemoglu, Aghion y Zilibotti (2006) introducen en su análisis la relación entre barreras (trabas a la apertura de nuevos negocios, principalmente, entrando en forma de *dummy*) y la proximidad a la frontera, definida en esta ocasión como el ratio entre el PIB per cápita del país *j* con respecto al de EE.UU. en el año inicial, los parámetros asignados a dichas relaciones (de la frontera con un nivel alto y uno bajo de trabas, respectivamente) constituyen coeficientes de convergencia. De este modo, una estimación negativa para los países que imponen un número alto de barreras implica que estos países tienen un desempeño relativamente bueno lejos de la frontera, pero que empeora según se sitúen cerca de la misma, existiendo una relación negativa entre proximidad a la frontera¹⁰ y crecimiento para los países con grandes barreras, dificultando su convergencia según estos se acercan a la frontera. Si en el modelo se

⁹ Esta medida expresa de forma intuitiva, cómo de eficientemente se combinan los factores con respecto a EE.UU., o visto de otra forma, qué proporción del progreso técnico norteamericano se ha conseguido alcanzar. El apartado 3.2.2 del capítulo 3 proporciona una definición más extensa de este concepto.

¹⁰ En este caso, su medida de proximidad a la frontera es más un indicador de convergencia económica, al tratarse de un cociente de PIB, entre el país en consideración y uno de referencia (EE.UU.).

introducen los años de estudio recogidos en las tablas de Barro y Lee (2014), el patrón permanece inalterado.

3. CAPITAL HUMANO, PIB PER CÁPITA Y PROXIMIDAD A LA FRONTERA. UN ANÁLISIS EMPÍRICO

3.1. HIPÓTESIS Y METODOLOGÍA

El capital humano es un factor clave para la actividad investigadora-innovadora y como consecuencia, tiene una gran trascendencia para generar crecimiento económico a través de la destrucción creativa. Además, las necesidades de capital humano y su efecto sobre el crecimiento son distintos en función de la intensidad con la que las actividades tecnológicas se vinculen a la innovación o a la imitación. Es por esta razón por lo que la distancia a la que un país se encuentra con respecto de la frontera tecnológica debe ser tomada en cuenta a la hora de cuantificar el impacto del capital humano en el crecimiento, ya que no es lo mismo acercarse a la frontera (imitar) que dejarla atrás (innovar).

Siguiendo esta visión schumpeteriana de la relación entre capital humano y crecimiento, las hipótesis que se pretende validar a continuación son:

1. La educación tiene un efecto positivo sobre la renta per cápita de los países.
2. Los diferentes niveles educativos afectan de forma distinta al nivel de vida de los países, teniendo un impacto diferenciado en función de qué posición relativa con respecto a la frontera ocupa el país.

El análisis de regresión constituye un método adecuado para considerar estas hipótesis, por lo que será el método elegido. La metodología básica a aplicar es la de realizar un análisis de regresión al estilo de Krueger y Lindahl (2001), donde se relaciona el crecimiento del PIB per cápita con los años de educación totales y el nivel inicial del PIB per cápita. No obstante, esto significa no segmentar la duración de los estudios por niveles educativos. Por su parte, Acemoglu, Aghion y Zilibotti (2006) realizan un análisis similar, aunque considerando el porcentaje de la población con estudios superiores, por lo que deja de lado la contribución que porcentajes de población con niveles educativos bajos y medios tienen en la renta per cápita.

El modelo que se va a estimar trata de recoger el diferente impacto de la educación en el PIB per cápita, considerando además que estos rendimientos no son homogéneos según el nivel tecnológico del país, medido por la proximidad a la frontera tecnológica. De este modo, el modelo trata de proveer evidencia sobre aspectos muy poco tratados a nivel empírico.

3.2. DATOS Y VARIABLES

A continuación se presenta la información que se ha utilizado para contrastar las hipótesis planteadas.

3.2.1. PIB per cápita en paridad del poder adquisitivo (PPA)

La variable dependiente empleada en este trabajo es el PIB por habitante en paridad del poder adquisitivo (PPA) o paridad del poder de compra (PPC), en dólares PPA de 2005. La PPA es básicamente, según la OCDE (2015), el tipo de cambio o el factor de conversión que equipara el poder adquisitivo de distintas divisas, eliminando diferencias de precios y fluctuaciones en la cotización de las divisas entre los países, lo cual constituye el principal interés de esta medida. Este factor de conversión, más allá de sus fases de cálculo¹¹, expresa el número de unidades de divisa nacional necesarias para adquirir una cesta representativa de bienes y servicios en términos de los dólares que serían necesarios en EE.UU. para adquirir esta misma cesta. El uso de este indicador se encuentra bastante extendido entre organismos internacionales tales como el Banco Mundial, la Unión Europea o la OCDE.

3.2.2. Proximidad a la frontera tecnológica

La proximidad a la frontera tecnológica mide el desempeño relativo de un país con respecto a otro considerado referente (EE.UU.). Es, en otras palabras, el cociente entre el valor registrado de una variable para un país entre el valor observado para esa misma variable en EE.UU., ambas en mismo momento. En Vandebussche, Aghion y Meghir (2006) esta proximidad se mide como un ratio de PTF, por lo que en términos generales, la comparación se haría en términos de cómo de eficientemente se combinan los factores en la economía considerada con respecto al referente. Aghion, Akcigit y Howitt (2013) emplean el cociente entre los logaritmos del PIB per cápita, una medida de más sencilla obtención, que no precisa del cálculo de la PTF pero que no cuenta con todo su potencial explicativo, además de que puede estar más sesgada¹². En el presente trabajo, la medida empleada será la primera, a fin de reflejar el papel que juega la educación en las diferencias en PTF.

3.2.3. Capital humano

No hay consenso a la hora de qué medida puede capturar mejor los aspectos más cualitativos que cuantitativos del capital humano, como su calidad, por ejemplo. En la literatura tradicionalmente se suele usar la duración (en años) de los estudios, o el nivel educativo más alto alcanzado por la población (en porcentajes sobre el total) como

¹¹ Cuya metodología se explica en el manual elaborado conjuntamente por la Unión Europea y la OCDE (2012) recogido en la bibliografía, también disponible en <http://goo.gl/s2cohq>.

¹² Al tratarse de un ratio de PIB per cápita, puede estar sujeto a no reflejar bien la medida de proximidad a la frontera. No se ha de olvidar que al fin de al cabo el PIB per cápita es una división, por lo que un país con escasa población y PIB relativamente bajo (incluso con uno alto) pueden derivar en un PIB per cápita alto. Países como Qatar, Noruega o Luxemburgo podrían estar hasta 3-4 veces por encima de la frontera (EE.UU.).

proxy de dicha calidad. En el primero de los casos, ya se ha comentado la serie de problemas que acarrea estimar la contribución de la educación al crecimiento o al nivel de PIB per cápita usando una medida agregada y no una segmentada del nivel educativo. Además, autores como Aghion, Hoxby, Boustan y Vandenbussche (2009) consideran este un indicador sesgado, puesto que un año de programa de pos-grado se valora igual que un año adicional de educación primaria, por ejemplo. En lo referido al capital humano, el modelo que se desarrolla recoge varias de las ideas ya presentadas en el capítulo 2, y de acuerdo con las hipótesis de partida, se segmentarán porcentajes de población y años de estudio en función de los distintos niveles educativos, para comprobar no sólo qué efecto tiene un determinado nivel educativo en la renta per cápita, sino además si el efecto es distinto dependiendo del tipo de país.

3.2.4. La muestra

Se ha construido una base de datos para un total de 78 países, referida al periodo 1975-2010. Se ha buscado alcanzar un conjunto lo más heterogéneo posible (países desarrollados, en desarrollo y subdesarrollados), a fin no sólo de alcanzar conclusiones y obtener resultados más extrapolables, sino además, debido a que las hipótesis que el trabajo plantea exigen que dicha muestra sea lo más diversa posible. Por ello, sólo se han excluido aquellos países para los que no se dispone de información para el periodo considerado sobre las variables necesarias para contrastar las hipótesis que se han planteado.

La relación de países utilizados para realizar las estimaciones se encuentra en el Anexo 1, e incluye países OCDE, naciones que cuentan con un creciente peso en el escenario y la economía internacional (p.ej.: China), que destacan dentro de su ámbito regional (sobresale en el caso africano Botswana), que son referentes en tecnología (p.ej.: Japón o Taiwán), o que año tras otro, cosechan unos resultados educativos espectaculares (p.ej.: Corea del Sur o Finlandia).

El resultado final es un panel con 8 variables para cada uno de los 78 países, en un total de 7 periodos temporales, reflejado en la tabla 3.1. Dichas variables son: PIB per cápita, proximidad a la frontera tecnológica, años de estudio en educación primaria, secundaria y terciaria y porcentajes de población según el nivel educativo más alto alcanzado (hasta primaria, secundaria y terciaria), ambas empleadas como *proxy* de la calidad del capital humano. La variable población sin estudios ha sido omitida en este modelo. Los datos de PIB per cápita y distancia a la frontera se han obtenido de las Penn World Tables (PWT) 8.0, aprovechando la amplia cobertura de países y gran variedad de medidas que ofrece esta base de datos. La información sobre la duración promedia de los estudios y de los porcentajes de población según nivel educativo (en términos totales y desagregados para cada nivel educativo) proceden de la base de datos de Barro y Lee (2013), utilizando la versión de dichas tablas calculadas para población mayor de 15 años, según un determinado nivel de estudios finalizados. La metodología empleada en el cálculo de estas medidas se recoge en Barro y Lee (2013).

Las observaciones del resto de las variables se expresan en términos promedios (para cada 5 años), buscando homogeneizar el resto de variables (observaciones anuales) con las variables educativas obtenidas de Barro y Lee (2013).

Tabla 3.1: Media y desviaciones típicas de las variables

Variable	Media	Desviación típica
PIB per cápita	8,95	1,14
Proximidad a la frontera tecnológica	0,72	0,31
· Duración promedio de los estudios:		
Primarios	4,43	1,45
Secundarios	2,37	1,31
Terciarios	0,35	0,28
· Porcentaje promedio de la población con:		
Educación primaria finalizada	0,20	0,10
Educación secundaria finalizada	0,19	0,12
Educación terciaria finalizada	0,06	0,05

3.3. EL MODELO EMPÍRICO

Una vez definidas las variables, en este apartado se presentan las ecuaciones por medio de las cuales se tratará de someter a contraste las hipótesis de este trabajo. Se emplearán 4 especificaciones distintas, en las cuales, se trata de explicar el PIB per cápita en función de la educación (utilizando las medidas descritas en 3.2) y la distancia a la frontera:

$$y_{j,t} = \beta_0 + \beta_1 y_{j,t-1} + \beta_2 FT_{j,t} + \beta_3 PrYS_{j,t} + \beta_4 SeYS_{j,t} + \beta_5 TeYS_{j,t} + \varepsilon_t \quad (1)$$

$$y_{j,t} = \beta_0 + \beta_1 y_{j,t-1} + \beta_2 FT_{j,t} + \beta_3 FT_{j,t} PrYS_{j,t} + \beta_4 FT_{j,t} SeYS_{j,t} + \beta_5 FT_{j,t} TeYS_{j,t} + \varepsilon_t \quad (2)$$

$$y_{j,t} = \beta_0 + \beta_1 y_{j,t-1} + \beta_2 FT_{j,t} + \beta_3 PPSA_{j,t} + \beta_4 PSSA_{j,t} + \beta_5 PTSA_{j,t} + \varepsilon_t \quad (3)$$

$$y_{j,t} = \beta_0 + \beta_1 y_{j,t-1} + \beta_2 FT_{j,t} + \beta_3 FT_{j,t} PrYS_{j,t} + \beta_4 FT_{j,t} SeYS_{j,t} + \beta_5 FT_{j,t} TeYS_{j,t} + \varepsilon_t \quad (4)$$

Donde $y_{j,t}$ es el PIB per cápita (medido en logaritmos), $FT_{j,t}$ es la proximidad a la frontera del país j , $PrYS_{j,t}$, $SeYS_{j,t}$ y $TeYS_{j,t}$ son los años de educación primaria, secundaria y terciaria respectivamente y $PPSA_{j,t}$, $PSSA_{j,t}$ y $PTSA_{j,t}$ son los porcentajes de población cuyo nivel educativo más alto es la educación primaria, secundaria y terciaria finalizada, por ese mismo orden. Como ya se ha explicado, todas las variables se expresan en términos promedios para un periodo de 5 años. La introducción del retardo en la variable dependiente conlleva a que en la práctica sólo se estén empleando 6 periodos.

La especificación (1) recoge el efecto “puro” tanto de los años de estudio como de la proximidad a la frontera tecnológica la hora de explicar el PIB per cápita. La base de esta modelización es la ecuación “macro-minceriana” adaptada por Krueger y Lindahl (2001), si bien, en este caso, se ha optado por segmentar los años de estudio en

distintos niveles educativos, como en Vandenbussche, Aghion y Meghir¹⁶ (2006). El coeficiente asociado a la variable dependiente retardada un periodo ($y_{j,t-1}$) busca determinar el peso del pasado inmediato (el promedio de los 5 años anteriores) a la hora de explicar la renta per cápita presente. El parámetro asignado a $FT_{j,t}$ se interpreta como la contribución realizada por la distancia a la frontera al *output* per cápita, o como el papel que en la renta por habitante desempeña la convergencia a la frontera tecnológica.

En (2) se introduce, de forma similar a Vandenbussche, Aghion y Meghir (2006), la interacción de $FT_{j,t}$ con los años de educación en cada periodo formativo, con el fin de determinar, mediante los parámetros resultantes de la regresión, el efecto de cada interacción sobre el PIB per cápita. En el caso de (3) y (4) se replica la estructura de (1) y (2), pero, en estos casos, intercambiando la duración de los estudios en cada nivel educativo por los porcentajes de población cuyo nivel educativo más alto es la primaria, secundaria o terciaria, tomando la idea expresada en Acemoglu y Autor¹⁷ (2012).

Dado que se dispone de 6 periodos para cada uno de los 78 países lo adecuado es plantear una metodología de panel. El modelo se ha estimado considerando un panel con efectos fijos como el modelo adecuado, lo que equivale a introducir una variable ficticia (*dummy*) que recoja el efecto fijo de cada país. Esto impide que en el modelo se introduzcan variables que permanezcan invariables en el tiempo, como podría ser por ejemplo, los valores iniciales del PIB, la distancia a la frontera o los niveles educativos iniciales.

3.4. LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS EMPÍRICO

Las 4 especificaciones del modelo han sido estimadas con el programa GRET (versión 1.10)¹⁸. Primero, se han considerado conjuntamente todos los países de la muestra y, después para profundizar en la idea de relatividad tecnológica, se ha dividido la muestra entre países más y menos avanzados tecnológicamente.

3.4.1. Estimaciones para la muestra total

La aplicación de la metodología de datos de panel conduce a plantear si el modelo adecuado es el de panel con efectos fijos o, por el contrario, el panel con efectos aleatorios. En ambos casos han de suponerse ciertas hipótesis sobre los errores; en el panel con efectos fijos, se considera que el error se descompone en una parte fija y constante para cada individuo (país) y otra aleatoria. Esto, en la práctica equivale a

¹⁶ El análisis se realizó para una muestra con observaciones anuales entre 1960 y 2000, contando una estimación de la PTF. En dicho trabajo, la variable dependiente es distinta (cambio en la PTF), además de que se agregan los años de educación primaria y secundaria en un solo regresor.

¹⁷ Esta especificación se presenta como parte de un modelo de tareas y habilidades, en la cual, se expresa la producción como resultado del porcentaje de trabajadores asignados en la tarea i , multiplicados por su productividad y por una tecnología A , distinguiendo entre trabajadores cualificados, medianamente cualificados y poco cualificados.

¹⁸ Este programa, de interfaz sencilla y con multitud de funciones y métodos de estimación y contraste puede ser descargado gratuitamente en gretl.sourceforge.net/.

estimar una constante distinta para cada país, es decir, hace necesario introducir una variable ficticia por país, suprimiendo una de ellas para evitar la colinealidad con la constante. En el modelo de efectos aleatorios, la constante invariante en el tiempo para cada individuo es sustituida por una variable aleatoria, ya que no hay certeza en cuál es el valor exacto de la constante para cada uno de ellos (Montero, 2011), lo cual sucede con frecuencia en muestras muy grandes.

Dicho esto, la pregunta que surge es qué modelo es el más adecuado. El modelo de efectos fijos permite obtener estimaciones consistentes y no conlleva tantas suposiciones sobre el comportamiento de los errores, mientras que el de efectos aleatorios puede llevar a una estimación de menor variabilidad. El programa GRETL ofrece, a partir de las estimaciones realizadas, una serie de contrastes a fin de determinar qué tipo de modelo es el adecuado. La estimación de panel con efectos fijos facilita un estadístico F para la significación conjunta de las variables ficticias añadidas; si el *p-value* asociado es pequeño, se rechaza la hipótesis nula de que un modelo estimado por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) es más adecuado que uno de panel con efectos fijos (contraste de efectos fijos por grupos).

En las estimaciones de panel con efectos aleatorios, se ofrecen dos estadísticos adicionales. El primero, el de Breusch-Pagan, que prueba la hipótesis nula de MCO contra efectos aleatorios, la cual se rechaza (en favor de efectos aleatorios), si el *p-value* que acompaña al estadístico es pequeño. El segundo de estos estadísticos es el de Hausman, en el cual se contrasta la hipótesis nula de efectos aleatorios contra efectos fijos, con lo cual, un *p-value* pequeño supone rechazar efectos aleatorios en favor de efectos fijos. La tabla 3.2 muestra los resultados de los contrastes para la muestra total.

Tabla 3.2: Test de especificación de la muestra total

Modelo	(1)	(2)	(3)	(4)
Media de la variable dependiente	8,946	8,946	8,946	8,946
Suma de cuadrados de los residuos	50,448	79,129	56,473	65,190
Estadístico F (5, 385) del contraste de significación conjunta de los regresores	337,085	268,443	292,910	243,444
<i>P-value</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Estadístico F (77, 385) del contraste de efectos fijos	1,3111	1,5426	1,4803	1,5189
<i>P-value</i>	0,0529	0,0045	0,0093	0,0060
Estadístico Breusch-Pagan (1 grado de libertad)	0,1637	0,6399	0,2883	0,3260
<i>P-value</i> Breusch-Pagan	0,6857	0,4237	0,5913	0,5680
Estadístico Hausman (5 grados de libertad)	56,29	60,59	54,36	62,26
<i>P-value</i> Hausman	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Como se puede apreciar, se rechaza un modelo estimado por MCO en favor de uno estimado por panel con efectos fijos (como se puede ver en el *p-value* asociado al contraste de efectos fijos). En segundo lugar, estadístico de Breusch-Pagan y de Hausman rechazan rotundamente un modelo de panel con efectos aleatorios contra MCO, con o sin variables ficticias, respectivamente. En conclusión, el modelo adecuado es el de panel con efectos fijos.

Tras realizar estos contrastes, de acuerdo con los resultados que éstos proporcionan, se asume un modelo de panel con efectos fijos como adecuado. La tabla 3.3, que se presenta a continuación, refleja los resultados de la estimación realizada para la muestra de 78 países definida en 3.2.4.

Tabla 3.3: Estimación de un panel con efectos fijos

Modelo		(1)	(2)	(3)	(4)
Descripción	Variable	Coef.	Coef.	Coef.	Coef.
Constante	β_0	5,7304 (27,05)	6,6761 (30,34)	5,8318 (26,21)	6,6006 (28,78)
Proximidad a la frontera tecnológica	FT	2,0443 (26,73)	0,7769 (5,76)	2,1416 (27,20)	1,2023 (9,74)
Logaritmo del PIBpc retardado un periodo	y_{-1}	0,0466 (2,10)	0,0500 (2,05)	0,0564 (2,39)	0,0585 (2,28)
· Duración promedio de los estudios:					
Primarios	$PrYS$	0,1890 (9,15)			
Secundarios	$SeYS$	0,2024 (6,63)			
Terciarios	$TeYS$	0,0281 (0,23)			
Interacción entre FT y $PrYS$	$FT*PrYS$		0,2859 (8,36)		
Interacción entre FT y $SeYS$	$FT*SeYS$		0,2041 (5,00)		
Interacción entre FT y $TeYS$	$FT*TeYS$		-0,2200 (-1,37)		
· Porcentaje promedio de la población con:					
Educación primaria finalizada	PSA			1,8113 (7,84)	
Educación secundaria finalizada	SSA			2,3177 (10,71)	
Educación terciaria finalizada	TSA			3,9942 (7,33)	
Interacción entre FT y PSA	$FT *PSA$				2,1937 (6,65)
Interacción entre FT y SSA	$FT *SSA$				2,8594 (9,65)
Interacción entre FT y TSA	$FT *TSA$				4,0017 (5,52)
Número de observaciones	N	468	468	468	468
R-cuadrado	R^2	0,9179	0,9016	0,9081	0,8940
Criterio de Akaike	AIC	451,647	536,470	504,444	571,625

Nota: El estadístico t asociado al parámetro figura entre paréntesis.

La primera especificación del modelo sugiere que alargar los periodos medios de educación primaria y secundaria tiene un efecto positivo sobre la renta per cápita de los países. Sin embargo, no parece existir tal efecto en el caso de la educación terciaria, por lo que la primera hipótesis sólo se verifica parcialmente. En la segunda especificación, las interacciones entre años de educación y distancia a la frontera muestran un patrón

similar. Como resultado, no se encuentra evidencia a favor de que los años de educación terciaria adicionales afectan a la renta per cápita en una proporción mayor cuando el país está más próximo a la frontera. En Vandenbussche, Aghion y Meghir (2006) se obtienen unas conclusiones similares.

En la tercera especificación se aprecia que elevar el porcentaje de la población con cualquier nivel educativo situado por encima del nivel “sin estudios” afecta positivamente a la renta per cápita. De esta manera, se encuentra clara evidencia a favor de que la educación es relevante. Además, los coeficientes de los niveles educativos son crecientes, indicando que elevar el nivel educativo también importa.

La cuarta especificación sigue el mismo patrón, trasladado a las interacciones entre porcentajes de población por nivel educativo y distancia a la frontera tecnológica, proporcionando estas interacciones ventaja para la educación terciaria. Así, para el nivel medio de proximidad a la frontera (aprox. 0.72) se obtienen efectos de 1.87, 2.08 y 2.88 aproximadamente para los porcentajes de población con educación primaria, secundaria y terciaria finalizada, respectivamente¹⁹. Las especificaciones (3) y (4), por tanto, apoyan con claridad la hipótesis 1, y sostienen que para el conjunto de la muestra, cuanto más educada esté la población, mayor será la renta per cápita. Sin embargo, no hay evidencia clara para afirmar que la distancia a la frontera pueda generar que los distintos tipos de educación tengan un impacto diferenciado.

En las 4 especificaciones se puede apreciar un peso escaso del pasado inmediato (y_{-1}), y el efecto más importante en el resto de variables de control es el correspondiente a la distancia a la frontera, de lo que puede extraerse que los países más próximos a la frontera registran un mayor *output* por habitante. Del mismo modo, puede apreciarse cómo, cuando las interacciones están presentes, se reducen tanto los coeficientes estimados como la significación de la proximidad a la frontera como regresor.

3.4.2. Distintos países, distintos efectos. La relatividad tecnológica del capital humano.

Con la finalidad de hallar evidencia más clara sobre la hipótesis de relatividad tecnológica, se ha dividido la muestra en función del nivel tecnológico inicial, medido por la proximidad a la frontera en el periodo inicial (FT_0). El criterio utilizado ha consistido en agrupar a los países en función de si su distancia a la frontera en el periodo 1975-1980 era mayor o menor-igual que la mediana (aprox. 0.8125), obteniendo como resultado dos sub-muestras de 39 países cada una. La tabla 3.4 proporciona una descripción de ambas sub-muestras. Del mismo modo, las tablas 3.5 y 3.6 reflejan las estimaciones obtenidas.

¹⁹ Estos valores se calculan multiplicando la distancia a la frontera promedia para cada sub-muestra por la estimación obtenida para los parámetros β_3 , β_4 y β_5 en la especificación (4).

Tabla 3.4: Estadísticos descriptivos de las 2 sub-muestras

Sub-muestra	FT_0 mayor a la mediana		FT_0 menor o igual a la mediana	
Variable	Media	Desv. típica	Media	Desv típica
PIB per cápita	9,57	0,83	8,32	1,07
Proximidad a la frontera tecnológica	0,91	0,26	0,52	0,22
· Duración promedio de los estudios:				
Primarios	4,60	1,19	4,26	1,65
Secundarios	2,80	1,29	1,94	1,19
Terciarios	0,41	0,27	0,27	0,27
· Porcentaje promedio de la población con:				
Educación primaria finalizada	0,20	0,19	0,19	0,09
Educación secundaria finalizada	0,22	0,12	0,17	0,12
Educación terciaria finalizada	0,07	0,05	0,05	0,05

Para los países más cercanos a la frontera tecnológica se replican, en gran parte los resultados obtenidos para el conjunto de la muestra total para (1). En esta especificación, la primera hipótesis vuelve a verificarse sólo parcialmente, atendiendo a la escasa significatividad de los años de educación terciaria. En (2), pese a que la estimación obtenida para la interacción entre los años de educación terciaria y la distancia a la frontera sea positiva, esta vuelve a ser escasamente relevante, por lo que no se encuentra evidencia a favor de la hipótesis de relatividad tecnológica entre los países tecnológicamente más avanzados.

Para las especificaciones (3) y (4), los efectos de los porcentajes de población con estudios primarios y secundarios finalizados se reducen con respecto a los coeficientes obtenidos en la muestra total, y tienden a acercarse entre sí, mientras que el del porcentaje de la población con educación terciaria aumenta, especialmente en (4), cuando se consideran interacciones. Por lo tanto, la opción con un mayor impacto, si se busca aumentar la renta per cápita es un aumento en el porcentaje de población con educación terciaria, siguiendo el patrón sugerido por la hipótesis de relatividad tecnológica.

En el caso de los países más alejados de la frontera tecnológica, las especificaciones (1) y (3) indican que la educación tiene un efecto positivo sobre el PIB per cápita, y que esta contribución es creciente con el nivel educativo, tanto en forma de años de estudio adicionales como en el nivel educativo promedio de la población. Cuando se consideran las interacciones, en (2), el coeficiente obtenido para los años de educación terciaria no indica un rendimiento significativo para este nivel educativo en este tipo de países. Por otra parte, la elevación en el porcentaje de personas con cualquiera de los 3 niveles educativos en (4) arroja efectos similares, lo que es razonable teniendo en cuenta que esta sub-muestra la componen los países más alejados de la frontera.

Tabla 3.5: Países con una FT_0 superior a la mediana

Modelo		(1)	(2)	(3)	(4)
Descripción	Variable	Coef.	Coef.	Coef.	Coef.
Constante	β_0	6,0126 (13,25)	6,9177 (15,86)	5,9568 (12,07)	6,4648 (14,17)
Proximidad a la frontera tecnológica	FT	1,8239 (14,45)	0,7537 (4,58)	1,8160 (13,50)	0,9260 (5,70)
Logaritmo del PIBpc retardado un periodo	y_{-1}	0,0593 (1,29)	0,0753 (1,62)	0,1020 (2,10)	0,1309 (2,73)
· Duración promedio de los estudios:					
Primarios	$PrYS$	0,1920 (4,96)			
Secundarios	$SeYS$	0,1496 (3,36)			
Terciarios	$TeYS$	0,0669 (0,35)			
Interacción entre FT y $PrYS$	$FT*PrYS$		0,1973 (4,36)		
Interacción entre FT y $SeYS$	$FT*SeYS$		0,1406 (2,93)		
Interacción entre FT y $TeYS$	$FT*TeYS$		0,1582 (0,78)		
· Porcentaje promedio de la población con:					
Educación primaria finalizada	PSA			1,4337 (4,00)	
Educación secundaria finalizada	SSA			1,5733 (4,66)	
Educación terciaria finalizada	TSA			4,5877 (5,42)	
Interacción entre FT y PSA	$FT * PSA$				1,4819 (3,75)
Interacción entre FT y SSA	$FT * SSA$				1,7148 (4,85)
Interacción entre FT y TSA	$FT * TSA$				5,7209 (6,16)
Número de observaciones	N	234	234	234	234
R-cuadrado MCVF	R^2	0,8316	0,8306	0,8090	0,8189
Criterio de Akaike	AIC	249,154	250,477	278,570	266,069

Nota: El estadístico t asociado al parámetro figura entre paréntesis.

Tabla 3.6: Países con una FT_0 inferior o igual a la mediana

Modelo		(1)	(2)	(3)	(4)
Descripción	Variable	Coef.	Coef.	Coef.	Coef.
Constante	β_0	6,6276 (24,05)	7,2000 (21,39)	6,7936 (23,36)	7,1056 (21,10)
Proximidad a la frontera tecnológica	FT	2,0448 (13,35)	0,3331 (1,05)	2,3669 (16,26)	1,1263 (4,64)
Logaritmo del PIBpc retardado un periodo	y_{-1}	-0,0935 (-2,84)	-0,0324 (-0,84)	-0,0983 (-2,85)	-0,0397 (-1,03)
· Duración promedio de los estudios:					
Primarios	$PrYS$	0,1974 (8,33)			
Secundarios	$SeYS$	0,2316 (5,01)			
Terciarios	$TeYS$	0,4206 (2,42)			
Interacción entre FT y $PrYS$	$FT*PrYS$		0,3374 (6,12)		
Interacción entre FT y $SeYS$	$FT*SeYS$		0,3749 (4,23)		
Interacción entre FT y $TeYS$	$FT*TeYS$		-0,1836 (-0,60)		
· Porcentaje promedio de la población con:					
Educación primaria finalizada	PSA			1,9630 (6,97)	
Educación secundaria finalizada	SSA			2,7562 (8,49)	
Educación terciaria finalizada	TSA			5,0994 (6,77)	
Interacción entre FT y PSA	$FT*PSA$				3,8215 (6,74)
Interacción entre FT y SSA	$FT*SSA$				4,1518 (6,76)
Interacción entre FT y TSA	$FT*TSA$				3,9841 (3,34)
Número de observaciones	N	234	234	234	234
R-cuadrado MCVF	R^2	0,9238	0,8921	0,9196	0,8960
Criterio de Akaike	AIC	184,477	265,708	196,791	257,116

Nota: El estadístico t asociado al parámetro figura entre paréntesis.

De cara a comprobar si las estimaciones halladas hacen posible detectar evidencia a favor de la hipótesis de relatividad tecnológica, se han comparado las estimaciones obtenidas para ambas sub-muestras en las especificaciones (3) y (4), recogidas en las tablas 3.5 y 3.6. En la especificación (3), el impacto de los porcentajes de población con cualquiera de los niveles de estudios, es mayor en los países rezagados tecnológicamente. En cambio, de acuerdo con las interacciones reflejadas en la especificación (4) y teniendo en cuenta que las distancias a la frontera son distintas para cada sub-grupo, el efecto marginal de las variables educativas para el país “medio” de cada sub-muestra sigue manteniendo el patrón explicado para (3), salvo para el caso de la educación terciaria, donde el efecto de la educación terciaria es mucho mayor en los

países más cercanos a la frontera (5.21 contra 2.07 en los más rezagados). La tabla 3.7 recoge estos efectos marginales.

Tabla 3.7: Efectos marginales de cada nivel educativo

Descripción	Variable	Países con una FT_0 mayor a la mediana	Países con una FT_0 inferior o igual a la mediana
Primaria	$\overline{FT} * PSA$	1,3485	1,9871
Secundaria	$\overline{FT} * SSA$	1,5604	2,1589
Terciaria	$\overline{FT} * TSA$	5,2060	2,0717

Los resultados obtenidos para estas 2 sub-muestras, en definitiva, sostienen la hipótesis de relatividad tecnológica que no se pudo demostrar con claridad en la especificación (4) de la muestra total. Cuando las diferentes distancias a la frontera se ponen de relieve, los países avanzados aprovechan mejor el margen de población con estudios terciarios, mientras que los más rezagados obtienen un mayor efecto sobre su nivel de vida en los porcentajes de población con estudios primarios y secundarios.

La hipótesis del efecto positivo de la educación sobre la renta per cápita vuelve a quedar probada parcialmente, de acuerdo con las estimaciones escasamente significativas obtenidas para la educación terciaria en las especificaciones (1) y (2) en ambas sub-muestras. Al igual que en Vandenbussche, Aghion y Meghir (2006) y en la estimación para la muestra total, los resultados obtenidos cuando las variables educativas utilizan los años de estudio como unidad de medida no son concluyentes.

En las tablas 3.8 y 3.9 se muestran los contrastes de especificación para los modelos planteados en las tablas 3.5 y 3.6, respectivamente. De acuerdo con las tablas, se rechaza claramente el panel con efectos aleatorios frente al modelo de efectos fijos. En algunas de las especificaciones no se rechaza con contundencia que las variables ficticias sean en su conjunto necesarias. Sin embargo, se ha aplicado el criterio de estimar incluyendo siempre las variables ficticias, ya que muchas de ellas son significativamente distintas de cero.

Tabla 3.8: Test de especificación. Países con una FT_0 superior a la mediana

Modelo	(1)	(2)	(3)	(4)
Media de la variable dependiente	9,567	9,567	9,567	9,567
Suma de cuadrados de los residuos	27,280	27,434	30,934	29,325
Estadístico F (5, 190) del contraste de significación conjunta de los regresores	70,801	70,188	57,949	63,214
<i>P-value</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Estadístico F (38,190) del contraste de efectos fijos	1,3404	1,1939	1,4471	1,1882
<i>P-value</i>	0,1046	0,2198	0,0568	0,2257
Estadístico Breusch-Pagan (1 grado de libertad)	0,1568	0,7751	0,0048	0,2758
<i>P-value</i> Breusch-Pagan	0,6921	0,3787	0,9447	0,5997
Estadístico Hausman (5 grados de libertad)	29,021	27,192	27,758	20,339
<i>P-value</i> Hausman	0,0000	0,0000	0,0000	0,0010

Tabla 3.9: Test de especificación. Países con una FT_0 igual o inferior a la mediana

Modelo	(1)	(2)	(3)	(4)
Media de la variable dependiente	8,321	8,321	8,321	8,321
Suma de cuadrados de los residuos	20,692	29,279	21,810	28,224
Estadístico F (5, 190) del contraste de significación conjunta de los regresores	184,627	119,332	173,215	125,216
<i>P-value</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Estadístico F (38,190) del contraste de efectos fijos	0,9711	1,8736	1,2501	2,2106
<i>P-value</i>	0,5240	0,0033	0,1676	0,0003
Estadístico Breusch-Pagan (1 grado de libertad)	0,7803	4,6915	0,0300	8,1501
<i>P-value</i> Breusch-Pagan	0,3771	0,0303	0,8624	0,0043
Estadístico Hausman (5 grados de libertad)	10,982	25,399	23,940	40,097
<i>P-value</i> Hausman	0,0517	0,0001	0,0002	0,0000

Las estimaciones obtenidas cuando se segmenta la muestra en función de la proximidad a la frontera inicial parecen ser coherentes y consistentes con las hipótesis planteadas. No obstante, al utilizar el criterio de la distancia mediana a la frontera inicial para segmentar la muestra, algunos países que han partido de niveles iniciales inferiores (o superiores) a la mediana inicial puedan haber cambiado de sub-grupo cuando el criterio que se aplica es el de la distancia a la frontera final (FT_F). Por ello, para comprobar si los resultados obtenidos son sensibles al “tránsito” de países entre sub-muestras, se han agrupado a los países que estén simultáneamente por encima (respectivamente, por debajo o al mismo nivel) de la mediana de la distancia a la frontera en el momento final e inicial. El nuevo criterio crea dos nuevas sub-muestras de 30 países en función de si la distancia a la frontera en el periodo inicial (1975-1980) y final (2005-2010) es mayor o menor-igual que la mediana en ambos momentos. La descripción de las sub-muestras, los resultados de la estimación y los test de especificación para este modelo se encuentran en el Anexo 2. Este análisis de sensibilidad se ha realizado sólo para las especificaciones (3) y (4).

En síntesis, se aprecia un cumplimiento más claro de la hipótesis de relatividad tecnológica. Mientras en los países más avanzados, el porcentaje de población con educación primaria en (3) no es significativo, en los países más rezagados un incremento en el porcentaje de población, sea cual sea su nivel educativo, tiene un efecto positivo sobre el nivel de vida, especialmente en el caso de la educación secundaria, mayor que el obtenido para los países más cercanos a la frontera.

Si se consideran las interacciones recogidas en (4), la hipótesis de relatividad tecnológica se ve reforzada, especialmente si tenemos en cuenta los efectos marginales. Así, mientras que el efecto de los porcentajes de población con estudios hasta secundaria son mayores en los países más rezagados tecnológicamente, el efecto sobre el nivel de vida de un 1% adicional de población con estudios terciarios en el caso de los países a la vanguardia en tecnología es más de 4 veces el obtenido para los países más distantes a la frontera (4.23 contra 1.03).

En conclusión, los resultados obtenidos parecen respaldar las conclusiones alcanzadas en las anteriores sub-muestras: los países más adelantados tecnológicamente tienden a aprovechar mejor el margen de población con educación superior, al depender más sus sectores económicos de la innovación, mientras que los países más rezagados confían más en el potencial que la imitación o *catch-up* genera sobre su renta per cápita para poder incrementar su nivel de vida.

4. CONCLUSIONES

El aumento sostenido en los niveles de vida de los países no es un proceso que se pueda separar de las mejoras en productividad que la tecnología ha propiciado desde los tiempos de la Revolución Industrial. La tecnología tampoco es una variable exógena, depende de las decisiones y preferencias de los agentes en la economía, y más importante aún, es función del *stock* de conocimientos acumulados por el país, el cuál en última instancia determina qué innovaciones tiene a su alcance y cuáles no.

El conocimiento tiene mucho que ver en la creación de tecnología a partir de la investigación y el desarrollo, pero además, sin él, la tecnología sería estéril. De nada sirve contar con mejores máquinas, herramientas, ordenadores o *software* si la fuerza de trabajo no sabe utilizarlos. El saber hacer requiere no sólo tener unos conocimientos mínimos en la materia, sino que también exige reunir las competencias para poner en práctica estas habilidades adquiridas y determina en última instancia la productividad del trabajador. El conjunto de estas habilidades conseguidas a través de la formación y la experiencia y las adquiridas de forma innata por los trabajadores son lo que constituye el capital humano.

El progreso tecnológico es un sendero dual, no solamente teniendo en cuenta la composición del capital humano, sino también las diferentes distancias que los países mantengan con respecto de la frontera tecnológica. Así, un país, sin necesidad de tener que invertir más en sus universidades, centros de investigación y empresas, puede aprovechar el conocimiento y la tecnología ya generado por otro y adaptarla a su ámbito interno. En general, este tipo de estrategia conviene a países alejados de la frontera y con un nivel de capital humano relativamente bajo, lo que en primera instancia les permitirá crecer a un ritmo mayor que los países más adelantados tecnológicamente, cuyos sectores dependen más de la actividad innovadora, por lo que harán un uso más intenso de capital humano cualificado.

Siguiendo estas ideas, y empleando el marco teórico que provee la teoría schumpeteriana, en este trabajo se ha tratado de hallar evidencia acerca de esta dualidad del capital humano en su efecto sobre los niveles de vida. Teniendo en cuenta que en la experiencia de la mayoría de las economías del mundo, la acumulación de capital humano ha tenido un efecto positivo sobre los niveles de vida (hipótesis 1), se puede asumir, sin embargo, que el progreso tecnológico hace un uso distinto del capital humano en función del nivel de desarrollo, por lo que el efecto del capital humano sobre los estándares de vida de un país variarán en función de su distancia relativa a la

frontera (hipótesis 2 o de relatividad tecnológica). La educación, como mejor *proxy* del nivel del capital humano, no cuenta con un rendimiento homogéneo para dos países diferentes; en dicho efecto tendrá mucho que decir el estado de su tecnología (medido por la proximidad a la frontera tecnológica).

Con el fin de hallar evidencia sobre estas hipótesis, se ha estimado un panel de 78 países con observaciones quinquenales, referidas al periodo 1975-2010, obteniendo 3 resultados principales. En primer lugar, al igual que en Vandebussche, Aghion y Meghir (2006), en las especificaciones en porcentajes de población según el nivel de estudios se obtienen estimaciones más significativas (especialmente en los niveles educativos superiores) que en las que utilizan años de educación como unidad de medida. Del mismo modo, en segundo lugar, sólo para las especificaciones calculadas en porcentajes se verifica totalmente la hipótesis 1, mientras que en años de estudio sólo se verifica parcialmente. La idea que puede extraerse de estos resultados es que los años de estudio adicionales no tienen un efecto positivo sobre el PIB per cápita para todos los niveles educativos. En tercer lugar, ni para años de estudio, ni para porcentajes de población según su nivel educativo es posible apoyar con claridad la hipótesis de relatividad tecnológica, en el primer caso, por resultados no significativos para la educación terciaria, y en el segundo, debido a la proximidad entre los efectos marginales calculados para cada uno de los tres niveles educativos.

Sin embargo, los resultados cambian si se segmenta la muestra en función del nivel tecnológico. Si se hace esta diferenciación entre países atendiendo al estado de su tecnología, la educación (en la especificación 3), sea cual sea el nivel, cuenta con un efecto superior en los países menos adelantados tecnológicamente. Por otro lado, cuando se considera la hipótesis de relatividad tecnológica (especificación 4), el impacto de la educación superior sobre el nivel de vida de un país “medio” es mucho mayor en los países más próximos a la frontera tecnológica (entre 2 y 4 veces aproximadamente).

La evidencia empírica obtenida, al igual que la ya existente, apoya que las diferencias en capital humano y tecnología explican en gran parte los distintos niveles de vida mantenidos por los países. La teoría schumpeteriana que constituye la base de estos modelos puede ser un buen sustento a la hora de realizar recomendaciones de política, teniendo en cuenta que tanto la innovación como la imitación son dos fuentes de crecimiento de la productividad tan válidas como distintas. Sin embargo, en una y otra fase, dependiendo no sólo de la proximidad a la frontera, sino del contexto, las instituciones y los incentivos, habrá diferentes políticas adecuadas para diferentes tipos de países, también en el caso del capital humano.

Los conocimientos, al igual que la tecnología, y más aún en una era en la que el cambio es más rápido y vertiginoso, no se libran de depreciación (De la Fuente y Ciccone, 2002). Teniendo en cuenta que el sesgo no sólo de la tecnología, sino también del empleo hacia el conocimiento es cada vez mayor, en un futuro cada vez más próximo, los niveles de vida de un país dependerán de su capacidad de dotar a un

segmento amplio de la población de un conocimiento superior y actual, no sólo para evitar esta depreciación, sino también para garantizar el relevo en la investigación y el desarrollo y asegurar una reposición más y mejor cualificada en el resto de sectores productivos. El modelo, de esta forma, deberá fomentar el aprendizaje continuo o *long-life learning* como base de su sistema educativo si no quiere quedarse rezagado. De la capacidad de un país de “...movilizar las habilidades de un gran número de individuos.” (Acemoglu y Robinson, 2013: 101) dependerá gran parte de sus oportunidades de progreso económico.

5. BIBLIOGRAFÍA

Acemoglu, D., y Autor, D. (2011). Lectures in Labor Economics. Chapter 1: The Basic Theory of Human Capital. Obtenido de economics.mit.edu/files: <http://economics.mit.edu/files/4689>

Acemoglu, D., y Autor, D. (2012). What Does Human Capital Do? A Review of Goldin and Katz's "The Race Between Education and Technology". *Journal of Economic Literature*, 426-461.

Acemoglu, D., y Robinson, J. A. (2013). Por qué fracasan los países. *Los orígenes del poder, la prosperidad y la pobreza*. Madrid: Deusto.

Acemoglu, D., y Ufuk, A. (2012). Intellectual Property Rights Policy, Competition and Innovation. *Journal of the European Economic Association*, 10(1), 1-42.

Acemoglu, D., Aghion, P., y Zilibotti, F. (2006). Distance to Frontier, Selection, and Economic Growth. *Journal of The European Economic Association*, 37-74.

Aghion, P., y Howitt, P. (1992). A Model Of Growth Through Creative Destruction. *Econometrica*, 60(2), 323-351.

Aghion, P., y Howitt, P. (2009). Investing in Education. En P. Aghion, y P. Howitt, *The Economics of Growth* (pp. 287-314). Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Press (MIT).

Aghion, P., Akcigit, U., y Howitt, P. (2013). *What Do We Learn From Schumpeterian Growth Theory?* NBER Working Paper Number 18824.

Aghion, P., Boustan, L., Hoxby, C., y Vandenbussche, J. (2009). The Causal Impact of Education on Economic Growth: Evidence from U.S. Obtenido de Weareducation.org: <http://goo.gl/YHY5xW>

Aghion, P., Harris, C., y Vickers, J. (1997). Competition and Growth with Step-by-Step Innovation: An Example. *European Economic Review*, 41(3-5), 771-782.

Aghion, P., Harris, C., Howitt, P., y Vickers, J. (2001). Competition, Imitation and Growth with Step-by-Step Innovation. *The Review of Economic Studies*, 68(3), 467-492.

Aghion, P., Meghir, C., y Vandenbussche, J. (2006). Growth, Distance to Frontier and Composition of Human Capital. *Journal of Economic Growth*, 97-127.

Barro, R. J., y Sala i Martín, X. (1995). *Economic Growth*. Nueva York: McGraw-Hill.

Barro, R., y Lee, J. W. (2013). A New Data Set of Educational Attainment in the World, 1950-2010. *Journal of Development Economics*, 104, 184-198.

Benhabib, J., y Spiegel, M. M. (1994). The role of Human Capital in Economic Development Evidence from Aggregate Cross-Country Data. *Journal of Monetary Economics*, 34(2), 143-173.

De la Fuente, A. (1992). Histoire d'A: Crecimiento y progreso técnico. *Investigaciones Económicas*, XVI(3), 331-391.

De la Fuente, A., y Ciccone, A. (2002). Human Capital in a Global Knowledge-Based Economy. Institute for Economic Analysis.

De la Fuente, A., y Doménech, R. (2006). Human Capital in Growth Regressions: How Much Difference Does Data Quality Make? *Journal of the European Economic Association*, 1-36.

Deneckere, R. J., y Judd, K. L. (1986). *Cyclical and Chaotic Behavior in a Dynamic Equilibrium Model, with Implications for Fiscal Policy*. Northwestern University Discussion Paper number 734.

Eurostat / OCDE. (2012). *Methodological Manual on Purchasing Power Parities*. Luxemburgo: Oficina de publicaciones de la Unión Europea.

Feenstra, R. C., Inklaar, R., y Timmer, M. P. (2015). The next generation of the Penn World Table. *American Economic Review* (próxima edición).

Hanushek, E. A., y Woessmann. (2007). *The Role of Education Quality for Economic Growth*. Documentos de trabajo: investigaciones de políticas, Banco Mundial.

Heckman, J., y Klenow, P. (1997). *Human Capital Policy*. Working Papers. Economics Department. University of Chicago

Howitt, P. (2000). Endogenous Growth and Cross-Country Income Differences. *American Economic Review*, 90(4), 829-846.

Jones, C. I., y Vollrath, D. (2013). *Introduction to Economic Growth*. New York: W.W. Norton y Company.

Krueger, A. B., y Lindahl, M. (2001). Education for Growth: Why and Whom? *Journal of Economic Literature*, XXXIX, 1101-1136.

- Krugman, P. (2010). *La era de las expectativas limitadas*. Madrid: Ariel.
- Kwon, D.-B. (Octubre de 2009). Human Capital and its Measurement. Obtenido de oecd.org/site/progresskorea: <http://goo.gl/wTa11i>
- Lucas, R. (Julio de 1988). On the Mechanics of Economic Development. *Journal of Monetary Economics*, 22, 3-42.
- Mincer, J. A. (1974). *Schooling, Experience and Earnings*. Cambridge (Massachusetts): NBER Books.
- Mokyr, J. (2005). Long term economic growth and the history of technology. En P. Aghion, y S. N. Durlauf (Edits.), *Handbook of economic growth* (Vol. 1, pp. 1113-1180). Elsevier.
- Montero, R. (2011). *Efectos fijos o aleatorios: test de especificación*. Documentos de Trabajo en Economía Aplicada. Universidad de Granada.
- Nelson, R. R., y Phelps, E. S. (Marzo de 1966). Investment in Humans, Technological Diffusion and Economic Growth. *The American Economic Review*, 56(1/2), 69-75.
- OCDE. (2013). *The Human Capital Report*. Ginebra: World Economic Forum.
- OCDE. (2015). *Purchasing Parity Power - Frequently Asked Questions (FAQs)*. Obtenido de oecd.org/std/purchasingpowerparities: <http://goo.gl/vWZAIIn>
- OCDE/Eurostat. (2005). *Manual de Oslo. Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación*. (Tercera ed.). OCDE.
- Romer, P. (1986). Increasing Returns and Long-Run Growth. *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002-1037.
- Romer, P. (1990). Endogenous Technical Change. *Journal of Political Economy*, 98(5), S71-S102.
- Sala i Martín, X. (2000). *Apuntes de crecimiento económico*. Barcelona: Antoni Bosch.
- Schumpeter, J. A. (1942). *Capitalism, Socialism and Democracy*. Nueva York: Harper and Brothers.
- Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.
- Solow, R. M. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics*, 39(3), 312-320.

Topel, R. (1999). Labor Markets and Economic Growth. En O. Ashenfelter, y D. Card, *Handbook of Labor Economics* (pp. 2943-2984). Amsterdam: Elsevier Science North Holland.

ANEXO 1. Relación de países incluidos en la muestra

Tabla A1.1: Países componentes de la muestra

OCDE	Latinoamérica y el Caribe	África Sub-Sahariana	Asia	Norte de África y Oriente Medio
Australia	Argentina	Kenia	China	Egipto
Austria	Bolivia	Mozambique	Indonesia	Irán
Bélgica	Brasil	Mauritania	Malasia	Jordania
Canadá	Colombia	Sudáfrica	Filipinas	Marruecos
Suiza	Costa Rica	Botswana	Singapur	Túnez
Alemania	Ecuador	Costa de Marfil	Tailandia	Chipre
Dinamarca	Guatemala	Camerún	Taiwán	Iraq
España	Honduras	Lesotho	Hong Kong	Qatar
Finlandia	Jamaica	Mauricio	Macao	Arabia Saudí
Francia	Uruguay	Níger	India	
R. Unido	Venezuela	Senegal		
Grecia	R. Dominicana	Togo		
Irlanda	Panamá	Zimbabwe		
Islandia	Perú	Sierra Leona		
Italia	Paraguay			
Japón				
Luxemburgo				
Países Bajos				
Noruega				
Nueva Zelanda				
Portugal				
Suecia				
Turquía				
EE.UU.				
Corea del Sur				
Hungría				
Polonia				
México				
Chile				
Israel				
TOTAL: 30	TOTAL: 15	TOTAL: 15	TOTAL: 9	TOTAL: 8
TOTAL OCDE: 30	TOTAL NO OCDE: 48			

ANEXO 2. Estadísticos descriptivos y estimación de panel utilizando los criterios de proximidad a la frontera inicial y final

Tabla A1.1: Estadísticos descriptivos de las sub-muestras

Sub-muestra	FT_0 y FT_F mayor a su mediana		FT_0 y FT_F menor-igual a su mediana	
	Media	Desv. típica	Media	Desv típica
PIB per cápita	9,87	0,66	7,94	0,85
Proximidad a la frontera tecnológica	0,96	0,26	0,44	0,18
· Porcentaje promedio de la población con:				
Educación primaria finalizada	0,21	0,11	0,17	0,08
Educación secundaria finalizada	0,23	0,11	0,14	0,10
Educación terciaria finalizada	0,08	0,04	0,03	0,04

Tabla A2.2: Países con una FT_0 y una FT_F mayor (ceranos a la frontera) y menor igual (alejados de la frontera) a sus medianas

Modelo		FT_0 y FT_F mayor a su mediana		FT_0 y FT_F menor-igual a su mediana	
		(3)	(4)	(3)	(4)
Descripción	Variable	Coef.	Coef.	Coef.	Coef.
Constante	β_0	6,4505 (11,66)	6,7401 (13,12)	6,3375 (20,93)	6,6667 (20,36)
Proximidad a la frontera tecnológica	FT	1,6468 (12,19)	0,9579 (6,90)	2,6520 (15,45)	1,4925 (6,10)
Logaritmo del PIBpc retardado un periodo	y_{-1}	0,0912 (1,74)	0,1303 (2,57)	-0,0582 (-1,51)	-0,0107 (-0,26)
· Porcentaje promedio de la población con:					
Educación primaria finalizada	PSA	0,7985 (1,98)		1,9232 (6,21)	
Educación secundaria finalizada	SSA	1,9072 (5,52)		3,2214 (8,60)	
Educación terciaria finalizada	TSA	3,8952 (4,17)		2,2565 (2,80)	
Interacción entre FT y PSA	$FT * PSA$		0,6921 (1,74)		3,2503 (4,80)
Interacción entre FT y SSA	$FT * SSA$		1,9660 (5,89)		5,6032 (7,07)
Interacción entre FT y TSA	$FT * TSA$		4,4174 (4,71)		2,3527 (1,39)
Número de observaciones	N	180	180	180	180
R-cuadrado	R^2	0,7476	0,7695	0,8909	0,8730
Criterio de Akaike	AIC	173,595	157,226	132,848	160,169