

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES



**TESIS DOCTORAL**

Estrategias tecnológicas para el crecimiento económico

Una aproximación no lineal a los determinantes de la Productividad Total de los Factores

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Iván Escudero Sánchez

DIRECTOR

Rafael Myro Sánchezo



UNIVERSIDAD  
**COMPLUTENSE**  
MADRID

# **ESTRATEGIAS TECNOLÓGICAS PARA EL CRECIMIENTO ECONÓMICO**

**Una aproximación no lineal a los determinantes de la  
Productividad Total de los Factores**

Programa de Doctorado en Economía

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Universidad Complutense de Madrid

Tesis Doctoral presentada por:

Iván Escudero Sánchez

Director:

Rafael Myro Sánchez

Madrid, 2023

Eternamente agradecido a todos aquellos que se entrelazaron en la danza de circunstancias, aleatorias o determinadas, que, como consecuencia, hicieron esto posible. En especial, a mis abuelos, mis padres y mi hermana.

# RESUMEN

## ESTRATEGIAS TECNOLÓGICAS PARA EL CRECIMIENTO ECONÓMICO

Una aproximación no lineal a los determinantes de la  
Productividad Total de los Factores

Esta tesis doctoral tiene como objetivo analizar el avance tecnológico de los países desde una perspectiva no lineal a los determinantes de la Productividad Total de los Factores (PTF). Para ello, se llevan a cabo cuatro investigaciones de carácter empírico que examinan las estrategias tecnológicas de los países como fuente del crecimiento económico.

La primera investigación evidencia el agotamiento productivo que supone la continua acumulación de capital fijo en el avance tecnológico. Tras analizar la evolución tecnológica de los países en el largo plazo (1955-2019) mediante la distancia a la frontera tecnológica, y comprobar la sobreacumulación relativa de capital que presenta España, se examina la relación entre el stock de capital fijo por empleado y la distancia a la frontera tecnológica con un panel de datos de 118 países. Los resultados obtenidos muestran una relación marginal decreciente entre el capital físico y el avance tecnológico en las diez mayores economías avanzadas del mundo. Esto sugiere la existencia de un límite en la cantidad de capital por trabajador, a partir del cual no se produciría un progreso técnico adicional, indicando así el desgaste de la estrategia imitadora a largo plazo.

A continuación, se realiza un análisis empírico para identificar la posible existencia de rendimientos no lineales en los principales determinantes de la PTF. Entre los que se incluyen la distancia a la frontera tecnológica, la inversión en investigación y desarrollo (I+D) y el capital humano. El objetivo de esta investigación es hallar los puntos de inflexión en las relaciones que mantienen estos factores con el avance de la PTF. Para ello, se ha planteado un modelo cuadrático con un panel de datos de 123 países para el periodo de 1995-2017. Los resultados alcanzados son significativos y revelan que tanto la brecha tecnológica como el capital humano presentan rendimientos en forma de “U”, mientras que la inversión en I+D muestra incrementos decrecientes.

El siguiente propósito consiste en estudiar la influencia de la competencia y la desigualdad en el avance tecnológico de las economías. Con este fin, se ha planteado un

modelo de relaciones no lineales utilizando datos de panel correspondientes a 84 países para el periodo de 2000 a 2019. Los resultados obtenidos revelan que la relación entre la competencia global y la distancia a la frontera tecnológica describe una tendencia en forma de “U” invertida, lo que sugiere la existencia de un umbral óptimo de competencia para el avance tecnológico. Por otro lado, en el caso de la desigualdad, la relación es en forma de “U”, lo que implicaría una mayor probabilidad de progreso técnico en ambos extremos de la distribución de ingresos.

Por último, se examina la dinámica de crecimiento de la PTF en los distintos tamaños empresariales (microempresa, pequeña, mediana y grande) de España. El objetivo es comparar las diferencias entre las distintas dimensiones y examinar qué papel desempeña el avance de la PTF en el tamaño empresarial. En este caso, se emplea un modelo de convergencia no lineal y se exploran dos escenarios de análisis (crisis y recuperación) con un panel de datos de 16.856 empresas para el periodo 2011-2019. Según los hallazgos obtenidos, durante las etapas de recesión económica, las empresas con un nivel inicial de PTF más bajo experimentarían un mayor crecimiento promedio en todas las dimensiones empresariales, lo que se traduciría en una mayor tasa de empleo (a excepción de las empresas extremadamente grandes). En cambio, en las fases expansivas del ciclo económico, se evidencia una “trampa de productividad” en la senda de convergencia de las microempresas y empresas pequeñas, lo que podría limitar su capacidad de aumentar de tamaño.

En conclusión, este trabajo de tesis doctoral ofrece un enfoque no lineal de cómo los factores determinantes de la PTF se relacionan con el cambio tecnológico de los países. Los resultados empíricos obtenidos proporcionan información valiosa para el diseño de estrategias tecnológicas que puedan contribuir a optimizar un crecimiento económico sostenible a largo plazo.

# ABSTRACT

## TECHNOLOGICAL STRATEGIES FOR ECONOMIC GROWTH

A nonlinear approach to the determinants of Total Factor Productivity

The aim of this doctoral thesis is to analyze the technological progress of countries from a non-linear perspective to the determinants of Total Factor Productivity (TFP). To achieve this, four empirical investigations have been conducted that examine the technological strategies of countries as a source of economic growth.

The first investigation demonstrates the productive exhaustion that the persistent accumulation of fixed capital represents in technological progress. After analyzing the technological evolution of countries in the long term (1955-2019) through the distance to the technological frontier and verifying the relative over-accumulation of capital that Spain presents, the relationship between fixed capital per employee and the distance to the technological frontier is examined with panel data for 118 countries. The results obtained show a decreasing marginal relationship between physical capital and technological progress in the ten largest advanced economies in the world. This suggests that existence of a limit on the amount of capital per worker, beyond which no further technical progress would occur, indicating the erosion of the imitative strategy in the long term.

Next, an empirical analysis is conducted to identify the possible existence of non-linear returns in the main determinants of TFP, which include the distance to the technological frontier, investment in research and development (R&D), and human capital. The aim of this research is to find the inflection points in the relationships describing these factors with the advancement of TFP. To do so, a quadratic model has been developed, using panel data from 123 countries for the period of 1995-2017. The results obtained are significant and reveal that both the technological gap and human capital exhibit “U”-shaped returns, while investment in R&D shows decreasing returns.

The following aim is to investigate the impact of competition and inequality on technological progress in economies. To achieve this, a non-linear relationship model has been developed using panel data from 84 countries for the period of 2000 to 2019. The

results indicate an inverted “U”-shaped relationship between global competition and the distance to the technological frontier, suggesting the existence of an optimal level of competition for technological advancement. In contrast, the relationship between inequality and technological progress is “U”-shaped, indicating a higher likelihood of technical progress at both ends of the income distribution.

Finally, the dynamics of TFP growth in different firm sizes (micro, small, medium, and large) in Spain are examined. The objective is to contrast the differences between the different dimensions and to explore the role that TFP growth plays in firm size. To do so, a non-linear convergence model and two analysis scenarios (crisis and recovery) are used with a panel data of 16,856 firms for the period of 2011-2019. According to the findings, during economic recession stages, firms with a lower initial TFP level would experience greater average growth in all firm sizes, leading to a higher employment rate (except for extremely large firms). In contrast, during the expansionary phase of the economic cycle, a "productivity trap" is detected in the convergence path of micro and small firms, which could limit their ability to increase in size.

In conclusion, this doctoral thesis provides a nonlinear approach to how the determinants of TFP are related to technological change in countries. The empirical results obtained provide valuable information for designing technological strategies that can contribute to optimizing sustainable long-term economic growth.

# ÍNDICE

- Resumen ..... pág. 5
- Abstract ..... pág. 7

## Introducción

- Objetivos de la Tesis Doctoral
- Datos, modelos y metodología
- Aportaciones de la Tesis Doctoral
- Contenido y estructura del trabajo

## Capítulo 1 – El agotamiento productivo del capital fijo en la estrategia tecnológica de los países

- 1.1 – Introducción
- 1.2 – Algunos datos relevantes y revisión de la literatura
- 1.3 – Datos y metodología
- 1.4 – Resultados
- 1.5 – Análisis de los resultados
- 1.6 – Conclusiones

## Capítulo 2 – Puntos de inflexión en los factores estratégicos del avance tecnológico de los países

- 2.1 – Introducción
- 2.2 – Revisión de la literatura
- 2.3 – Datos y metodología
- 2.4 – Resultados
- 2.5 – Análisis de los resultados
- 2.6 – Conclusiones

## Capítulo 3 – La competencia y la desigualdad en el avance tecnológico de los países

- 3.1 – Introducción
- 3.2 – Revisión de la literatura
- 3.3 – Datos y metodología
- 3.4 – Resultados
- 3.5 – Análisis de los resultados
- 3.6 – Conclusiones

## Capítulo 4 – Convergencia no lineal de la Productividad Total de los Factores en los distintos tamaños empresariales de España

- 4.1 – Introducción
- 4.2 – Algunos datos relevantes y revisión de la literatura
- 4.3 – Datos y metodología
- 4.4 – Resultados
- 4.5 – Análisis de los resultados
- 4.6 – Conclusiones

## Capítulo 5 – Conclusiones, limitaciones y futuras investigaciones

- 5.1 – Conclusiones
- 5.2 – Limitaciones y futuras investigaciones

## Bibliografía

## Anexo

# Introducción

El propósito de esta tesis doctoral es ahondar en la contribución del avance tecnológico y la innovación en el crecimiento económico. En concreto, se investiga la evolución de la Productividad Total de los Factores (PTF) desde una aproximación no lineal a sus principales determinantes, entre los que destaca el cambio tecnológico. Entender con precisión el impacto de este factor es, sin duda, uno de los mayores desafíos para el futuro de las economías.

El campo de estudio sobre la relación entre la tecnología y el crecimiento económico es relativamente reciente. Hasta mediados del siglo XIX, se consideraba que los factores clave para el progreso económico eran la tierra, el trabajo y el capital<sup>1</sup>. Sin embargo, en 1956, tras varios intentos de modelizar consistentemente el crecimiento de las economías (Harrod, 1936; Domar, 1946), Rober Solow desarrolló un modelo que cambiaría el paradigma clásico y daría lugar a una gran cantidad de literatura que no ha dejado de crecer hasta nuestros días. El modelo de Solow (1956) explicaba el crecimiento económico a largo plazo a través de la acumulación de capital físico y trabajo, pero también mediante el progreso técnico. Aunque no exploraba los determinantes de este último ni la magnitud que podría alcanzar, indirectamente abrió la puerta a la construcción de un indicador de su importancia: la PTF, que se obtiene como un residuo; es decir, la proporción del aumento de la producción no explicada por los dos factores convencionales (capital y trabajo). La aplicación empírica de este modelo mediante una contabilidad del crecimiento económico reveló que la importancia de este residuo era muy elevada, lo que señalaba un apreciable desconocimiento de los determinantes fundamentales del crecimiento económico.

Desde entonces, la abundante investigación realizada ha demostrado que, tal como apunta Isaksson (2007), la PTF depende de una amplia gama de factores interrelacionados de difícil aislamiento. La mayor parte de ellos influyen en la eficiencia con la que se utilizan los insumos productivos, pero hay un componente fundamental, difícil de medir, que es el progreso técnico, el que Solow considera en su modelo original y uno de nuestros objetos fundamentales de atención. Así pues, la PTF debe considerarse necesariamente como un indicador amplio del avance tecnológico, al incluir también factores de eficiencia. Este no es el único inconveniente que posee, ya que su estimación exige asumir que los mercados son perfectamente competitivos y también requiere una adecuada medición de los servicios del capital (Hulten 2000; Felipe, 2008). No obstante, a pesar de los inconvenientes señalados, la PTF sigue siendo ampliamente utilizada como indicador tecnológico por los organismos oficiales.

---

<sup>1</sup> Entre muchos otros, los autores más influyentes al respecto fueron: Adam Smith, David Ricardo, Thomas Malthus y Karl Marx.

Por otra parte, la relevancia adquirida por el residuo de Solow favoreció un cambio profundo y decisivo en la teoría del crecimiento económico, con el foco puesto ahora en los determinantes del progreso técnico. Las teorías del crecimiento económico endógeno, impulsadas por los trabajos de Lucas (1988) y, especialmente, de Romer (1986; 1990)<sup>2</sup>, profundizan en la importancia del conocimiento tecnológico generado dentro del proceso de producción y en su capacidad de expansión entre las economías. Estas teorías ofrecieron una nueva perspectiva a las dinámicas de crecimiento, principalmente en las economías más avanzadas, que a través del progreso técnico podrían contrarrestar el rendimiento marginal decreciente de su capital físico. Aunque Arrow (1962) ya había considerado el cambio tecnológico como un factor intrínseco del propio proceso de producción, la teoría del crecimiento endógeno fue un paso más allá, al postular que la acumulación incesante de conocimiento, de ideas, permitía obtener rendimientos crecientes a escala y, a fin de cuentas, ofrecer a las economías un crecimiento persistente en el largo plazo.

Pues bien, esta tesis doctoral se enmarca en las teorías del crecimiento endógeno, para las que el conocimiento, traducido en innovación, representa una de las principales fuentes del progreso económico moderno, especialmente en las economías más avanzadas. A lo largo de los años, las líneas de investigación en este ámbito han evolucionado desde el estudio del capital humano, la inversión en investigación y desarrollo (I+D) y las externalidades positivas<sup>3</sup> como los elementos impulsores del avance tecnológico, hasta el estudio de los complejos sistemas de innovación que adoptan los países (Chen y Dahlman, 2004). De hecho, a medida que las economías se desarrollan, las interacciones entre los agentes económicos y los factores implicados en el cambio tecnológico se vuelven cada vez más complejas. Sin embargo, la mayoría de las investigaciones adoptan una visión lineal que postula una relación proporcional y constante entre los recursos tecnológicos y el progreso técnico. Este enfoque convencional nos llevó a cuestionarnos si estas relaciones realmente se producen de forma generalizada o si existen umbrales críticos en los factores que determinan el cambio tecnológico de los países. Así pues, para abordar este interrogante, surge la necesidad de emplear un enfoque no lineal en nuestras investigaciones. De este modo, se abre la posibilidad de identificar patrones diferentes en el comportamiento de los distintos factores que intervienen en el avance tecnológico, lo cual nos permite obtener una comprensión más profunda y precisa sobre las estrategias tecnológicas de los países.

En efecto, la investigación se centra en el ámbito macroeconómico, con especial atención en las economías desarrolladas de mayor tamaño, y en particular en España, un país que además se utiliza como referencia para una perspectiva empresarial. En los apartados empíricos, se emplea la PTF para evaluar el desempeño tecnológico de los países en los

---

<sup>2</sup> La aparición de las teorías del crecimiento endógeno no se limita a la contribución de una sola persona, sino que su desarrollo ha requerido de la contribución de numerosos economistas además de Lucas y Romer. Entre los trabajos más destacados en sentar las bases de estas teorías, se encuentran los de Rebelo (1991), Barro (1991), Grossman y Helpman (1991), Aghion y Howitt (1992).

<sup>3</sup> Véase, por ejemplo, además de los trabajos de la nota al pie anterior, el estudio de Coe y Helpman (1995).

distintos escenarios planteados. Desde una visión no lineal se investiga el impacto de los principales determinantes de la PTF, los cuales representan una parte significativa de las estrategias tecnológicas de los países. Entre estos determinantes destacan el capital fijo, la inversión en I+D, el potencial imitador y el capital humano. Además, se analiza el papel de los factores del entorno económico en la actividad innovadora, como la competencia y la desigualdad.

## **Objetivos de la tesis doctoral**

El primer objetivo de la investigación es tratar de evidenciar el agotamiento productivo que supone la continua acumulación de capital fijo en el avance de los países. Para ello, en el primer capítulo, se analiza la evolución de los países en el largo plazo mediante la distancia a la frontera tecnológica, con el fin de destacar el efecto marginal decreciente que representa el capital físico. De hecho, se observa cómo el acopio de capital impulsa el crecimiento de los países que parten de un bajo stock inicial, dando lugar a un proceso de convergencia. Sin embargo, a medida que las economías alcanzan un cierto grado de desarrollo, como en el caso de España, la innovación adquiere una mayor relevancia en detrimento de los bienes de capital. En otras palabras: la innovación eclipsa al capital en los países desarrollados. En este proceso, como apunta el modelo que plantean Acemoglu, Aghion y Zilibotti (2006), los países deben ser capaces de transitar de un avance tecnológico basado en la imitación a uno basado en la creación de tecnología propia; lo que hace imprescindible encender el motor de la innovación. Por tanto, en este capítulo se podrá demostrar empíricamente el desgaste de la estrategia imitadora en los países más desarrollados.

El objetivo del segundo capítulo es investigar la presencia de rendimientos no lineales en los principales factores determinantes de la PTF. Estos factores incluyen la inversión en I+D, el capital humano y la capacidad de absorción tecnológica. La literatura revisada sugiere que un mayor esfuerzo en I+D, un mejor capital humano y un mayor potencial imitador contribuyen a una mayor PTF. Sin embargo, esto lleva a preguntarse hasta qué punto una mayor inversión en estos factores sigue siendo beneficiosa. Esta cuestión permite establecer el objetivo de identificar empíricamente los puntos de inflexión en los rendimientos de estos factores en relación al avance tecnológico de los países.

El propósito del siguiente capítulo es poner de relieve la importancia de la competencia y la desigualdad en el desempeño innovador de los países y estudiar su relación con la distancia a la frontera tecnológica. A medida que las economías alcanzan un mayor grado de complejidad, los países requieren de entornos propicios que fomenten la innovación. Así pues, el tercer capítulo se centra en la competencia mundial y la desigualdad de ingresos como elementos implicados en el marco económico donde se genera la actividad innovadora. En cuanto a la competencia global, se pone a prueba el modelo de Aghion *et al.* (2005), el cual sostiene que una baja competencia desincentiva la innovación, por lo

que las empresas tienden a innovar más cuando aumenta la competencia en el mercado. Sin embargo, cuando la competencia se torna demasiado agresiva, el incentivo a innovar disminuye. Por otro lado, la literatura especializada no ofrece una postura clara sobre si un mayor o menor grado de desigualdad en la distribución de los ingresos supone un terreno fértil para el avance tecnológico. Por tanto, en este capítulo se intenta arrojar luz sobre estas cuestiones en los distintos países, con especial atención en las diez mayores economías desarrolladas.

En el cuarto capítulo se examina la dinámica de crecimiento de la PTF en los distintos tamaños empresariales en España. La dimensión empresarial condiciona, entre otros aspectos, la actividad innovadora de las empresas. De hecho, las empresas de mayor tamaño cosechan de media una mayor productividad que las microempresas y empresas pequeñas. Sin embargo, bajo estos hechos, se desconoce si el crecimiento del tamaño empresarial viene precedido de aumentos productivos o si el propio tamaño ofrece una mayor productividad *per se*. Así pues, el objetivo de este capítulo es analizar la evolución de la PTF en las empresas españolas a partir de su nivel inicial, con el fin de encontrar posibles diferencias en las distintas dimensiones empresariales, tanto en épocas de crisis como de recuperación.

Por tanto, los objetivos de la investigación se abordan a través de cuatro capítulos. En cada uno de ellos, se proporciona la literatura especializada que da lugar a plantearse los distintos propósitos mencionados como resultado del vacío detectado. Y, si bien cada capítulo pudiera considerarse como autónomo, con introducción, planteamiento y conclusiones propias, el avance tecnológico supone el hilo conductor que fundamenta todos ellos, siendo en todo momento la PTF la variable empírica a analizar.

## **Datos, modelos y metodología**

A lo largo de la tesis doctoral se ha recopilado información de diversas fuentes para fortalecer el análisis empírico. Desde un principio, se buscó trabajar con diferentes bases de datos para contrastar y validar los resultados estadísticos con distintas variables. De hecho, hay que decir que todas las bases de datos utilizadas han sido gratuitas y de libre acceso general o, en su defecto, desde los medios ofrecidos por la universidad. Para el ámbito macroeconómico se ha utilizado la detallada base de datos que ofrece el Banco Mundial<sup>4</sup>, obteniendo información de los países como: el Producto Interior Bruto (PIB), la inversión en I+D o el índice Gini, entre otros. En gran medida también se han utilizado los datos de Penn World Table (PWT), recabados por Feenstra, Inklaar y Timmer (2015)<sup>5</sup>, cuyas variables de capital, mano de obra y PTF han sido predominantes. También hay que destacar la utilización de la base de datos de Unesco<sup>6</sup> y sus detallados indicadores de

---

<sup>4</sup> <https://datos.bancomundial.org>

<sup>5</sup> <https://febplt.webhosting.rug.nl/Dmn/AggregateXs/VariableCodeSelect>

<sup>6</sup> <http://data.uis.unesco.org>

educación y tecnología. Para el caso de las empresas españolas, se utilizó la base de datos que ofrece Orbis<sup>7</sup>, de Bureau Van Dijk, empresa perteneciente a Moody's Analytics. A través de esta fuente, se obtuvieron datos de más de 16.800 empresas españolas de diferentes tamaños.

Para el caso de los modelos económicos, se ha recurrido a la literatura sobre el crecimiento endógeno más actual. Con los planteamientos utilizados, se busca representar hechos de la economía real que puedan abordar las hipótesis de trabajo planteadas. Establecer modelos de trabajo cerrados, con posibilidades finitas, ayuda en gran medida a comprender fenómenos concretos de forma sencilla, como podría ser, por ejemplo, el comportamiento de una empresa grande en un sector. Sin embargo, el carácter abierto, dinámico y sumamente interrelacionado del sistema económico moderno, hace que acotar el comportamiento de las economías a sencillas ecuaciones suponga establecer unas premisas de cierta laxitud. En este sentido, se es consciente de que, a nivel agregado de país, existen multitud de factores que intervienen en el comportamiento de las economías, y que van mucho más allá de los representados en los modelos. Aunque esto hay que tenerlo presente, la finalidad de las relaciones planteadas es poder identificar tendencias de comportamiento en los factores a estudio. De tal modo que, con las inquietudes mencionadas, se puedan establecer relaciones razonables basadas en estudios previos y, a través de los datos disponibles, ponerlas a prueba. Todo ello con el propósito de explicar el pasado y poder hacer predicciones de situaciones semejantes.

La gran mayoría de investigaciones similares tratan de explicar por qué ciertos factores están implicados en el avance tecnológico y, en consecuencia, cómo se relacionan con la creación de tecnología. Cuando se fija la atención en cómo se relacionan estos factores, se observa un predominante empleo de modelos lineales en sus distintas variantes. Esto ha llevado a detectar una cierta desatención a la posible existencia de relaciones no lineales al respecto; lo que despertó la atención de explorar estos posibles escenarios. Por tanto, a lo largo de la tesis doctoral, se ha optado por la utilización de modelos no lineales en los análisis empíricos. Este enfoque no solo puede conducirnos a respuestas diferentes, sino que también puede añadir matices a los postulados lineales, como puntos de equilibrio en las relaciones o niveles de optimización. Ello nos ha permitido utilizar modelos tan famosos como los de Benhabib y Spiegel (2005), Ha y Howitt (2007) o Coe *et al.* (2008) desde una perspectiva diferente. También poner a prueba el modelo AAZ de avance tecnológico formulado por Acemoglu, Aghion y Zilibotti (2006), e incluso inspirarnos en el planteamiento de Bahar (2018) para explicar el comportamiento de las empresas españolas.

La disponibilidad actual de datos, con series más exhaustivas y detalladas, permite emplear metodologías más robustas a estos modelos. En el transcurso del trabajo, se han utilizado series temporales de datos para realizar pequeños análisis descriptivos; sin embargo, para el caso de los análisis estadísticos, se ha recurrido predominantemente al

---

<sup>7</sup> <https://www.bvdinfo.com/es-es/>

uso de datos de panel. Esto, entre otras ventajas, nos ha permitido explotar un mayor número de observaciones y aislar, en la medida de lo posible, las características propias de los países que son invariables con el tiempo. De modo que, además de emplear el método de Mínimos Cuadrados Ordinario (OLS, por sus siglas en inglés) para realizar análisis auxiliares de regresión, se ha recurrido a distintas técnicas econométricas como el Método de Efectos Fijos (FEM, por sus siglas en inglés) y el Método de los Momentos Generalizados (GMM, por sus siglas en inglés) en sus distintas variantes. Esto nos ha permitido sacar un mayor partido a los datos de panel y, en ocasiones, contrastar los resultados obtenidos entre las distintas técnicas; además de ofrecer representaciones gráficas a fin de añadir un soporte más visual.

### **Aportaciones de la investigación**

Explicar la complejidad del desarrollo tecnológico de las economías supone un reto mayúsculo. Por supuesto, fuera de las pretensiones y del alcance de esta tesis doctoral. No obstante, pese a ello, se considera que el trabajo aporta información útil para comprender la competitiva carrera tecnológica que llevan a cabo los países. Las aportaciones incluidas ofrecen pequeñas claves para alcanzar un avance tecnológico continuo, óptimo e inclusivo.

En primer lugar, cuando nos referimos a un avance tecnológico continuo es porque los resultados alcanzados indican que el rendimiento del capital fijo se vuelve marginalmente decreciente con la distancia a la frontera tecnológica. Una vez que los países desarrollados superan un cierto stock de capital por trabajador, la estrategia tecnológica basada en la acumulación de capital fijo que ha impulsado su progreso se agota. Por tanto, con los umbrales identificados, es posible determinar cuándo la estrategia de un país debe evolucionar hacia la innovación propia, y así poder continuar con su desarrollo tecnológico sin incurrir en posibles trampas de imitación.

En segundo lugar, se han identificado los puntos de inflexión en las relaciones de los principales determinantes de la PTF. Estos niveles identificados permiten ofrecer información estratégica para optimizar los esfuerzos dedicados a la inversión en I+D, a los años de estudio reglados y a la actividad imitadora, en función del nivel de renta de cada país.

En tercer lugar, al poner el foco en la competencia y la desigualdad como elementos implicados en la actividad innovadora, se evidencia que un entorno global equilibradamente competitivo y una menor desigualdad proporciona un mayor potencial innovador a los países. Esto aporta información valiosa para promover políticas económicas diseñadas para reequilibrar la competencia mundial y reducir la brecha de ingresos en los países; ya que un progreso tecnológico más inclusivo se traduciría en un marco más favorable para la innovación.

Por otro lado, en cuanto a la situación económica de España, se evidencia una sobreacumulación de capital fijo en diferentes métricas. Esto sugiere que la estrategia tecnológica de España debería estar basada en la innovación propia. Sin embargo, su tejido empresarial intensamente concentrado en microempresas y empresas pequeñas condiciona la actividad innovadora. Durante las fases expansivas de la economía, se detectan dificultades de crecimiento en la PTF de estas dimensiones empresariales, al observar que su proceso de convergencia se ve interrumpido. Este hecho podría limitar el aumento del tamaño empresarial y privar al conjunto de la economía de un mayor impulso innovador. Por tanto, la investigación aporta evidencias empíricas sobre las posibles causas de la excesiva atomización empresarial en España, lo que puede ayudar a diseñar políticas económicas específicas para apoyar a las microempresas y empresas pequeñas a aumentar su tamaño empresarial.

## **Contenido y estructura del trabajo**

El contenido de la tesis doctoral se organiza a través de los siguientes capítulos. Tras esta introducción, en el primer capítulo se examina el agotamiento productivo que supone el continuo acopio de capital físico en el avance tecnológico de los países, con especial detalle para el caso de España. En el segundo capítulo, se analizan los tres principales factores relacionados con la actividad tecnológica de los países, y se identifican los puntos de inflexión en sus relaciones con la PTF. En el tercer capítulo, se pone de relieve la importancia de la competencia y la desigualdad en el marco económico donde se genera la innovación. En el cuarto capítulo, se analiza la dinámica de crecimiento de la PTF en los distintos tamaños empresariales de España. Finalmente, en el quinto capítulo se presentan las conclusiones obtenidas, incluyendo las limitaciones del estudio y las propuestas para futuras investigaciones. Toda la bibliografía utilizada se recoge al final del trabajo, junto con la información adicional en el anexo.

---

# **CAPÍTULO 1**

El agotamiento productivo del capital fijo  
en la estrategia tecnológica de los países

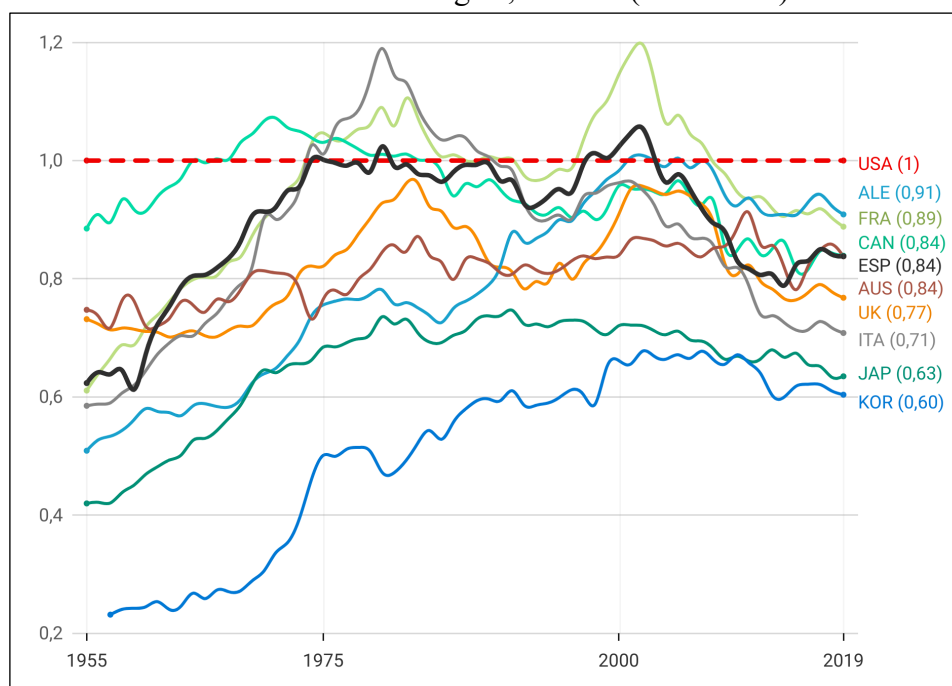
---

## 1.1. Introducción

El estudio del avance de los países hacia la frontera tecnológica ha sido, y sigue siendo, uno de los temas más desafiantes de la literatura económica. A pesar del masivo progreso tecnológico experimentado en las últimas décadas, el grueso de los países, incluso los más desarrollados, no logran alcanzar la frontera tecnológica. En líneas generales, Estados Unidos sigue siendo el país con mayor nivel tecnológico en la actualidad y continúa marcando la línea de demarcación en la dinámica tecno-económica mundial. En el plano empresarial, tomando como referencia el índice bursátil Nasdaq-100, el cual recoge a las cien empresas tecnológicas más importantes del mundo, se observa que el 89 % de ellas y nueve de las diez más grandes son estadounidenses<sup>8</sup>. Entre las cuales se encuentran compañías como Apple, Microsoft o Google, que, con más de dos billones de dólares de capitalización<sup>9</sup>, sobrepasan cada una de ellas el Producto Interior Bruto (PIB) del 95 % de los países.

De hecho, si se atiende a métricas agregadas capaces de medir el avance tecnológico, como la Productividad Total de los Factores (PTF), y dentro de las economías avanzadas (OCDE) de gran tamaño, Estados Unidos muestra los niveles más altos<sup>10</sup>. Visto en retrospectiva, al utilizar como referencia la PTF de Estados Unidos, en la figura 1.1 se puede apreciar que, aunque la evolución tecnológica de los países avanzados ha sido relativamente positiva a largo plazo, Estados Unidos logra distanciarse actualmente del resto de las economías.

Figura 1.1. Distancia a la frontera tecnológica, USA=1 (1955-2019)



Fuente: Elaboración propia con datos de PWT v.10.0.

<sup>8</sup> A fecha de enero del 2022: <https://www.nasdaq.com/market-activity/quotes/nasdaq-ndx-index>

<sup>9</sup> Trillón de dólares en términos americanos.

<sup>10</sup> Fuente: Pen World Table: <https://febpwt.webhosting.rug.nl/Dmn/AggregateXs/PivotShow>

El sistema capitalista, imperante a lo largo de estas últimas décadas en los países desarrollados, ha hecho de la acumulación de capital su principal fuente de crecimiento económico (Mankiw, Romer y Weil, 1992). Y a su vez, ha servido para apuntalar los cimientos de las modernas economías del conocimiento basadas en la innovación. Sin embargo, según la teoría, este progreso basado en la acumulación de bienes de capital presenta limitaciones y no es suficiente para impulsar el progreso técnico a largo plazo. Por ello, se hace necesario que los países adopten estrategias tecnológicas basadas en la innovación y potencien aspectos más allá del propio capital (Acemoglu, Aghion y Zilibotti, 2006). En este sentido, la inversión en tecnología (I+D), la mejora en el capital humano y la circulación del conocimiento a través de las economías se convierten en los principales combustibles del motor de la innovación y, por tanto, en los factores centrales de la planificación tecnológica a largo plazo en los países desarrollados.

Desde esta visión, el presente capítulo compara la evolución tecnológica de las diez mayores economías desarrolladas con el resto de los países. Teniendo en cuenta que el fácil acceso al capital físico<sup>11</sup> lo convierte en una de las principales fuentes de imitación para los países, el objetivo de la investigación es demostrar que su acumulación, por sí sola, no es suficiente para alcanzar y mantenerse en la frontera tecnológica mundial a largo plazo. Para ello, como se ha ilustrado en la figura 1.1, se utiliza la PTF para evaluar la distancia de los países respecto a la frontera tecnológica y estudiar su relación con el stock de capital fijo por trabajador. De este modo, se pretende demostrar que, aunque la estrategia imitadora basada en el acopio de capital ha contribuido a una gran convergencia, como se observará con el caso de España, el impulso tecnológico que proporciona finalmente se desvanece cuando se alcanzan distancias cercanas a la frontera tecnológica.

Para tal cometido, el capítulo se ordena en seis apartados. Tras esta introducción, en el siguiente punto se exponen algunos datos relevantes y se repasa la literatura relacionada. Posteriormente, en el tercer apartado, se describe la muestra de datos y se detalla la metodología empleada para el estudio. En el cuarto apartado, se presentan los resultados obtenidos y se analizan en el punto siguiente. Finalmente, el capítulo culmina con las principales conclusiones alcanzadas.

## **1.2. Algunos datos relevantes y revisión de la literatura**

### **1.2.1. Medir la frontera tecnológica**

La frontera tecnológica la define el país con mayor grado tecnológico. En términos agregados, el nivel tecnológico se puede aproximar a través de la PTF<sup>12</sup>, de modo que la

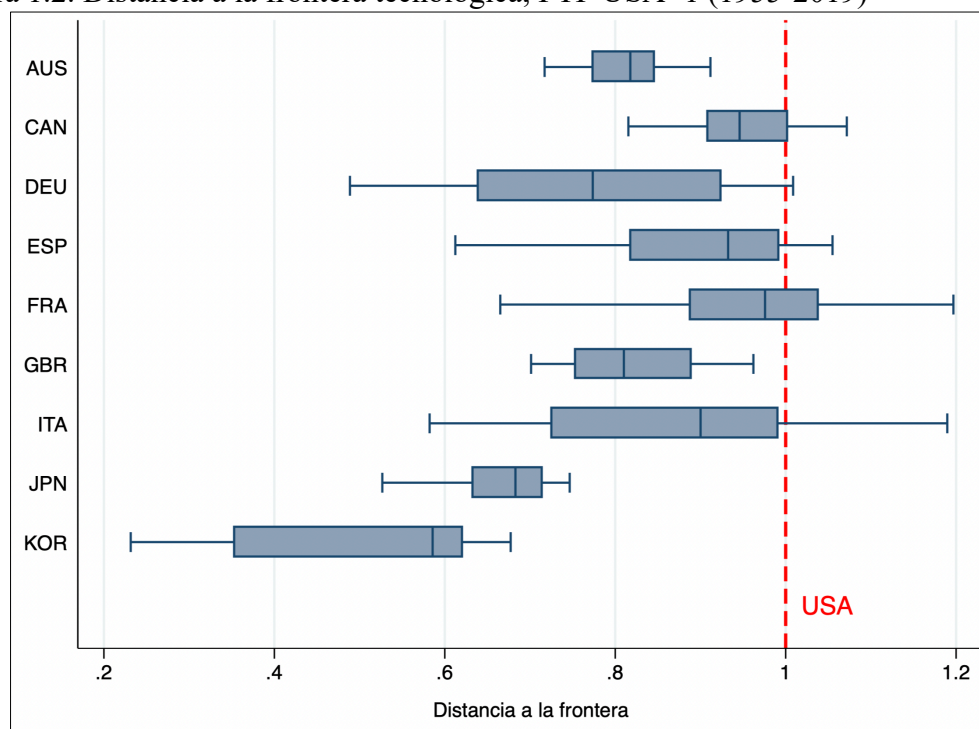
---

<sup>11</sup> Entendido como bienes de producción perdurables, como por ejemplo: maquinaria, instalaciones, infraestructuras, activos tangibles, etc.

<sup>12</sup> Véase trabajos de gran impacto como: Benhabib y Spiegel (2005) o Coe, Helpman y Hoffmaister (2008).

distancia a la frontera tecnológica se puede medir comparando la PTF del país objeto de estudio con la del país más aventajado, como así se muestra en Griffith, Redding y Van Reenen (2003). También existen otras métricas para realizar este contraste con resultados muy similares, como son el PIB per cápita o la productividad del trabajo, dada su fuerte correlación. En el ámbito empírico de la literatura especializada, Estados Unidos es el país de referencia para establecer la frontera de manera generalizada<sup>13</sup>. Convertirse en frontera tecnológica no es algo que un país logre en un año, sino a través de un largo proceso de acumulación de conocimiento aplicado al proceso productivo que asegura un crecimiento económico persistente. Por ello, para definir la frontera tecnológica se requiere de un largo periodo en el que observar el avance de los países. De nada sirve obtener buenas cifras en años puntuales sin poder mantenerlas en el tiempo. Por ejemplo, en 2019, según datos de Penn World Table (PWT), la PTF de Egipto y Trinidad Tobago superaban en un 17 % y 9 %, respectivamente, el nivel de Estados Unidos; unas cifras muy alejadas de las diferencias tecnológicas reales entre estos países.

Figura 1.2. Distancia a la frontera tecnológica, PTF USA=1 (1955-2019)



Fuente: Elaboración propia con datos de PWT v.10.0.

Según los datos de PWT, las diez mayores economías de la OCDE han experimentado grandes fluctuaciones en su progreso técnico desde 1955 hasta 2019. En la figura 1.2, que muestra la distribución de las cifras de PTF mediante un gráfico de cajas, se puede observar que tan solo Francia y, ligeramente, Canadá han logrado superar el nivel de Estados Unidos en el 25 % de los datos anuales. Sin embargo, sus medianas, como las del resto de los países, se mantienen alejadas de este nivel. Francia resulta un caso llamativo,

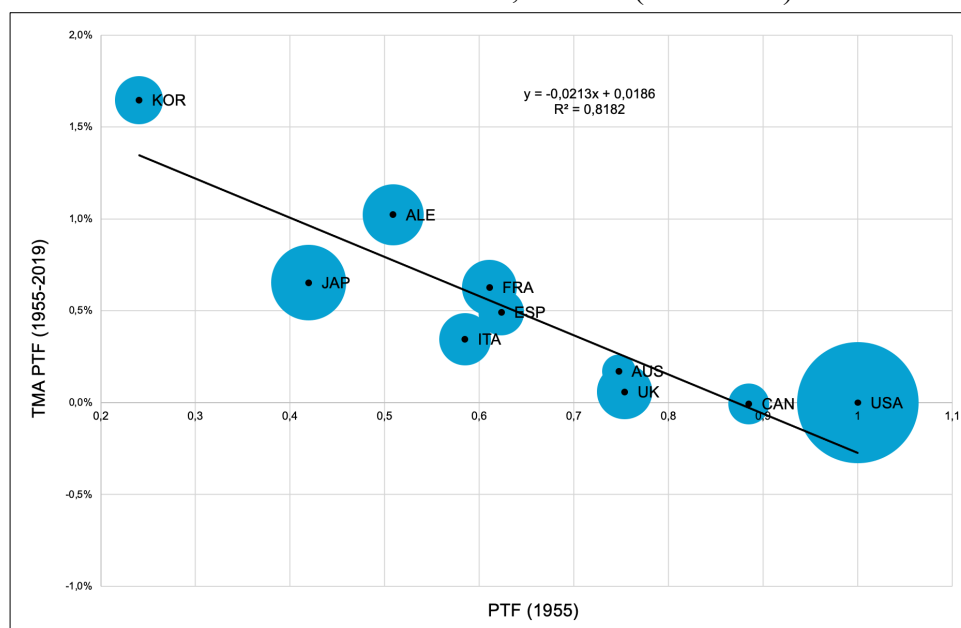
<sup>13</sup> Véase, por ejemplo, Ha y Howitt (2007).

ya que cerca del 50 % de los años logra superar el nivel estadounidense. En el caso de los cuartiles superiores, representados en el gráfico por los bigotes derechos, sí se observa la superación del nivel estadounidense también por más países, como son Alemania, España e Italia. Esto confirma que existen años en los que los países logran rendimientos de eficiencia productiva superiores a la frontera, pero no llegan a sostenerlos en el tiempo. Por lo tanto, considerando los datos a largo plazo, parece adecuado establecer a Estados Unidos como el país más aventajado tecnológicamente entre las economías avanzadas de gran tamaño, gracias a su liderazgo mantenido en la PTF durante las últimas décadas.

### 1.2.2. Convergencia limitada de los países

Asimismo, considerando el amplio rango de las cajas mostradas en la figura anterior y sus medianas orientadas mayoritariamente hacia la derecha, se puede deducir un acercamiento generalizado de los países hacia la frontera tecnológica en estos años. Ello responde a un proceso de convergencia, que se ve reflejado estadísticamente en la figura 1.3. Aquí se puede observar cómo los países con menor PTF en 1955 tienen tasas de crecimiento medio anual (TMA) superiores a los países más cercanos al nivel de Estados Unidos. La línea de tendencia de mínimos cuadrados (línea negra) presenta una fuerte inclinación y un gran ajuste, lo que se traduciría en una intensa y sólida convergencia entre las grandes economías avanzadas.

Figura 1.3. Evolución del avance a la frontera, USA=1 (1955-2019)



Nota: Las burbujas azules representan el tamaño poblacional en el año 2019. Fuente: Elaboración propia con datos de PWT v.10.0.

Al repetir este mismo ejercicio con datos anualizados de panel, relacionando la tasa de variación anual de la PTF con el nivel de partida del año anterior (figura 1.4), también se confirma este fenómeno. Una convergencia que coincide con las mediciones de Aghion

Antonin y Bunel (2021)<sup>14</sup> para el PIB per cápita de los 27 países de la OCDE (el denominado club de convergencia). Sin embargo, como también se puede apreciar en este mismo gráfico, la velocidad de convergencia en estos diez países no resulta tan intensa, y la diferencia con el resto de los países no es muy sustancial. Es más, la convergencia parece darse en promedio estadístico, ya que al comprobar la situación de los países en la actualidad, comparando la PTF de 1955 con la de 2019 (figura 1.5), la relación se mantiene creciente durante este periodo; lo que se traduce en una convergencia limitada y no total<sup>15</sup>. La mayoría de estas economías grandes se situaban en distancias de entre el 60 % y el 80 % en 1955, y tan solo Alemania (como se observaba en la figura 1.1) es capaz de superar tímidamente el 90 % en 2019, más de seis décadas después.

Figura 1.4. Convergencia PTF anualizada con datos de panel (1955-2019)

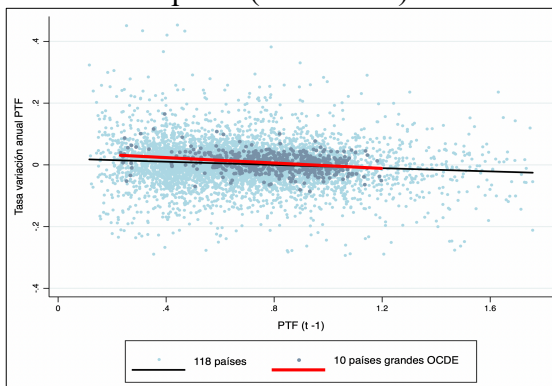
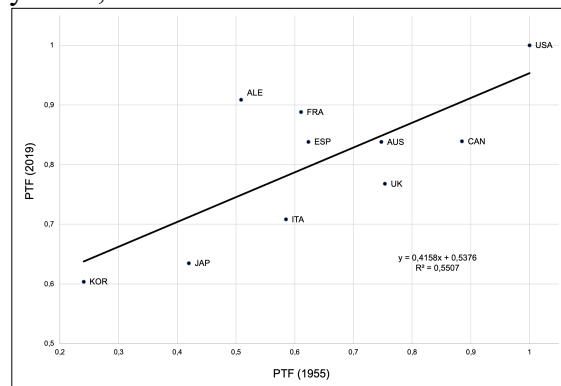
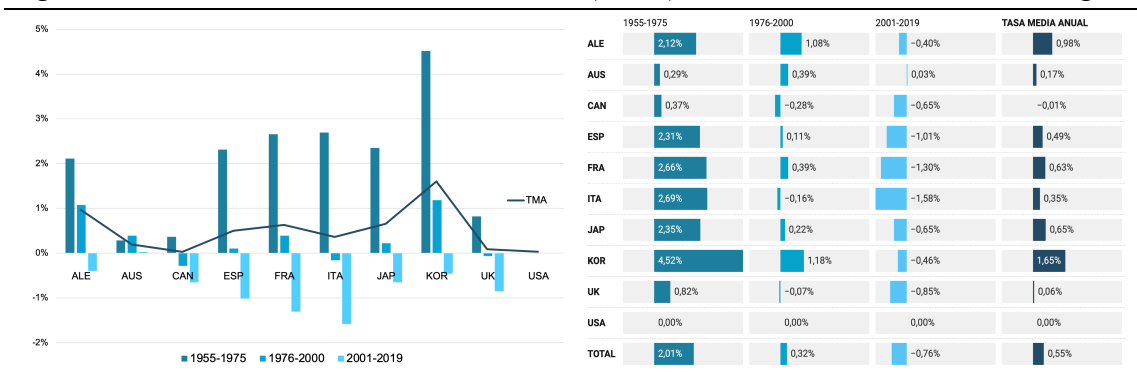


Figura 1.5. Distancia a la frontera en 1955 y 2019, USA=1



Nota: En los datos de panel, la línea de regresión se ha ajustado a 6.553 observaciones en el caso de los 118 países y a 591 en los 10 países grandes de la OCDE. Fuente: Elaboración propia con datos de PWT v.10.0.

Figura 1.6. Evolución de la tasa media anual (TMA) de avance a la frontera tecnológica



Fuente: Elaboración propia con datos de PWT v.10.0.

Profundizando sobre esta convergencia parcial, se pueden diferenciar tres periodos donde la evolución de los países ha mantenido una tendencia similar: el primero de una rápida convergencia (1955-1975); el segundo de una consolidación en la frontera (1976-2000); y el tercero de un distanciamiento de la frontera (2001-2019). Estas tendencias quedan

<sup>14</sup> Capítulo 7 del libro: El poder de la destrucción creativa. Editorial Deusto.

<sup>15</sup> Esta falta de convergencia también es detectada por más estudios para países de la OCDE. Por ejemplo, véase: Maudos, Pastor y Serrano (2000) o Margaritis, Färe y Grosskopf (2007).

expuestas en la figura 1.6 mediante las tasas de crecimiento medio anualizado de las PTF respecto a Estados Unidos.

En el primer periodo, comprendido entre 1955 y 1975, a excepción de Australia, Canadá y Reino Unido, los países cosecharon tasas de crecimiento relativo superiores al 2 % de media, donde en el caso de Corea del Sur (el país más retrasado tecnológicamente en 1955) superó el 4,5 %. Durante este periodo, se produjo un gran avance que permitió que países que partían de distancias muy alejadas en 1955, como España, Francia e Italia, lograran alcanzar, junto a Canadá, el nivel de Estados Unidos en el año 1975. Resulta sorprendente que estos tres países pudieran situarse en la frontera tecnológica en tan solo dos décadas ¿Qué ocurrió para que esto fuera posible? Se podría pensar que la dificultad de Estados Unidos para mantener su ritmo de progreso permitió a estas economías, que cosechaban grandes tasas de crecimiento, alcanzar inevitablemente la frontera tecnológica. Una explicación que coincide con los pronósticos económicos de convergencia (Howitt, 2000), cuya teoría apunta a la dificultad y al encarecimiento de generar ideas nuevas para continuar progresando tecnológicamente. Sin embargo, queda la pregunta de por qué los países que estaban más cerca de la frontera tecnológica, como Reino Unido o Australia, no lograron mantener su posición en las siguientes décadas.

Tras esta etapa de acercamiento generalizado a la frontera, en el siguiente periodo comprendido entre 1976 y 2000, la mayoría de estos países consolidaron su posición cerca de la frontera tecnológica. Las tasas de crecimiento se estabilizaron al 0,3 % de media y tan solo Alemania y Corea del Sur lograron superar el 1 %. Al finalizar este periodo, en el año 2000, Alemania consigue situarse en la frontera tecnológica junto a España y Francia, mientras que Italia y Canadá se alejaron ligeramente a niveles del 95 %. El Reino Unido y Australia seguían sin completar el *catch up*, situándose en niveles de entre el 80 % y el 90 %. Por su parte, los dos países asiáticos, Japón y Corea del Sur, terminan este periodo a distancias alejadas del 72 % y del 63 %, respectivamente. Por tanto, en este periodo, se puede observar cómo una gran parte de los países pudieron situarse en la frontera tecnológica. Esto inferiría un comportamiento similar en cuanto a su dedicación tecnológica. Sin embargo, si se comprueba el esfuerzo dedicado a I+D al finalizar este periodo, en el año 2000, y según datos del Banco Mundial, solo Alemania con el 2,40 % de inversión sobre el PIB y ligeramente Francia con el 2,09 % lograron acercarse al esfuerzo estadounidense, que se situaba en el 2,62 %. Países como Italia y, sobre todo, España no lograban superar el 1 % de inversión sobre el PIB.

Esto abre otro interrogante: ¿es posible alcanzar la frontera tecnológica sin una estrategia tecnológica basada en la innovación? De acuerdo con la teoría, a distancias lejanas, la forma de optimizar el avance tecnológico reside en una estrategia imitadora, para así aproximarse rápidamente a la frontera; pero el *catch up* total no se produciría sin esfuerzo innovador propio mediante una estrategia innovadora (Acemoglu, Aghion y Zilibotti, 2006). Este argumento se ajustaría al caso de Alemania y probablemente de Francia, por sus tasas de inversión en I+D relativamente cercanas a Estados Unidos. También explicaría el gran avance de Corea del Sur y Japón, dada su lejanía inicial de la frontera

tecnológica, pero ¿qué ocurre con España e Italia y su bajo esfuerzo innovador? Esto vuelve a ser una incógnita.

Por último, el periodo más reciente al actual, entre 2001 y 2019, se caracteriza por un distanciamiento generalizado de los países respecto a la frontera tecnológica. En su conjunto, este distanciamiento se produce a tasas superiores al 0,7 % de media anual. Solo Australia es capaz de acercarse tímidamente a la frontera con un avance relativo del 0,03 % de media en este periodo. Incluso los países más alejados de partida, como Japón y Corea del Sur, parecen perder su ventaja del seguidor y se distancian de la frontera a ritmos del 0,65 % y 0,46 % de media anual, respectivamente. Por su parte, países que habían alcanzado la frontera tecnológica, como Italia, Francia o España, sufren un distanciamiento considerable en este periodo a tasas anuales promedio del 1,6 %, 1,3 % y 1 %, respectivamente. Tampoco Alemania logra mantener su posicionamiento en la frontera, y termina este periodo a una distancia de diez puntos porcentuales respecto al nivel estadounidense.

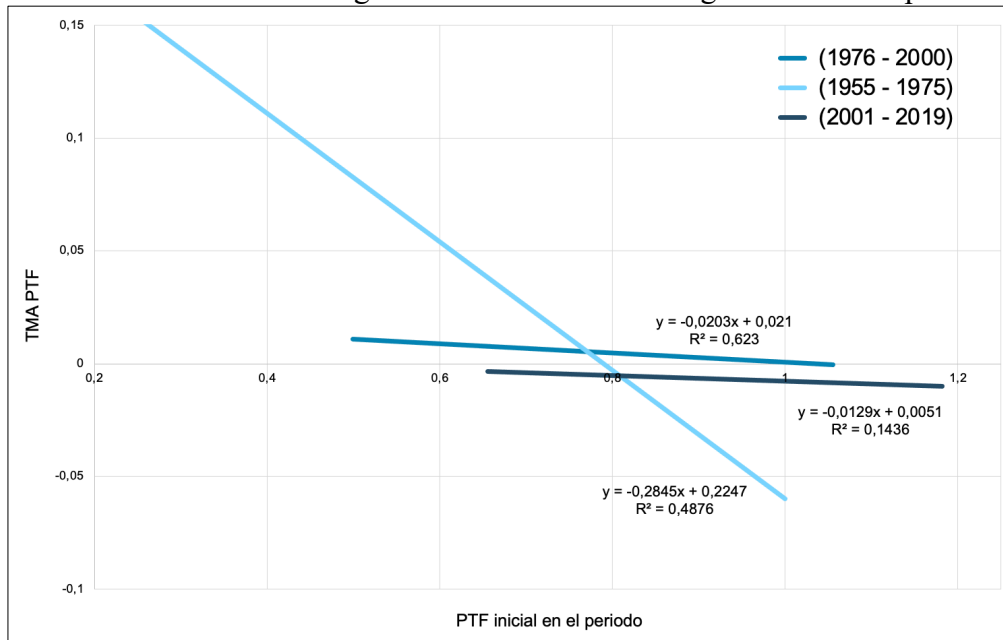
Esto lleva a preguntarse qué causó este alejamiento de las economías avanzadas de gran tamaño de la frontera tecnológica en este periodo. Se podría pensar que algún acontecimiento negativo, como la Crisis Financiera de 2008, pudiera afectar a la productividad de las economías y, así, al avance tecnológico que recoge la PTF. De hecho, todas estas economías se encuentran estrechamente interrelacionadas y sufren sistémicamente los colapsos. Sin embargo, hay que recordar que la frontera tecnológica viene definida por Estados Unidos, un país que arrancaría este periodo con el mayor atentado terrorista de su historia (11-S) y en el que posteriormente se detonaría masivamente la crisis financiera (2008). Por tanto, el avance tecnológico experimentado por Estados Unidos en este periodo, dejando atrás al resto de los países, vuelve a sumar otra incógnita.

En síntesis, se ha observado que, en el periodo comprendido entre 1955 y 2019, la evolución tecnológica de los países responde a una convergencia limitada. En primera instancia, los gráficos expuestos presentan, con un alto valor estadístico, una tendencia convergente en el conjunto de los países. Así, las rectas de mínimos cuadrados ordinarios se muestran decrecientes; confirmando que los países más alejados de la frontera tecnológica avanzan a un ritmo superior. Este fenómeno se intensifica en las diez mayores economías de la OCDE. Sin embargo, en la actualidad, y más de seis décadas después, el conjunto de los países sigue situándose relativamente lejos de la frontera tecnológica.

Cuando se fija la atención en las economías avanzadas de gran tamaño, parte del llamado club de convergencia, los países deberían situarse en la órbita más inmediata a la frontera tecnológica en la actualidad. En cambio, la fuerte convergencia estadística observada no se traduce en un *catch up* total. Al respecto, se han identificado tres periodos en los que estos países han avanzado de manera similar. En la figura 1.7, se puede observar que la velocidad de convergencia, representada por las rectas de mínimos cuadrados, se ha desacelerado fuertemente con el paso de los años. Solo en el primer periodo parece haber

un acercamiento relevante, mientras que en los dos periodos siguientes, este proceso se desacelera fuertemente sin llegar a completarse la convergencia total esperada.

Figura 1.7. Velocidad de convergencia a la frontera tecnológica de los diez países OCDE



Fuente: Elaboración propia con datos de PWT v.10.0.

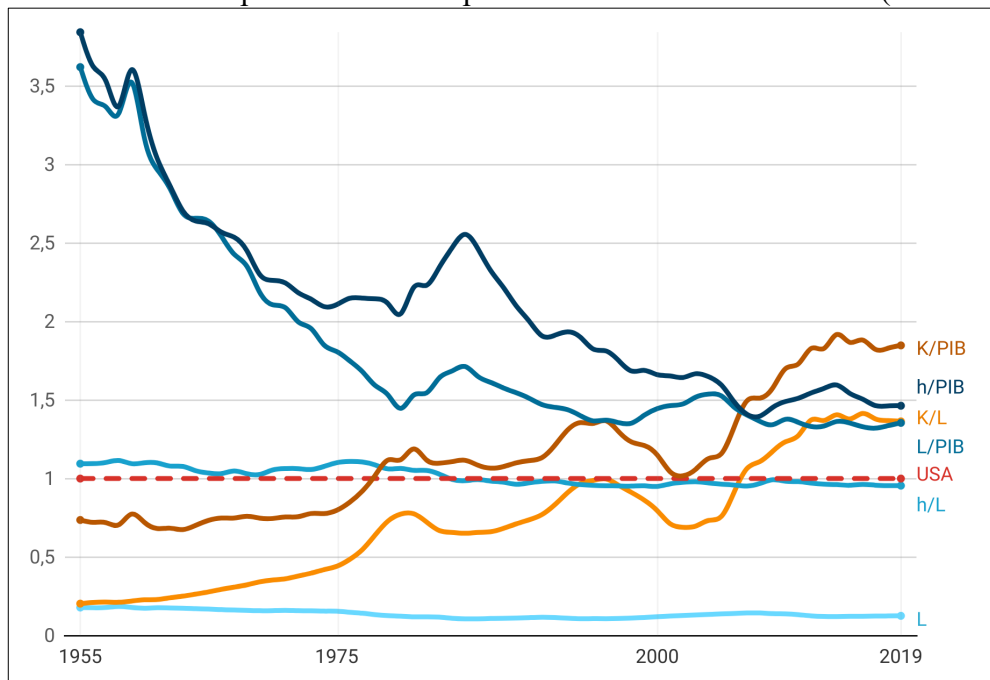
### 1.2.3. El caso de España

Entre las economías avanzadas de gran tamaño, uno de los casos más llamativos es el de España. A pesar de encontrarse a una gran distancia de la frontera tecnológica en 1955, este país logró completar el *catch up* en solo dos décadas y con una relativa escasa inversión en I+D. En 1955, el nivel de PTF de España suponía el 62 % del de Estados Unidos, y en 1974 esta brecha se cerraba completamente, alcanzando una tasa de crecimiento comparativa superior al 2,3 % de media anual durante estos años. Tras este rápido proceso de convergencia, España mantuvo un largo periodo de consolidación en torno a la frontera tecnológica, que incluso llegó a superar en algunos años. De hecho, su auge se produjo en el año 2002, cuando alcanzó su máximo histórico en PTF, superando en más de un 5 % la frontera tecnológica representada por Estados Unidos. Sin embargo, desde entonces, la PTF española ha experimentado una tendencia bajista que, tras la crisis financiera, en 2014, la alejaría hasta el 78 % respecto a Estados Unidos, para volver a rebotar al 84 % en 2019.

España es el mejor ejemplo de un país que, tras alcanzar el nivel de PTF de Estados Unidos, permaneció en la frontera tecnológica durante más de dos décadas. Pero, ¿qué ocurrió con el resto de sus métricas macroeconómicas en el largo plazo? Al analizar la evolución de sus principales factores agregados de producción, como el stock de capital físico y la fuerza laboral, en relación con la frontera tecnológica representada por Estados Unidos, también se observa un gran desarrollo. Esto se puede comprobar en la figura 1.8,

que muestra la evolución comparativa de los factores productivos de España, en diferentes métricas, desde 1955.

Figura 1.8. Factores de producción de España relativos a Estados Unidos (1955-2019)



Fuente: Elaboración propia con datos de PWT v.10.0.

Por un lado, atendiendo a la acumulación de capital fijo, se observa cómo España parte de un capital por PIB ( $K/PIB$ ) que supone el 78 % del de Estados Unidos en 1955. Es llamativo que, en todo el periodo, España prácticamente duplica la participación del capital en relación con el tamaño de su economía, llegando a superar la ratio estadounidense en un 84 % en 2019. En este proceso, en la primera etapa señalada anteriormente de 1955-1975, España se mantiene en una proporción de capital constante, que no llega a suponer más del 80 % de la frontera, coincidiendo con la rápida convergencia en la PTF observada. Es a partir de 1975 cuando España aumenta la participación de capital sobre su economía y supera la proporción del 80 % respecto a Estados Unidos. De hecho, coincidiendo con la segunda etapa de 1976-2000, en la que España se mantiene en la frontera tecnológica en la PTF, el capital utilizado se sitúa en proporciones similares o ligeramente superiores a las que utiliza Estados Unidos. Sin embargo, en la etapa de 2001-2019, España inicia una tendencia creciente en la acumulación relativa de capital fijo en relación a su producción. Este periodo coincide con el distanciamiento de la frontera que se observó anteriormente en la PTF. Además, esta participación del capital fijo se acentúa aún más cuando se mide en capital por trabajador ( $K/L$ ). En 1955, la dotación de un empleado de España suponía tan solo el 18 % de un empleado de Estados Unidos, mientras que, en 2019, llega a superarlo en más de un 36 %.

Por otra parte, en cuanto a la evolución de la fuerza laboral, se observa que la relación del número de trabajadores ( $L$ ) de España respecto a Estados Unidos se ha mantenido

constante y cercana al 15 % durante todo el periodo. Algo similar ocurre con la cantidad de horas de trabajo por empleado (h/L). En 1955, España superaba ligeramente las horas de trabajo de Estados Unidos en un 11 %, y, en 2019, España se sitúa en un 5 % por debajo, manteniendo una evolución constante entre estos dos niveles. Sin embargo, los cambios sustanciales en la evolución de España llegan con el esfuerzo laboral respecto al tamaño de su economía, cuya brecha con la frontera se ve reducida considerablemente. Al examinar la cantidad de empleados utilizados en la producción (L/PIB), se observa que España empleaba 3,5 veces más trabajadores que Estados Unidos en 1955, algo más si se mide en horas de trabajo en función del tamaño de la producción (h/PIB). Sin embargo, esta brecha se redujo de forma acelerada en la primera etapa (1955-1975) e incluso se mantuvo hasta 1980. En la actualidad, la diferencia de la fuerza laboral de España en relación al tamaño de su economía no ha logrado cerrarse completamente con respecto a la proporción utilizada por Estados Unidos. En estas métricas de producción, España emplea comparativamente un 35 % más de trabajadores y un 46 % más de horas de trabajo.

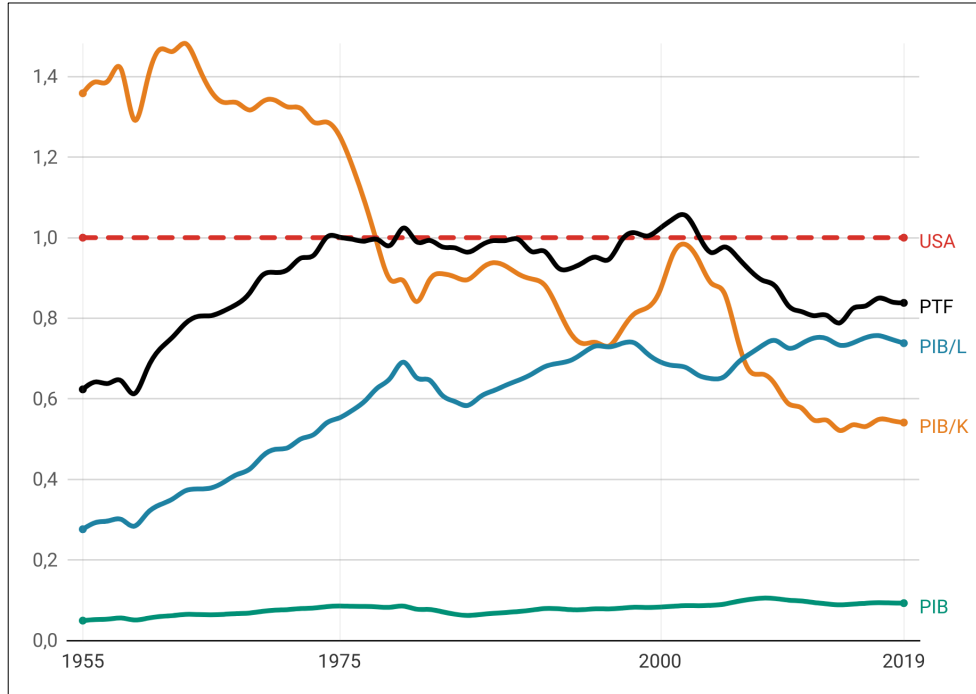
En conjunto, la comparativa muestra una evolución interesante. En la primera etapa (1955-1975), cuando España experimenta una fuerte convergencia hacia la frontera tecnológica a través de la PTF, hubo un gran aumento de capital fijo y se reduce la participación del esfuerzo laboral. En el segundo periodo (1976-2000), España continúa acumulando grandes cantidades de capital, esto le permite mantenerse en la frontera tecnológica y seguir reduciendo la participación del factor trabajo. Finalmente, en el periodo más actual (2001-2019), España no cesa en esta acumulación de capital, lo que le lleva a superar los niveles utilizados por la frontera tecnológica, tanto en capital por trabajador como en relación con el tamaño de su economía. Un acopio que ya no genera una reducción de su esfuerzo laboral, y que, como se señaló anteriormente, le distancia de la frontera tecnológica en la PTF.

Esta evolución descrita se manifiesta bien en la figura 1.9 con las productividades comparativas del capital y del trabajo respecto a Estados Unidos. Este gráfico muestra cómo la producción total comparativa (PIB) se incrementa en el caso español, pasando de un 5 % en 1955 a cerca del 8 % en 2019. Por su parte, en 1955, la productividad relativa del capital (PIB/K) es muy superior a la ofrecida por la del trabajo (PIB/L). En la primera etapa, esto se revierte fuertemente hacia los niveles estadounidenses, aumentando la productividad laboral y disminuyendo la del capital. Ello permite a la PTF converger aceleradamente hacia la frontera tecnológica.

Durante la segunda etapa, el rendimiento comparativo del capital sigue disminuyendo y mantiene una alta correlación con el avance de la PTF. Mientras que la productividad laboral continua con su tendencia alcista. En esta segunda etapa (1975-2000), los rendimientos de los factores productivos de España se mantienen en niveles comparativos más cercanos a Estados Unidos, y la PTF se sitúa más tiempo en la frontera tecnológica. En el año 2002, España vuelve a incrementar su productividad del capital, acercándola a los niveles de la frontera, y logrando superar la PTF estadounidense en un 5 %. Sin

embargo, tras este repunte, la productividad del capital cae en picado, y con ella la PTF, produciéndose un distanciamiento de la frontera tecnológica en la actualidad.

Figura 1.9. Productividad de los factores de producción de España relativos a Estados Unidos (1955-2019)



Fuente: Elaboración propia con datos de PWT v.10.0.

En términos generales, este análisis comparativo revela que España tiene un exceso de capital fijo con relación al tamaño de su economía y su fuerza laboral. Esta sobreacumulación comparativa, fundamentalmente en los últimos años, reduce los retornos del capital productivo y la aleja de la frontera tecnológica. Además, su productividad laboral no logra converger a los niveles estadounidenses, y, aunque su tendencia de largo plazo es creciente, parece estancarse en la última etapa. No obstante, esto último no parece ser el principal inconveniente, dado que España llegó a alcanzar la frontera tecnológica en la PTF sin situarse en las ratios de productividad laboral de Estados Unidos. Por tanto, el principal problema parece radicar en la sobreacumulación de capital físico, especialmente a partir de la década del 2000 con el auge inmobiliario (Díaz y Franjo, 2016).

Este argumento proporciona una explicación sencilla y razonable a los acercamientos y distanciamientos de la frontera tecnológica por parte de España, y en extensión a otros países con circunstancias y características similares. Sin embargo, también se podría pensar que la acumulación de capital físico fue un factor clave en la eficiencia productiva de hace décadas, cuando los países estaban centrados en una rápida industrialización y no necesitaban un alto grado tecnológico. La imitación de prácticas eficientes les permitió experimentar un fuerte crecimiento en un relativo corto plazo, pero a largo plazo, la innovación pasó a ser indispensable (Maudos, Pastor y Serrano, 2000).

#### 1.2.4. El capital fijo en el avance tecnológico

Históricamente, el capital ha sido, y sigue siendo, uno de los principales factores explicativos del crecimiento económico. Son multitud los modelos y estudios empíricos que utilizan el stock de capital para dar respuesta al comportamiento de la renta de las economías<sup>16</sup>. Sin embargo, el capital fijo también mantiene una estrecha relación con la tecnología. Esto supone que, en muchos casos, la línea que divide la contribución productiva entre ambos factores sea más que difusa. En otras palabras, no es fácil aislar individualmente la participación contable del capital físico y el progreso técnico de la producción.

La incorporación de nuevo capital físico no solo aumenta la capacidad productiva de un país, sino que también conlleva una transformación significativa en la estructura y los métodos de producción del entorno (Arrow, 1962). El capital físico puede interactuar y complementarse con otros factores, lo que fomenta la difusión del conocimiento e incrementa la productividad de la economía (Romer, 1986<sup>17</sup>). Además, la acumulación de capital puede generar efectos de aglomeración, aumentando la eficiencia y la mejora organizativa (Ellison, y Glaeser, 1997). Sin embargo, esta y otras externalidades productivas, que provienen de la tecnología incorporada al capital, son difíciles de atribuir a los activos físicos desde una perspectiva contable. Su contribución intangible en la producción, a través del conocimiento y la experiencia acumulada en su uso, solo puede medirse a través de la PTF.

Uno de los trabajos más recientes que estudia específicamente el impacto del capital fijo en el avance tecnológico es el realizado por Zhang (2020), quien examina la evolución de la PTF de China en el largo plazo (1952-2017). Este autor sostiene que el crecimiento de la PTF en el país asiático se debe fundamentalmente a las inversiones brutas en capital fijo en lugar de a la innovación. A través de un modelo bayesiano, en este estudio se observa cómo la PTF desarrolla una evolución no lineal, la cual se ve fuertemente impulsada por el capital físico en un inicio; pero que, finalmente, termina por tener un impacto negativo.

Por tanto, aunque el capital físico, junto con el trabajo, es capaz de definir en gran medida la función de producción de la economía, el stock de capital acumulado puede aproximarnos a explicar también el avance de los países hacia la frontera tecnológica desde una perspectiva empírica de mejora organizativa y de eficiencia, como base de la estrategia de imitación. Aunque esta estrategia puede generar un fuerte impulso para el avance de los países que aún no han explotado plenamente todos sus mecanismos de eficiencia, la contribución del componente tecnológico implícito en el capital fijo debería agotarse en última instancia en la estrategia tecnológica de los países. Así pues, sobre

---

<sup>16</sup> Véase, por ejemplo, los trabajos de Solow (1956), Swan (1956), Romer (1986) y Rebelo (1991). Actualmente, gran parte de los estudios empíricos al respecto parten de estos modelos metodológicos.

<sup>17</sup> En el modelo de Romer (1986), el progreso técnico se introduce a través de externalidades (*knowledge spillovers*). Esto implica que el conocimiento generado por la acumulación de capital en una empresa puede beneficiar a otras empresas y, en consecuencia, al resto de la economía (Sala-i-Martin, 1994).

estas bases, el objetivo de la investigación es examinar el comportamiento tecnológico del stock de capital físico en el largo plazo y evidenciar si su acumulación pierde eficacia en la estrategia tecnológica a medida que las economías se desarrollan.

### **1.3. Datos y metodología**

La estrategia metodológica empleada sigue los siguientes pasos. En primer lugar, se confecciona un panel de datos balanceado con 118 países para el periodo de 1955-2019. Seguidamente, con el foco puesto en las diez mayores economías desarrolladas, se presenta un modelo no lineal para explicar, mediante un análisis de regresión, el comportamiento que desarrolla el capital fijo en el avance tecnológico de los países en los tres periodos mencionados anteriormente.

#### 1.3.1. Datos de los países

Los datos de los países utilizados para la investigación se obtienen de la base de datos que ofrece PWT versión 10.0 (Feenstra, Inklaar y Timmer, 2015). PWT es una base de datos que contiene una amplia gama de variables agregadas de todos los países en el largo plazo y, al ser utilizada en multitud de investigaciones, ofrece la posibilidad de contrastar tanto los datos utilizados como los resultados obtenidos. La muestra total empleada cuenta con hasta 118<sup>18</sup> países para el periodo de 1955-2019. Con estos datos se obtiene la información necesaria para configurar un panel de datos completamente balanceado, como material empírico para realizar los análisis. En particular, el estudio se centra en el comportamiento de las diez economías avanzadas de mayor tamaño. Para definir a estas economías mencionadas en epígrafes anteriores, se recurre a los diez mayores PIB de los países de la OCDE en el año 2019 (en 2022, Méjico supera a España en este ranking). Aquí se encuentran por orden de magnitud: Estados Unidos, Japón, Alemania, Reino Unido, Francia, Italia, Canadá, Corea del Sur, Australia y España. Un conjunto de países cuyas complejidades pueden ser homogéneas y comparables. En todos los casos, entre otros parámetros, el tamaño de sus economías supera el billón de euros (en su conjunto suponen más del 52 % de la economía mundial), sus PIB per cápita superan los 25.000 euros (PPA) y sus poblaciones incluyen a más de 25 millones de habitantes.

#### 1.3.2. Modelo de agotamiento del capital en el avance tecnológico

Para evaluar el impacto de la acumulación de capital fijo en el avance tecnológico, se utiliza un modelo de naturaleza no lineal. El objetivo es determinar si el rendimiento del capital disminuye a medida que los países se aproximan a la frontera tecnológica. Para ello, como se muestra en la ecuación [1.1], se propone explicar la distancia a la frontera tecnológica de los países mediante una función cuadrática del capital fijo acumulado. De

---

<sup>18</sup> Véase los países en el Anexo A.1.

tal modo que, si el coeficiente  $\beta_1$  es mayor que cero y  $\beta_2$  es menor que cero, el stock de capital tiene una relación decreciente en forma de “U” invertida con la distancia a la frontera tecnológica (PTF GAP). Por el contrario, si  $\beta_1$  toma valor negativo y  $\beta_2$  valor positivo, la relación se torna en forma de “U”.

$$PTF\ GAP_{(it)} = \beta_0 + \beta_1 \log k_{(it)} + \beta_2 \log k^2_{(it)} + \beta_3 X_{(it)} + u_{(it)} + \mathcal{E}_{(it)} \quad [1.1]$$

En la ecuación [1.1], [PTF GAP] es la distancia a la frontera tecnológica, medida como el cociente de la PTF del país [i] en el periodo [t] respecto a la PTF de Estados Unidos<sup>19</sup>. [ $\log k$ ] es el logaritmo del stock de capital fijo por trabajador<sup>20</sup> y [ $\log k^2$ ] su cuadrado. Mientras que [X] es una variable de control que añade, en función de la disponibilidad de los datos, las horas de trabajo por empleado (h/L) en logaritmo. Por su parte, [u] es el efecto individual no observado y [ $\mathcal{E}$ ] el error de cada país en el periodo.

Tabla 1.1. Descripción estadística de las variables

	Variable	Obs.	Media	Desv. Típica	Mínimo	Máximo
1955-1975	<b>Total países (88)</b>					
	PTF GAP	1.522	0,749	0,260	0,145	1,599
	log k	2.226	4,422	0,650	2,494	6,458
	<b>10 países OCDE</b>					
	PTF GAP	195	0,701	0,201	0,231	1,071
	log k	231	4,937	0,284	4,303	5,366
1976-2000	<b>Total países (118)</b>					
	PTF GAP	2.605	0,723	0,268	0,115	1,593
	log k	3.893	4,642	0,640	2,758	6,168
	<b>10 países OCDE</b>					
	PTF GAP	225	0,865	0,154	0,471	1,190
	log k	225	5,340	0,213	4,564	5,646
2001-2019	<b>Total países (118)</b>					
	PTF GAP	2.226	0,651	0,25	0,136	1,525
	log k	3.339	4,966	0,581	3,352	6,058
	<b>10 países OCDE</b>					
	PTF GAP	171	0,84	0,126	0,601	1,197
	log k	171	5,606	0,124	5,271	5,890
TOTAL	<b>Total países (118)</b>					
	PTF GAP	6.553	0,704	0,263	0,115	1,599
	log k	9.458	4,705	0,657	2,494	6,458

<sup>19</sup> La variable PTF GAP ya viene calculada en la propia base de datos de PWT v.10.0 en niveles de paridad del poder adquisitivo (PPA), donde Estados Unidos = 1.

<sup>20</sup> PWT v.10.0 en dólares de 2017 (PPA).

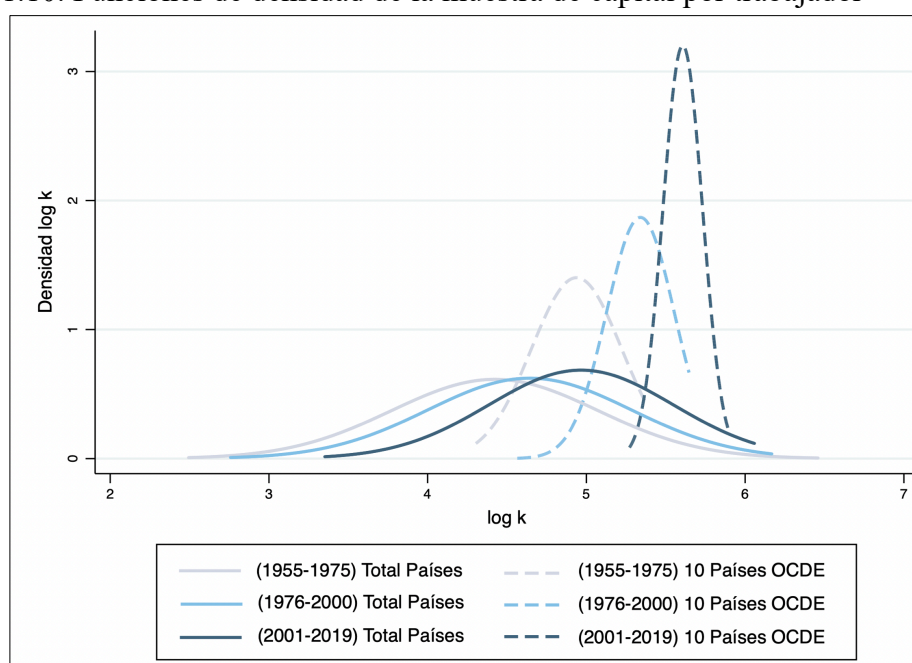
### 10 países OCDE

PTF GAP	591	0,804	0,180	0,231	1,197
log k	627	5,264	0,351	4,303	5,890

Nota: Los datos de PTF GAP de los 10 países OCDE no incluye a Estados Unidos. Fuente: Elaboración propia.

La descripción estadística de los datos utilizados queda detallada en la tabla 1.1 por submuestras y periodos. Como se puede observar, la distancia a la frontera (PTF GAP) máxima ha sido limitada, en particular, eliminando los datos atípicos de los años que superaban el nivel de Estados Unidos en más de un 60 %, fundamentalmente por parte de los países productores de petróleo. Por otro lado, en la figura 1.10 se representa la densidad de las distribuciones de los datos de capital por trabajador. En este gráfico, se puede apreciar claramente que, en promedio, las diez mayores economías de la OCDE acumulan más capital que la muestra total de países en estos años

Figura 1.10. Funciones de densidad de la muestra de capital por trabajador



Fuente: Elaboración propia.

Antes de efectuar las regresiones, se lleva a cabo la prueba de Hausman para determinar si existe una estrecha correlación entre los datos del capital utilizados y los efectos individuales no observados de los países. El test realizado rechaza la hipótesis de no correlación, por lo que se realizan las mediciones con el estimador de efectos fijos (FEM, por sus siglas en inglés). Adicionalmente, ante la posible heterocedasticidad del panel, se corrigen los errores estándar (opción *robust*) para evitar sesgos e ineficiencias en los coeficientes estimados. Además, se incluye la intensidad del trabajo en horas realizadas como variable de control relacionada con la mano de obra, debido a las diferencias en el tiempo de trabajo entre los distintos países.

## 1.4. Resultados

En la tabla 1.2 se ofrecen los resultados obtenidos para los tres periodos de análisis y el total agregado. Desde una perspectiva general, en vista de que los coeficientes estimados se invierten de signo en las mediciones cuadráticas, se puede confirmar que, con significatividad estadística, las estimaciones llevadas a cabo se ajustan a relaciones no lineales. Según los datos disponibles, a partir del segundo periodo se incluye el número de horas de trabajo por empleado en la muestra de los diez países como variable explicativa de control, cuya significatividad estadística también se muestra relevante. Por su parte, según los  $R^2$ , la variabilidad que experimenta el avance tecnológico de los países se explica en buena parte con la acumulación de capital físico por trabajador. Sin embargo, en estas explicaciones, la relación entre el capital y el avance tecnológico evoluciona de forma diferente a lo largo de los periodos y en las distintas muestras de países, tal y como se podía suponer.

Tabla 1.2. Resultados de la regresión FEM

Var. Dep. (PTF GAP)	(1955-1975)		(1976-2000)		(2001-2019)		TOTAL	
	Total	10 Países	Total	10 Países	Total	10 Países	Total	10 Países
<b>Log k</b>	-0,64 *** (0,20)	-0,98 (0,69)	-1,80 *** (0,37)	1,93 *** (0,69)	1,43 *** (0,46)	3,73 *** (1,23)	-0,75 *** (0,22)	5,49 *** (0,61)
<b>Log k<sup>2</sup></b>	0,09 *** (0,02)	0,15 ** (0,15)	0,19 *** (0,04)	-0,19 *** (0,06)	-0,16 *** (0,04)	-0,38 *** (0,11)	0,08 *** (0,02)	-0,53 *** (0,06)
<b>Log h/L</b>	-	-	-	-0,86 *** (0,12)	-	-0,16 (0,17)	-	-0,95 *** (0,18)
<b>Cte.</b>	10,91 *** (2,37)	2,47 (5,49)	13,16 *** (4,83)	8,52 * (3,77)	-8,49 * (4,35)	-1,78 (4,52)	1,37 (2,52)	-6,00 *** (7,84)
<b>Países</b>	88	10	118	10	118	10	118	10
<b>Obs.</b>	1522	218	2605	247	2226	190	6353	643
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,12	0,49	0,08	0,24	0,35	0,14	0,07	0,61

Nota: Coeficiente con significatividad estadística al [\*10 %]; al [\*\*5 %]; al [\*\*\*1 %]. Error estándar robusto entre paréntesis. Elaboración propia.

Los resultados del primer periodo (1955-1975), tanto en los diez países de la OCDE como en la muestra total, revelan un rendimiento creciente del capital físico en el avance de los países hacia la frontera tecnológica. En este periodo, se puede observar cómo, en las diez economías avanzadas, la relación entre el capital por trabajador y el avance tecnológico se muestra positiva y estadísticamente lineal, mientras que la relación en el total de los países resulta ser comparativamente más débil. En el siguiente periodo (1976-2000), la relación se intensifica en todas las economías. Es decir, el capital acumulado por trabajador ofrece un mayor avance tecnológico al total de los países en este periodo. Sin embargo, en los diez países de la OCDE, se puede observar que la relación se vuelve decreciente, como evidencia el cambio a signo negativo en el coeficiente cuadrático

estimado del capital. En otras palabras, la acumulación de capital físico por parte de las economías avanzadas alcanza un punto de inflexión en el cual no se genera un mayor acercamiento a la frontera tecnológica. Este comportamiento se hace más evidente en el periodo más reciente (2001-2019), con un aumento en la magnitud del coeficiente cuadrático estimado en estos países. Además, en la muestra total también comienza a reflejarse este comportamiento decreciente de media.

Por tanto, en el largo plazo, los resultados indican que, en promedio, una mayor dotación de capital físico por empleado tiende a acercar a los países a la frontera tecnológica de un modo positivo y creciente cuando el stock de capital es relativamente bajo. Pero en las economías avanzadas, en este caso de gran tamaño, la acumulación de capital ya no les supone ningún avance tecnológico adicional, y su relación con la frontera tecnológica en el largo plazo se muestra decreciente, con un gran ajuste en el modelo.

Para verificar la consistencia de los resultados obtenidos, la estimación realizada se contrasta con el comportamiento de las importaciones por trabajador como variable alternativa del capital fijo. Aunque las importaciones incluyen adquisiciones extranjeras que no se limitan exclusivamente al capital físico, como las materias primas o los servicios, una gran parte de ellas se compone de bienes de equipo. Esto se evidencia en la fuerte correlación estadística entre las importaciones por trabajador y el capital físico en el periodo analizado (gráfico A.2, anexo). Así pues, el análisis de regresión efectuado al respecto (tabla A.3, anexo) muestra un resultado similar al obtenido por el capital fijo. Esta consistencia en los resultados a través de diferentes enfoques refuerza la confiabilidad y robustez de los hallazgos.

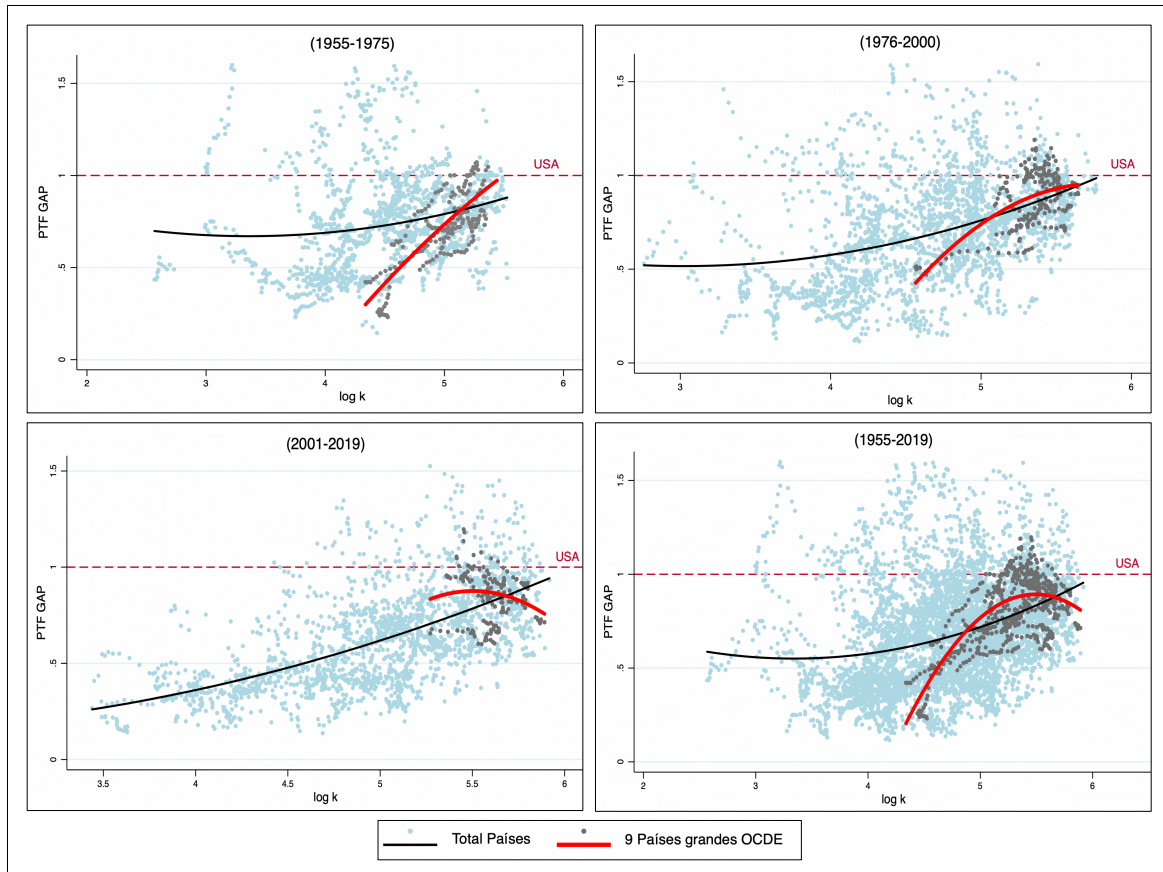
## **1.5. Análisis de los resultados**

Para analizar los resultados, se han representado las relaciones obtenidas gráficamente. En la figura 1.11, se muestra el comportamiento que exhibe la acumulación de capital fijo por trabajador en el avance tecnológico de los países en los distintos periodos. En esta figura, se puede comprobar claramente las diferencias entre el conjunto total de los países y las diez economías avanzadas de gran tamaño.

En el primer periodo de 1955-1975, el capital fijo mantiene una relación positiva con la distancia a la frontera tecnológica. Esta relación es mucho más intensa en las economías avanzadas, donde la relación toma una tendencia lineal con una inclinación pronunciada. Esto demuestra que los países desarrollados con mayor stock de capital fijo por empleado en esta fase logran situarse cerca de la frontera tecnológica. Un hecho que, en promedio, también se extiende al conjunto total de los países, aunque en mucha menor intensidad, ya que, además de existir una gran dispersión en las cifras reportadas, la tendencia es menos pronunciada. Hay que recordar que en esta temporalidad se cuenta con menos

países en la estimación total. En el siguiente periodo, al disponer de los 118 países, se puede observar con claridad la relación positiva y solida que mantiene la acumulación de capital en el avance de los países hacia la frontera tecnológica. Sin embargo, en esta fase, también se puede apreciar cómo la tendencia alcista de los diez países desarrollados comienza a desacelerarse, y finalmente se detiene en el periodo más reciente (2001-2019).

Figura 1.11: Distancia a la frontera tecnológica y capital fijo por trabajador en los países



Nota: Se representan con puntos grises y una línea de regresión roja las cifras de los nueve países de mayor tamaño de la OCDE, a excepción de Estados Unidos (USA), que se define en la frontera tecnológica ubicada en la unidad por una línea discontinua de color rojo. El total de países suponen hasta 118 disponibles en la muestra, cuyas cifras se representan mediante puntos azul claro y una línea de regresión negra. Elaboración propia.

Esto demuestra que, en los países desarrollados, un mayor capital fijo por unidad de trabajo ya no genera un avance tecnológico adicional; mientras que, en la muestra total, la relación sigue siendo positiva y lineal. La tendencia de los diez países desarrollados se puede ver claramente en el gráfico de largo plazo (1955-2019), en el cual se puede observar cómo, a diferencia del conjunto total de los países, el rendimiento marginal del capital por trabajador es decreciente, de modo que el aumento en el stock de capital ya no impulsa un mayor avance tecnológico por sí solo. Además, esta relación también se confirma para las importaciones por trabajador, como una prueba complementaria de robustez (gráfico A.4, anexo).

Así pues, la evidencia estadística aportada refuerza empíricamente las predicciones sobre la convergencia de los países<sup>21</sup>, en este caso desde un enfoque tecnológico (Howitt y Mayer, 2005). De tal modo que, *ceteris paribus*, la continua acumulación de capital fijo por unidad de trabajo no permite, por cuenta propia, un avance tecnológico permanente. Cuando los países alcanzan un cierto nivel de desarrollo, el rendimiento de la estrategia tecnológica basada en aumentar continuamente la dotación de capital fijo por empleado termina agotándose. Visto de otro modo, la inversión en imitación tecnológica deja de ser efectiva. De hecho, como se describe en el modelo de Acemoglu, Aghion y Zilibotti (2006), mantener esta senda estratégica parece encaminar a los países hacia un estado de equilibrio tecnológico que les aleja de la frontera tecnológica. Como señalan Howitt y Mayer (2005), la capacidad de absorción tecnológica tiende a erosionarse.

Empíricamente, al tomar como referencia la estimación de largo plazo de las diez economías desarrolladas, se puede cuantificar que el umbral en el cual un incremento adicional de capital comienza a generar un rendimiento decreciente se encuentra alrededor de los 150.000<sup>22</sup> dólares por empleado. Por poner en contexto, España logró alcanzar ese nivel en 1978. En 2019, el promedio de capital por trabajador en los diez países avanzados se situó en cifras cercanas a los 490.000 dólares por trabajador. No obstante, para el conjunto de los países que no pertenecen al club de los ingresos altos<sup>23</sup>, la media de capital por empleado en 2019 descendería hasta los 110.000 dólares. Por tanto, entre otros muchos factores, hay que tener presente que el ingrediente del capital fijo en la receta tecnológica seguiría muy vigente para muchos países. Pero no así para las economías desarrolladas, cuyo nivel alcanzado no solo requiere de una mayor sofisticación de su estrategia tecnológica, sino de las condiciones propicias para la actividad innovadora, dada su proximidad a la frontera tecnológica.

## 1.6. Conclusiones

En este capítulo, se ha puesto de manifiesto el agotamiento productivo que supone el continuo acopio de capital físico en el avance tecnológico de las economías avanzadas de gran tamaño. En primer lugar, utilizando un análisis descriptivo de contraste, se ha examinado la evolución tecnológica de los países en el largo plazo (1955-2019) mediante la distancia a la frontera tecnológica definida por la PTF de Estados Unidos. Ello ha permitido observar una convergencia tecnológica limitada, y tres periodos diferenciados en las diez mayores economías avanzadas: acercamiento a la frontera (1955-1975), consolidación en la frontera (1976-2000) y distanciamiento de la frontera (2001-2019). El caso de España ha servido como ejemplo ilustrativo para analizar la evolución de los

---

<sup>21</sup> Véase, por ejemplo, Mankiw, Romer y Weil (1992) o Barro y Sala-i-Martin (1997).

<sup>22</sup> Maximización de la función cuadrática:

$f = \beta_1 k - \beta_2 k^2$ ;  $df/dk = f'(k) = \beta_1 - 2\beta_2 k = 0$ ;  $k = \beta_1 / 2\beta_2$ ;  $k = 5,49 / (2 * 0,53) = 5,18$  (log);  $k = 151.093\$$

<sup>23</sup> Según la clasificación que establece el Banco Mundial.

principales factores productivos en estos periodos y evidenciar la sobreacumulación relativa de capital fijo en distintas métricas.

Para el propósito de demostrar empíricamente el agotamiento del capital fijo como fuente del progreso tecnológico, se ha confeccionado un panel de datos de 118 países en el periodo de 1955-2019 y se ha utilizado un modelo no lineal para explicar la relación entre el stock de capital fijo y el avance tecnológico de los países. Así, y mediante un análisis de regresión, se ha demostrado que la productividad del capital fijo por empleado se vuelve marginalmente decreciente con la distancia a la frontera tecnológica en el largo plazo. De modo que, en promedio, cuando el stock de capital por trabajador es relativamente bajo, su aumento impulsa un rápido acercamiento a la frontera tecnológica. Sin embargo, una vez que se alcanza cierto nivel, el cual se ha estimado que rondaría el umbral de los 150.000 dólares por empleado, su incremento ya no conduce a un avance tecnológico adicional.

Con estos resultados se ha podido demostrar empíricamente el desgaste que supone la estrategia imitadora en el avance tecnológico de los países más cercanos a la frontera tecnológica. Asimismo, el umbral de capital fijo por trabajador identificado permitiría determinar cuándo un país precisa dejar atrás la senda imitadora y orientar su estrategia tecnológica en la innovación. Y puesto que los países desarrollados sobrepasan con creces este umbral, es importante seguir investigando sobre el avance tecnológico de los países y, en particular, sobre los factores estratégicos que determinan la capacidad para innovar.

---

## **CAPÍTULO 2**

Puntos de inflexión en los factores  
estratégicos del avance tecnológico de los  
países

---

## 2.1. Introducción

No resulta sencillo determinar las claves del avance tecnológico de los países. Aunque podemos observar indirectamente sus efectos en la economía, el carácter tácito del conocimiento en el que se basa la tecnología hace que su comportamiento sea menos predecible que otros aspectos vinculados con el crecimiento económico. No obstante, la tecnología comparte ciertas características similares con otros factores de producción, como su capacidad acumulativa y la necesidad de inversión en ella. En este sentido, al considerar la tecnología como parte integrante del proceso de producción (Romer, 1990), aspectos como el esfuerzo en investigación y desarrollo (I+D) y el capital humano se han convertido en las principales fuerzas que determinan el stock de conocimiento necesario para progresar tecnológicamente y, en efecto, generar un crecimiento económico persistente en el tiempo. La endogenización del progreso técnico ha dado lugar a una amplia gama de modelos económicos (Grossman y Helpman, 1991; Aghion y Howitt, 1992), pero su aplicación empírica ha generado controversias y resultados poco concluyentes (Levine y Renelt, 1992; Jones, 1995).

En la práctica, el progreso técnico se ha tratado de aproximar a través de la PTF, una variable que ha permitido comparar de forma objetiva la evolución de la eficiencia y el cambio tecnológico de las economías. Durante los últimos cuarenta años, la literatura económica ha prestado una gran atención a los factores determinantes de la PTF (Danquah, Moral-Benito y Ouattara, 2013; Kim y Loayza, 2019), especialmente a tres de ellos: la distancia a la frontera tecnológica, la inversión en I+D y el capital humano. Con el propósito de explicar el desempeño tecnológico de los países, en la mayoría de las investigaciones, estos factores han sido modelizados mayoritariamente a través de relaciones lineales, ya sea considerándolos de forma aisladamente o en conjunto<sup>24</sup>. Sin embargo, estos enfoques no solo han arrojado resultados empíricos dispares, sino que también han prestado una escasa atención a la posibilidad de que las relaciones entre las variables explicativas y la PTF no sean lineales, lo que ha suscitado el interés de investigar estos posibles escenarios.

Por tanto, este capítulo está dedicado a examinar la existencia de rendimientos no lineales en estos tres factores determinantes del avance tecnológico de los países, con el objetivo de precisar empíricamente cuáles son los niveles óptimos para el cambio tecnológico reflejado en la PTF. La identificación de estos posibles puntos de inflexión podría aportar información valiosa para orientar el rumbo de las estrategias tecnológicas de los países y optimizar los esfuerzos que se dedican a estos factores.

Para llevar a cabo este propósito, el capítulo consta de seis apartados. Tras esta breve introducción, en el apartado siguiente, se presenta el marco literario de referencia y se desarrolla el objetivo de la investigación. A continuación, en el tercer punto, se describe el material y la metodología empleada. En el cuarto apartado, se exponen los resultados

---

<sup>24</sup> Véase, por ejemplo, Manca y Piroli (2011), Vogel (2015) o Gehringer, Martínez-Zarzoso y Danzinger (2016).

alcanzados, seguidos de una discusión sobre ellos. Finalmente, se ofrecen las conclusiones alcanzadas en el sexto apartado.

## 2.2. Revisión de la literatura

En la actualidad, los paradigmas dominantes sobre el estudio del avance tecnológico se concentran principalmente en la innovación y sus externalidades en las economías (Coe, Helpman y Hoffmaister, 2008). En este sentido, autores como Guimire, Kapri y Rahman (2018) destacan el importante papel de la innovación en el crecimiento de las economías avanzadas, así como en las menos desarrolladas que pueden beneficiarse de la imitación tecnológica. Sin embargo, en la extensa literatura que estudia el cambio tecnológico desde una perspectiva lineal<sup>25</sup>, persisten las dudas acerca del comportamiento de los tres principales determinantes de la PTF: la distancia a la frontera tecnológica, la inversión en I+D y el capital humano. Por tanto, esta revisión de la literatura especializada se centra en poner de relieve las discrepancias empíricas que dan lugar a plantearse las posibles relaciones no lineales al respecto.

### 2.2.1. La distancia a la frontera tecnológica

Desde una perspectiva empírica, la PTF ha permitido medir el avance de los países en la carrera tecnológica. La difusión y adopción de tecnología ha cambiado sustancialmente el desarrollo de esta carrera. Los países más retrasados tecnológicamente no solo tienen un mayor potencial de avance, sino que también pueden adoptar estrategias que abarcan desde la imitación de tecnología ajena hasta la innovación propia. A este respecto, el progreso técnico de las economías menos avanzadas ha sido ampliamente estudiado tanto en el ámbito macroeconómico (PTF de los países<sup>26</sup>) como en el microeconómico (PTF de las empresas<sup>27</sup>). Estos estudios sugieren que las economías con menor conocimiento tecnológico acumulado tienen mayor facilidad para reducir la brecha con la frontera tecnológica cuanto mayor es su lejanía. Se trata de una ventaja que dispone el dependiente tecnológico, y que se ve respaldada estadísticamente por una gran cantidad de estudios empíricos<sup>28</sup>.

Sin embargo, este mayor avance relativo no parece generarse de forma automática ni desarrollarse de forma lineal, como demuestra Özak (2018), pues el adecuado dominio de la tecnología foránea requiere de una gran diversidad de capacidades de absorción tecnológica. Fue Abramovitz (1986) quien expuso que una mayor capacidad (en términos educativos, empresariales, institucionales, comerciales, etc.) permitía aprovechar de

---

<sup>25</sup> Véase los trabajos de Acemoglu, Aghion y Zilibotti (2006), Heshmati y Rashidghalam (2020) y Battisti, Belloc y Del Gatto (2020).

<sup>26</sup> Véase los trabajos de: Madsen (2007); Maryam y Jehan (2018); Klasing y Milionis (2018).

<sup>27</sup> Véase los trabajos de: Iacovone y Crespi (2010) Wang *et al.* (2014); Klein (2019).

<sup>28</sup> Véase los trabajos de: Griffith, Redding y Van Reenen (2003); Madsen, Islam y Ang (2010); Männasoo, Hein y Ruubel (2018).

manera más efectiva las ventajas de ser un dependiente tecnológico y tener un mayor beneficio de la imitación.

Por ello, en el desarrollo de las economías, la exigencia de mantener una alta capacidad de absorción tecnológica dificulta un avance continuado. De acuerdo con la literatura, esto puede conducir a la denominada trampa de los ingresos medios (Agénor, 2016), que consiste en que las empresas o los países, tras avanzar en su proceso de convergencia, se estancan en un nivel de ingresos que difícilmente son capaces de superar (Gill y Kharas, 2007; Felipe, 2012). Esto guarda relación con el proceso de avance hacia la frontera tecnológica. A medida que los países se acercan al líder tecnológico, se vuelve necesario pasar de una estrategia imitadora a una basada en la innovación. Esto implica una transición tecnológica desde una economía basada en la inversión hacia una economía del conocimiento (Acemoglu, Aghion y Zilibotti, 2006) para alcanzar una convergencia tecnológica total (Cherif y Hasanov, 2019). Sin embargo, esta evolución supone un proceso complejo al que Cirera y Maloney (2017) se refirieron como la “paradoja de la innovación”, debido a las dificultades que tienen los países menos desarrollados en adoptar tecnologías ajenas sin aumentar su inversión en innovación. En consecuencia, parece difícil que las economías más rezagadas puedan desbloquear todo su potencial tecnológico manteniendo una progresión lineal y continua desde la imitación hacia la innovación.

### 2.2.2. Inversión en investigación y desarrollo

La creación de tecnología precisa de recursos y, por tanto, de inversión. La inversión en I+D ha sido uno de los principales determinantes en el estudio del avance tecnológico de los países. De acuerdo con la literatura (Howitt y Mayer, 2005), la I+D tiene la facultad principal de generar tecnología propia, pero también la de permitir adoptar tecnologías ajenas. En el terreno empírico, se ha buscado analizar el impacto de la I+D en la innovación y en la imitación tecnológica calculando su efecto sobre la PTF (Collins, 2015). Al respecto, cabría destacar el estudio de Guellec y Van Pottelsberghe de la Potterie (2004), quienes utilizan un panel de países de la OCDE para demostrar que la inversión en I+D, tanto pública como privada, se relaciona positivamente con la PTF. Además, su trabajo ofrece evidencia estadística acerca del efecto positivo que ejerce la inversión en I+D extranjera, en línea con el estudio de Coe y Helpman (1995). Sin embargo, Khan y Luintel (2006) llevaron a cabo una reevaluación de estos datos utilizando técnicas econométricas más robustas, como los sistemas GMM (Método de los Momentos Generalizados), y encontraron un impacto negativo de la I+D pública, obteniendo resultados similares a los hallados por Bassanini y Scarpetta (2001).

Así pues, en este sentido, la literatura refleja cierta ambigüedad en la relación entre el esfuerzo en I+D y la PTF. En muchos de estos casos, las contradicciones se atribuyen a los modelos y métodos empleados en las estimaciones y a factores intrínsecos de las propias economías, como se recalca en el estudio de Van Elk *et al.* (2015). Entre otros factores, el nivel de renta del país o la fuente de procedencia de la inversión pueden

condicionar el rendimiento de la inversión en I+D, y manifestarse en impactos indirectos no tan explícitos (Gehring, 2011). Un escenario que invita a cuestionar el supuesto de rendimientos lineales. No obstante, en términos generales y tomando como referencia periodos de largo plazo, actualmente existe cierto consenso y fundamento estadístico que permite atribuir a la inversión en I+D un impacto positivo y determinante en el crecimiento de la PTF (Luintel, Khan y Theodoridis, 2014; Tsamadias *et al.*, 2018).

### 2.2.3. El capital humano

Algo similar al comportamiento expuesto por la I+D ocurre con el capital humano. Desde las primeras teorías de Lucas (1988) y Romer (1990) hasta el día de hoy, el capital humano es considerado uno de los factores más importantes en el desarrollo de las economías. Sin embargo, a pesar de su importancia, la evidencia empírica no es completamente clara, con resultados contradictorios especialmente en los países desarrollados (Krueger y Lindahl, 2001). Por ello, una gran parte de la discusión académica parece centrarse en cómo modelizar su contribución y en qué metodología emplear para su análisis (Delgado, Henderson y Parmeter, 2012).

En el apartado empírico, los primeros estudios de Barro (1991) demostraron una relación positiva entre la educación primaria y el crecimiento económico. Una relación que Mankiw, Romer y Weil (1992) confirmaron también para la educación secundaria. Años más tarde, el propio Barro (2001), con diferente metodología de análisis y descomponiendo las variables educativas, corroboró esta relación para la educación secundaria de los hombres, pero no así para la de las mujeres, para las que descarta una relación consistente en ambos niveles (primaria y secundaria). Por su parte, Durlauf y Jonhson (1995) ya advirtieron que los resultados obtenidos del capital humano dependían en gran medida de los países incluidos en el análisis de regresión. Posteriormente, De la Fuente (2003; 2011) también encontró un impacto positivo en la PTF de los países de la Unión Europea (UE) y de la OCDE, al igual que Mánnasoo, Hein y Ruubel (2018) en 99 regiones europeas. Sin embargo, Bils y Klenow (2000) descubrieron que el capital humano solo representaba una fuente modesta de ganancias tecnológicas para los países.

Estos resultados dispares motivaron nuevas investigaciones. Mientras que Vandenbussche, Aghion y Meghir (2006) encontraron una relación positiva entre el capital humano y la PTF, Benhabib y Spiegel (2005) descubrieron que la PTF evoluciona a través de la capacidad de imitación de los países, estableciendo una relación positiva entre la distancia a la frontera tecnológica y el capital humano. En un estudio más recientemente, Barcenilla y López-Pueyo (2018) encontraron un mayor crecimiento de la PTF en los países imitadores de la UE. Sin embargo, en este trabajo también se observa que el impacto de la educación parece reducirse en distancias cercanas a la frontera tecnológica. Este resultado coincide con el obtenido por Cerina y Manca (2018), para quienes el rendimiento marginal del capital humano adopta forma de “U” a medida que los países se acercan a la frontera tecnológica, lo cual vuelve a poner en cuestión el supuesto de linealidad.

#### 2.2.4. Relaciones no lineales

En el panorama analítico expuesto, se considera que tanto la inversión en I+D como el capital humano son fuentes de crecimiento para la PTF, dadas sus cualidades de generar, transferir y absorber tecnología. Asimismo, se supone que una mayor brecha tecnológica proporciona un mayor potencial imitador y, por tanto, más posibilidades de avance tecnológico. Pero ante la ambigua evidencia empírica obtenida, es inevitable plantearse: ¿hasta qué nivel es más siempre mejor? Tratando de responder a este interrogante, Coccia (2017) descubre una clara relación no lineal entre la inversión en I+D y la productividad laboral en los países de la OCDE. De igual modo, Bahar (2018) identifica un patrón en forma de “U” en la evolución de la productividad total de las empresas, mientras que Kijek y Kijek (2020) encuentran un efecto no lineal en el rendimiento de la I+D y del capital humano sobre la PTF de las regiones europeas.

Por tanto, asumiendo estas mismas inquietudes, el propósito de esta investigación es poner a prueba la hipótesis que sostiene una relación no lineal entre la brecha tecnológica, la inversión en I+D y el capital humano con el crecimiento de la PTF. El objetivo es identificar empíricamente los puntos de inflexión que describen estos factores en función del nivel de ingresos de cada país, con el fin de proporcionar información precisa sobre cómo optimizar la inversión en ellos y conocer mejor su impacto en las estrategias tecnológicas de los países.

### 2.3. Datos y metodología

La estrategia metodológica empleada sigue los siguientes pasos. En primer lugar, se generan las PTF de los países como variable objeto de la investigación. Posteriormente, se confecciona un panel de datos que incluye 123<sup>29</sup> países clasificados en los cuatro niveles de ingresos establecidos por el Banco Mundial<sup>30</sup> (BM) durante el periodo de 1995 a 2017. A continuación, se emplea un modelo cuadrático para explicar, mediante un análisis de regresión, la variación anual de la PTF. Finalmente, se maximizan las funciones que definen los puntos de inflexión en las relaciones obtenidas.

#### 2.3.1. PTF de los países

Para construir la variable de la PTF de los países, se parte de la función de producción neoclásica en su versión estándar Cobb-Douglas. Se estima de forma propia una sencilla función de producción por trabajador en cada uno de los cuatro niveles de ingresos establecidos por el BM. Esto se lleva a cabo con la finalidad de utilizar otra fuente de datos diferente e incluir la máxima cantidad de países posibles, dado que las bases de datos disponibles carecen de series completas para la PTF de los países de ingreso medio-

---

<sup>29</sup> Véase los países en el Anexo A.5.

<sup>30</sup> Véase: <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/378832-what-is-the-world-bank-atlas-method>

bajo y bajo.

$$Y_{(it)} = A_{(it)} K_{(it)}^{\alpha} L_{(it)}^{\beta} \quad [2.1]$$

En la expresión [2.1],  $[Y]$  representa la producción total agregada del país  $[i]$  en el periodo  $[t]$ .  $[K]$  denota el capital físico y  $[L]$  el trabajo.  $[\alpha]$  y  $[\beta]$  reflejan la contribución de estos factores en la producción. Mientras que  $[A]$  expresa el nivel de eficiencia alcanzado. Se asumen rendimientos constantes a escala como en gran parte de la literatura. Este supuesto permite reducir la expresión, dividiendo los términos por el factor trabajo, y obtener así una ecuación lineal de la función de producción por trabajador al aplicar logaritmos [2.2].

$$\log y_{(it)} = \log A_{(it)} + \alpha \log k_{(it)} \quad [2.2]$$

En este caso, se toma el logaritmo de la productividad del trabajo  $[y]$  como el PIB por cada persona empleada<sup>31</sup>. Para el logaritmo de la productividad del capital  $[k]$ , se utiliza la formación bruta de capital fijo<sup>32</sup> por trabajador. Mientras que el logaritmo de  $[A]$  proporciona una medida de la PTF a estimar. Todos los datos se recogen de los indicadores que ofrece el BM.

Tabla 2.1. Resultados regresión FEM (1995-2017)

Var. Dep. (log y)	Países por ingresos				
	BAJO	MEDIO-BAJO	MEDIO-ALTO	ALTO	TOTAL
<b>log k</b>	0,2374 *** (0,0329)	0,4102 *** (0,0416)	0,4155 *** (0,0729)	0,4049 *** (0,0541)	0,3603 *** (0,0291)
<b>Cte.</b>	6,2349 *** (0,1854)	6,5401 *** (0,2911)	6,9331 *** (0,5936)	7,3635 *** (0,5157)	7,2159 *** (0,2323)
<b>Países</b>	29	40	44	53	166
<b>Observaciones</b>	505	763	823	1.144	3.235
<b>Test Hausman</b>	21,25 ***	4,37 **	19,81 ***	6,99 ***	48,15 ***
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,63	0,60	0,75	0,59	0,92

Coefficientes con significatividad estadística al (\*10%); al (\*\*5%); al (\*\*\*) 1%. Errores estándar robustos entre paréntesis. Elaboración propia.

<sup>31</sup> En paridad del poder adquisitivo y en dólares internacionales a precios constantes de 2011.

<sup>32</sup> En dólares internacionales a precios constantes de 2010. A pesar de ser una variable de flujo y no de stock, esta inversión se comporta de forma estable en el tiempo y permite incorporar un gran número de países al análisis.

Para calcular las distintas funciones de producción, se configura un panel de datos formado por 166 países y clasificados según sus niveles de ingreso en el periodo de 1995 a 2017. El panel se encuentra totalmente balanceado y se estima con el Modelo de Efectos Fijos (FEM), tras servirse del test de Hausman para la elección de esta técnica. En esta opción, se corrigen los errores estándar (*robust*) para evitar posibles sesgos e ineficiencias en los coeficientes (Hoechle, 2007).

Por medio de las elasticidades alcanzadas en cada uno de los niveles de ingreso (tabla 2.1), se calcula la PTF de los distintos países como se muestra en la ecuación [2.3]<sup>33</sup>. Esto permite obtener la variación anual mediante la diferencia con el año anterior [2.4], y emplearse como variable dependiente ( $\Delta PTF$ ) en el análisis, tal como se describe estadísticamente en la tabla 2.2.

$$PTF_{(it)} = \log y_{(it)} - \alpha (\log k_{(it)}) \quad [2.3]$$

$$\Delta PTF_{(it)} = PTF_{(it)} - PTF_{(it-1)} \quad [2.4]$$

Tabla 2.2. Descripción estadística  $\Delta PTF$  por ingresos (1995-2017)

	Obs.	Media	Desv. Típica	Mínimo	Máximo
<b>INGRESO ALTO</b>					
$\Delta PTF$	1.136	0,0055	0,0466	-0,3739	0,3004
<b>ING. MEDIO-ALTO</b>					
$\Delta PTF$	812	0,0070	0,0768	-0,3987	0,5987
<b>ING. MEDIO-BAJO</b>					
$\Delta PTF$	750	0,0109	0,0746	-0,3998	0,6502
<b>INGRESO BAJO</b>					
$\Delta PTF$	490	0,0025	0,0693	-0,5649	0,4607
<b>TOTAL</b>					
$\Delta PTF$	3.188	0,0070	0,06415	-0,5649	0,6502

Fuente: Elaboración propia.

### 2.3.2. El modelo

En este caso, se presenta un modelo en el marco del crecimiento endógeno, siguiendo, entre otros, a Benhabib y Spiegel (2005) o Ha y Howitt (2007). En esta propuesta, se incluyen los cuadrados de las variables explicativas a modo de función cuadrática; lo que permite poner a prueba un escenario de rendimientos no lineales en los factores que explican la variable dependiente [2.5].

<sup>33</sup> Se puede comprobar el grado de correlación entre la PTF estimada y la ofrecida por la base de datos PWT v.10.0 en el gráfico A.6 del anexo.

$$\Delta PTF_{(it)} = \beta_0 + \beta_1 PTF\ GAP_{(it)} + \beta_2 PTF\ GAP^2_{(it)} + \beta_3 I+D_{(it)} + \beta_4 I+D^2_{(it)} + \beta_5 H_{(it)} + \beta_6 H^2_{(it)} + u_{(it)} + \mathcal{E}_{(it)} \quad [2.5]$$

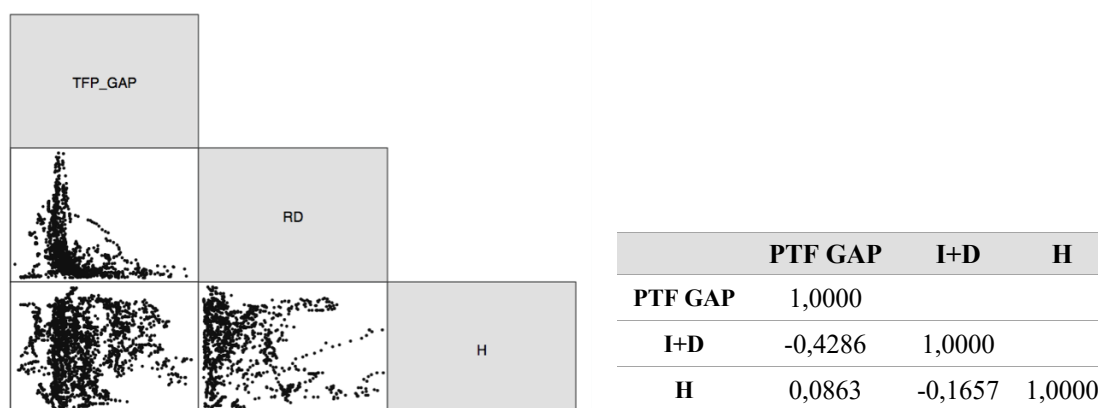
Donde  $[\Delta PTF]$  es la variación anual de la PTF del país  $[i]$  en el periodo  $[t]$ .  $[PTF\ GAP]$  representa la distancia a la frontera tecnológica, medida como el cociente de la PTF de Estados Unidos respecto a la del país  $[i]$ <sup>34</sup>, mientras que  $[PTF\ GAP^2]$  expresa el cuadrado de esta distancia.  $[I+D]$  es la inversión en investigación y desarrollo respecto al PIB del país y  $[I+D^2]$  su cuadrado.  $[H]$  corresponde a los años medios de estudios reglados y  $[H^2]$  su cuadrado. Finalmente,  $[u]$  es el efecto individual no observado y  $[\mathcal{E}]$  el error de cada país en el periodo. Todos los datos han sido obtenidos de los indicadores que ofrece el BM<sup>35</sup>, excepto los años de estudio que fueron conseguidos de la Unesco<sup>36</sup> (tabla 2.3).

Tabla 2.3. Descripción estadística de las variables explicativas (1995-2017)

Variable	Obs.	Media	Desv. Típica	Mínimo	Máximo
<b>PTF GAP</b>	3.123	1,1564	0,1017	0,8444	1,7583
<b>I+D</b>	1.862	0,9304	0,9348	0,0054	4,5760
<b>H</b>	3.876	7,6671	3,1682	0,8000	14,100

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.1. Matriz de correlación de las variables explicativas (1995-2017)



Fuente: Elaboración propia.

En un primer análisis, con el fin de contrastar el modelo y comprobar el grado de relación entre las variables explicativas y la variable dependiente, se realizó una regresión con todos los datos en bruto a través de la técnica de Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS, por sus siglas en inglés). De esta forma, los resultados obtenidos reflejan que las variables elegidas explican en un 47 % ( $R^2$  ajustado) la variable objeto. Por otro lado, se descarta

<sup>34</sup>  $PTF\ GAP = PTF_{USA(t)} / PTF_{PAÍS(t)}$

<sup>35</sup> Datos obtenidos de: <https://datos.bancomundial.org/indicador>

<sup>36</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Educación. Datos obtenidos de: <http://data.uis.unesco.org/index.aspx?querid=242>

la interdependencia significativa entre las variables, ya que la correlación máxima se sitúa en torno al 0,43 (figura 2.1).

Para aumentar la robustez de la estimación, se configura un panel de datos balanceado con 123 países y 22 años de periodo, desde 1995 hasta 2017. Para el aprovechamiento máximo de los datos disponibles, se computan hasta 1.632 observaciones. La distribución de los países incluidos se compone de: 13 países de ingreso bajo, 29 países de ingreso medio-bajo, 33 países de ingreso medio-alto y 48 países de ingreso alto. Para la regresión del panel, se opta por la técnica econométrica Método de los Momentos Generalizados (GMM, por sus siglas en inglés), debido a que, en estos modelos de naturaleza endógena, esta técnica proporciona estimaciones más consistentes en situaciones donde, presumiblemente, los regresores no son estrictamente exógenos y la variable dependiente puede verse influenciada por sus cifras pasadas.

Para contrarrestar la posible endogeneidad, la técnica GMM se sirve de las primeras diferencias de las variables con la intención de eliminar los efectos individuales no observados del modelo. Asimismo, los retardos de los regresores se introducen como instrumentos que sustraen las posibles correlaciones con el efecto individual, según las aportaciones de Arellano y Bover (1995). Una extensión a este tratamiento es crear un sistema que incluya la ecuación original en niveles y una ecuación transformada en primeras diferencias. De modo que las primeras diferencias se tratan como instrumentos de la ecuación original y los niveles de los retardos como instrumentos de la ecuación transformada (Blundell y Bond, 1998; Roodman, 2009). Esta técnica es conocida como System GMM (GMM-SYS), que es la opción elegida en su versión de dos etapas porque, además de explotar todos los momentos disponibles, es más eficiente que sus versiones anteriores, evita el sesgo en la estimación (Mileva, 2007) y funciona mejor con series temporales relativamente largas (Athanasoglou *et al.*, 2008).

Para evaluar la robustez de las estimaciones, se realizan varias pruebas de consistencia en los resultados obtenidos. En primer lugar, se incluye en test de Wald para comprobar si las variables en su conjunto son significativas. En segundo lugar, se llevan a cabo las pruebas de Arellano y Bond, tanto en primeras diferencias AR(1) como en segundo orden AR(2), para confirmar la ausencia de autocorrelación serial con los errores y los residuos, respectivamente. En tercer lugar, se incluye el test de Hansen (Hansen, 1982) para detectar posibles problemas de sobreidentificación en los instrumentos. En este caso, el número de países no debe superar el número de instrumentos utilizados (Roodman, 2009).

Las regresiones se ejecutan en Stata utilizando el comando *xtabond2* en dos etapas (Labra y Torrecillas, 2014). La opción elegida incluye una corrección de los errores estándar (*robust*) para aumentar la solidez de los resultados (Windmeijer, 2005) y también incorpora el nivel rezagado de la variable dependiente ( $PTF_{(t-1)}$ ) como regresor (Kim y Loayza, 2019), a modo de ecuación de convergencia (beta) condicionada.

## 2.4. Resultados

### 2.4.1. Resultados de la estimación

Tabla 2.3. Resultados regresión GMM-SYS

Var. Dependiente ( $\Delta$ PTF)	Países por ingresos				
	BAJO	MEDIO-BAJO	MEDIO-ALTO	ALTO	TOTAL
<b>PTF GAP</b>	–	-0,194 *	-0,274 ***	-0,639 **	-0,090*
	–	(0,102)	(0,083)	(0,312)	(0,049)
<b>PTF GAP<sup>2</sup></b>	–	0,061	0,101 **	0,305 **	0,035 *
	–	(0,044)	(0,040)	(0,150)	(0,020)
<b>I+D</b>	–	0,345 **	-0,274	0,136 ***	0,049 **
	–	(0,174)	(0,407)	(0,050)	(0,020)
<b>I+D<sup>2</sup></b>	–	-0,318 **	0,298	-0,026 **	-0,015 **
	–	(0,157)	(0,366)	(0,012)	(0,006)
<b>H</b>	–	0,024	0,845 **	-0,195 *	-0,042 *
	–	(0,074)	(0,418)	(0,111)	(0,024)
<b>H<sup>2</sup></b>	–	-0,001	-0,046 **	0,009 *	0,003 **
	–	(0,004)	(0,021)	0,005	(0,001)
<b>PTF<sub>(t-1)</sub></b>	–	-0,939 ***	-0,957 ***	-0,265 **	-0,268 ***
	–	(0,031)	(0,082)	(0,118)	(0,097)
<b>Constante</b>	–	2,032 ***	2,082 ***	3,263 **	7,582 **
	–	(0,062)	(0,4112)	(1,659)	(3,628)
<b>Países</b>	13	29	33	48	123
<b>Observaciones</b>	81	234	474	824	1632
<b>Test Wald <math>\chi^2</math></b>	–	339,50 ***	445,57 ***	18,87 ***	16,90 **
<b>Test Arellano AR (1)</b>	–	-2,29 **	-1,83 *	-3,12 ***	-1,86 *
<b>Test Arellano AR (2)</b>	–	0,87	-0,14	0,30	-1,11
<b>Instrumentos</b>	–	27	29	40	116
<b>Test Hansen [p-value]</b>	–	16,75 [0,607]	24,14 [0,286]	35,32 [0,314]	107,24 [0,502]

Nota: Coeficientes con significatividad estadística al [\*10%]; al [\*\*5%]; al [\*\*\*1%]. Error estándar robusto entre paréntesis. La prueba de Wald indica si las variables utilizadas en el modelo son significativas. El Test de Arellano-Bond comprueba la correlación en serie, donde AR (1) indica la correlación en serie de primer orden y AR (2) indica la correlación en serie de segundo orden, utilizando los supuestos de ninguna correlación en serie como hipótesis nula. El valor estadístico del Test de Hansen indica la restricción en la sobreidentificación del modelo GMM establecido, siendo recomendable:  $[0,1 \leq p\text{-value} \leq 0,8]$ . Elaboración propia.

La tabla 2.3 presenta los resultados en tres niveles de ingreso y un total agregado. Se desestiman los resultados de la submuestra de países de ingreso bajo al disponer de tan solo 13 países con 81 observaciones disponibles. Ello no impide incorporar estos datos a la muestra total agregada con el fin de recoger la máxima heterogeneidad posible entre los distintos países. Los resultados muestran una estimación significativa y consistente en términos generales, especialmente en los resultados de los países de ingreso alto y en el total agregado. El test de Wald se considera significativamente estadístico en todos los casos. Por su parte, el GMM-SYS de dos etapas, al trabajar con la matriz de errores

heterocedástica, requiere de ausencia de autocorrelación serial y, en este caso, se rechaza la existencia de correlación de segundo orden. A su vez, todos los *p-valor* en las pruebas de Hansen son inferiores a la unidad y carecen de significatividad estadística, lo que demuestra que los instrumentos utilizados son efectivos, eliminando la posible endogeneidad del modelo y rechazando la sobreidentificación.

#### 2.4.2. Puntos de inflexión en los factores de la PTF

Para definir los puntos máximos o mínimos en las relaciones obtenidas, se maximiza la función cuadrática en cada uno de los factores:

---

Relación “U”:	$f = \beta_0 - \beta_1 X_n + \beta_2 X_n^2$
---------------	---

Relación “U” INV.:	$f = \beta_0 + \beta_1 X_n - \beta_2 X_n^2$
--------------------	---

---

La primera derivada se iguala a 0 como condición necesaria para maximizar la función:

---

Relación “U”: $f'(x) = 0$ ;	$\frac{df}{dx} = f'(x) = -\beta_1 + 2\beta_2 X = 0$
-----------------------------	---

Relación “U” INV.: $f'(x) = 0$ ;	$\frac{df}{dx} = f'(x) = \beta_1 - 2\beta_2 X = 0$
----------------------------------	--

---

A continuación, se opera la ecuación para obtener el punto máximo o mínimo de la relación no lineal entre el factor y el avance de la PTF:

---

Relación “U”:	$X_{min} = \beta_1 / 2\beta_2 = \text{Punto M\u00ednimo}$
---------------	---

Relación “U” INV.:	$X_{max} = \beta_1 / 2\beta_2 = \text{Punto M\u00e1ximo}$
--------------------	---

---

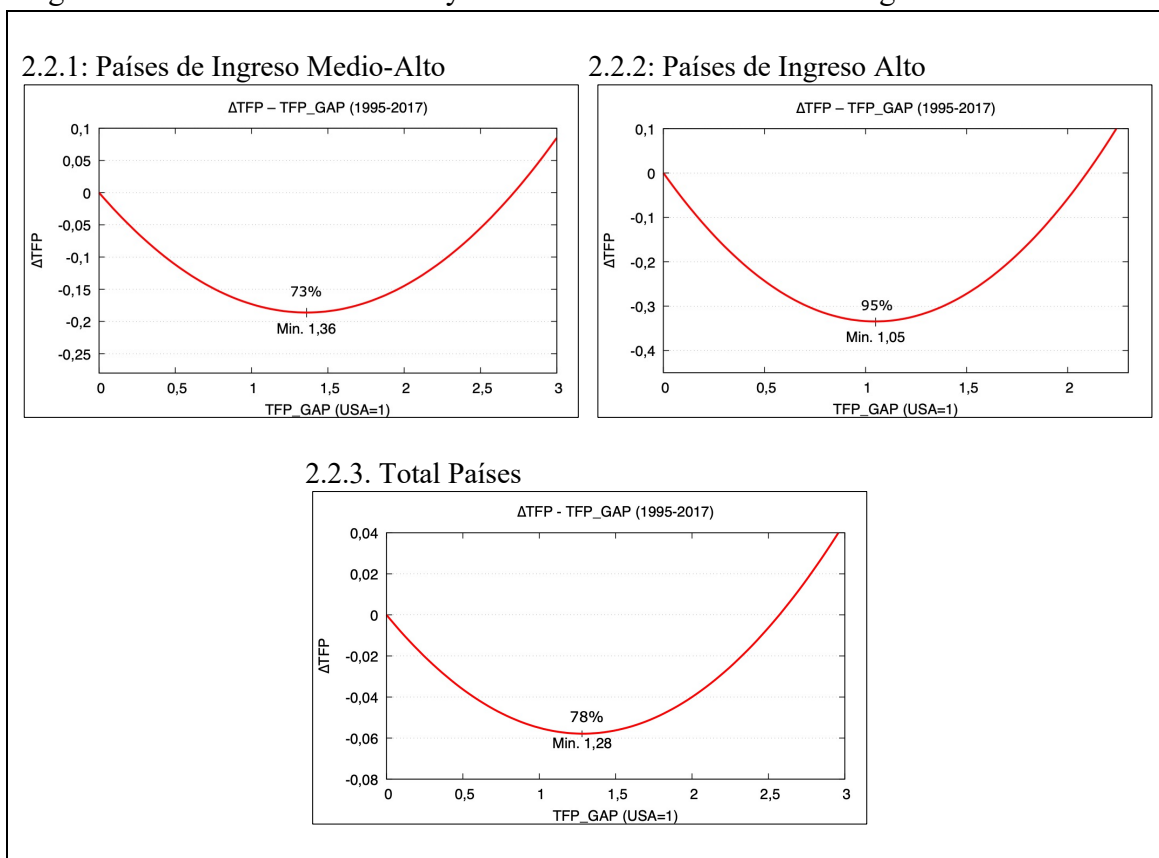
En resumen, la tabla 2.4 presenta las relaciones de los coeficientes estimados. En ella se detallan los puntos de inflexión en las variables explicativas y su grado de significatividad estadística. Además, se representan gráficamente las relaciones que ofrecen una confianza estadística superior al 90% para identificar la tendencia y los puntos de inflexión en cada una de las funciones: distancia a la frontera tecnológica (figura 2.2), inversión en I+D (figura 2.3) y capital humano (figura 2.4).

Tabla 2.4. Relaciones y puntos de inflexión en los determinantes de la PTF

Países por ingresos									
		MEDIO-BAJO (29)		MEDIO-ALTO (33)		ALTO (48)		TOTAL (123)	
Var.	Impacto	Relación	Impacto	Relación	Impacto	Relación	Impacto	Relación	
PTF GAP	-	"U"	***	"U"	**	"U"	*	"U"	
		Min.		Min.		Min.		Min.	
		1,58 (63 %)			1,36 (73 %)			1,05 (95 %)	
I+D	**	"U" INV.	-	"U"	***	"U" INV.	**	"U" INV.	
		Max.		Min.		Max.		Max.	
		0,54% PIB			0,46% PIB			2,58% PIB	
H	-	"U" INV.	**	"U" INV.	*	"U"	**	"U"	
		Max.		Max.		Min.		Min.	
		12 años			9 años			11 años	
								6 años	

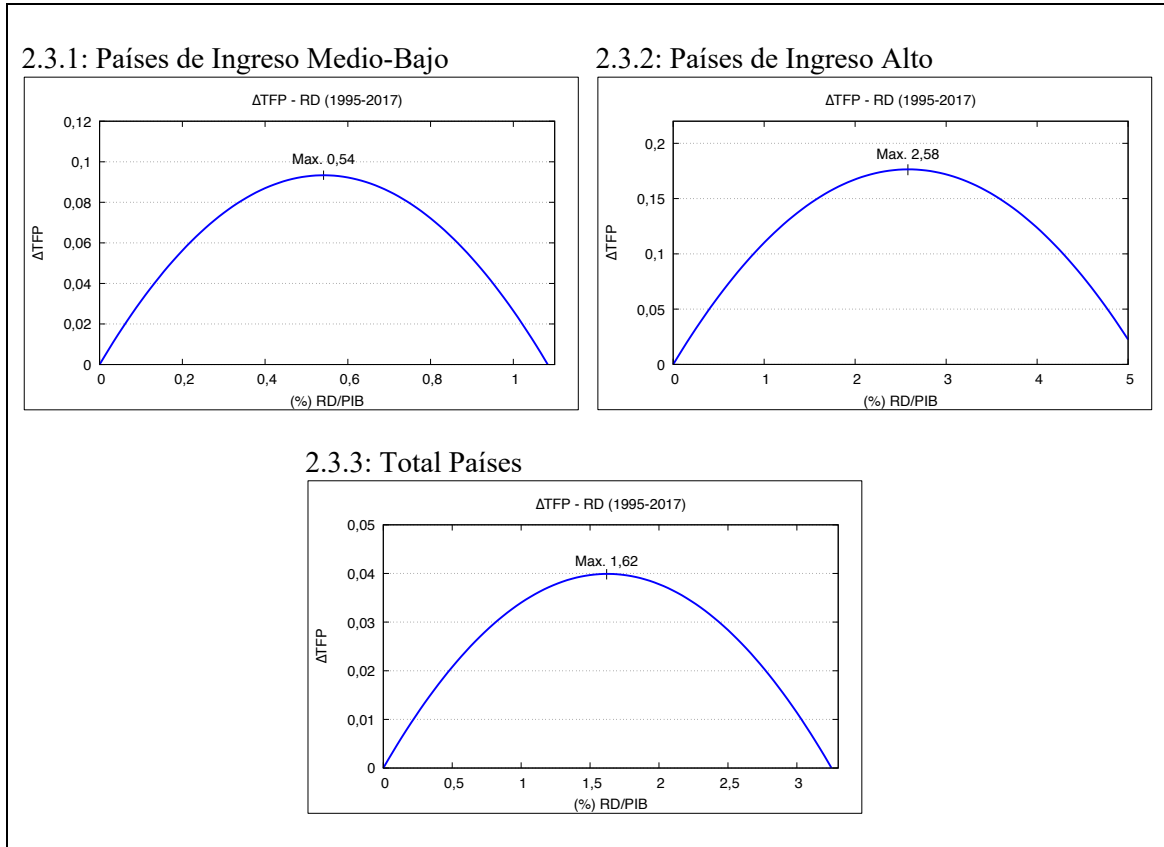
Nota: Impacto representado en coeficientes de significatividad estadística al (\*10%); al (\*\*5%); al (\*\*\*) 1%. Relación "U" función convexa; "U" INV. función cóncava. Elaboración propia.

Figura 2.2. Relación entre  $\Delta$ PTF y la distancia a la frontera tecnológica



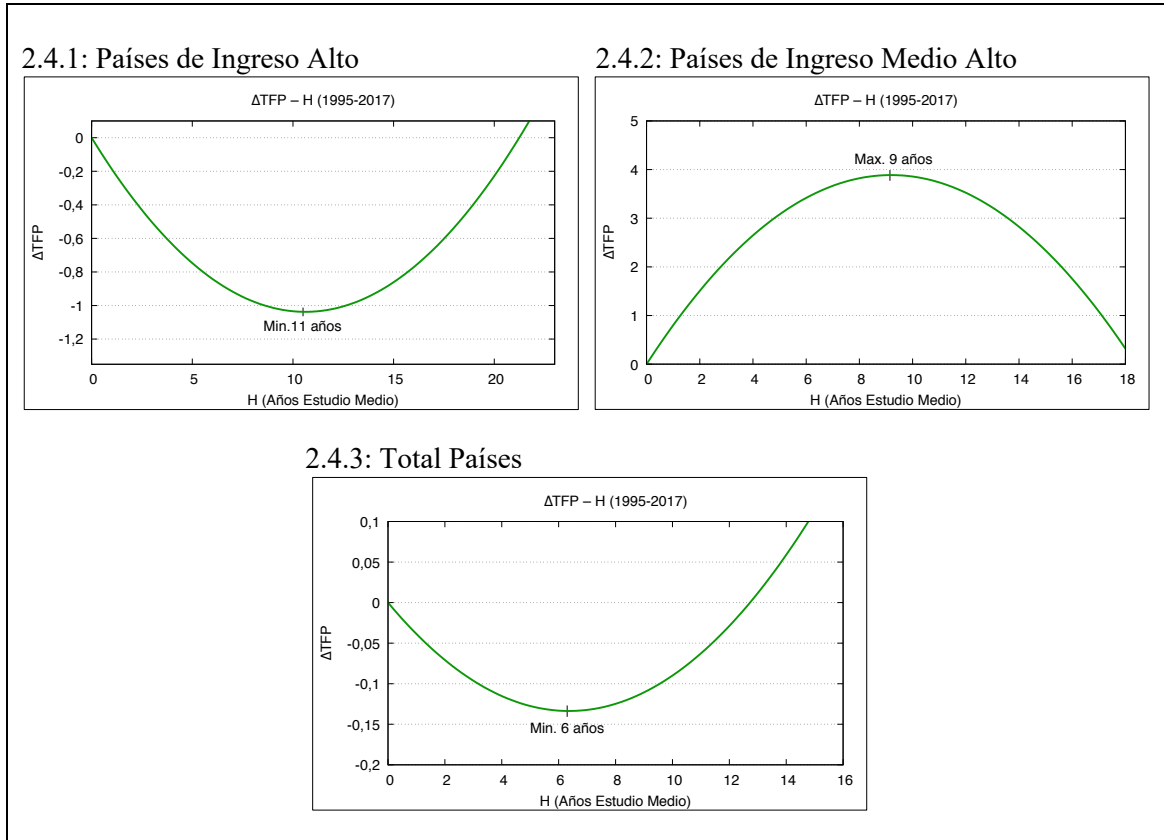
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.3. Relación entre  $\Delta$ PTF y la inversión en I+D



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.4. Relación entre  $\Delta$ PTF y el capital humano



Fuente: Elaboración propia.

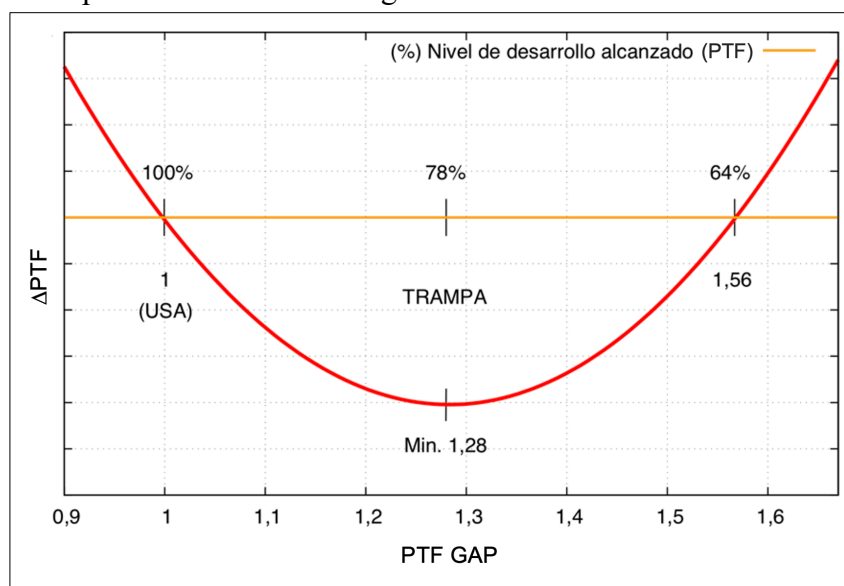
## 2.5. Análisis de los resultados

Los resultados muestran estadísticamente que los factores considerados de la PTF tienen rendimientos no lineales. En el caso de la distancia a la frontera tecnológica, que puede interpretarse como el potencial de imitación tanto de tecnología como de eficiencia, se aprecia una relación con tendencia en forma de “U”. Esto da lugar a un punto mínimo en la senda de crecimiento de la PTF. En la estimación realizada para todos los países, este punto mínimo se alcanza a una distancia de 1,28 (figura 2.2.3). Es decir, si se considera que Estados Unidos tiene un nivel tecnológico (PTF) del 100 %, aquellos países que tengan un nivel cercano al 78 % estarían en una situación de mínimo aprovechamiento de la imitación. Asimismo, este punto mínimo se reduce en los países de ingreso alto, situándose a tan solo un 5 % de distancia de la frontera tecnológica (figura 2.2.1). Esto sugiere que el potencial imitador podría ser más amplio en este nivel de renta, dado que el valle de la curvatura se reduce en esta estimación y proporciona un mayor avance de la PTF a aquellos países que no se encuentren en niveles muy cercanos al de Estados Unidos. En cambio, este potencial de avance no se produciría en la estimación de los países de ingreso medio-alto, donde el punto mínimo en la relación parece alejarse (figura 2.2.2).

La relación no lineal que se establece entre la distancia a la frontera tecnológica y el crecimiento de la PTF rechaza la hipótesis de que una mayor distancia garantice en todo momento un mayor crecimiento de la PTF. Los resultados permiten inferir una “trampa” en la carrera tecnológica de los países. De tal forma que estos avanzan aprovechando su potencial imitador cuanto mayor es su retraso relativo a las prácticas más eficientes y a las tecnologías más punteras, pero, llegado a un cierto nivel de desarrollo, su potencial imitador desaparece.

Los resultados permiten cuantificar el nivel de desarrollo en el cual los países pierden la ventaja del seguidor. Al tomar la simetría de la función curva, en la figura 2.6 se describe cómo situando a Estados Unidos en la frontera ubicada en la unidad (100 %) y el punto mínimo de la función en el 78 %, el otro extremo se situaría a una distancia del 64 %. En este punto, el crecimiento de la PTF se iguala al conseguido por la frontera tecnológica; lo que daría comienzo a la “trampa”. En términos generales, un país que se aproxima a un nivel cercano al 64 % respecto a la frontera tecnológica pierde su potencial imitador y, con ello, su ventaja del seguidor al conseguir crecimientos iguales a los de la frontera tecnológica. Asimismo, como se comentó anteriormente, esta “trampa” sería menor en la estimación de los países de ingreso alto. Esto significa que los países de renta alta que no hayan alcanzado un nivel tecnológico del 90 % podrían obtener mayores tasas de crecimiento que la frontera tecnológica. En virtud de lo cual, el margen imitador de estos países se vería aumentado sustancialmente.

Figura 2.6. Trampa en la carrera tecnológica: Total Países



Fuente: Elaboración propia.

Así pues, los resultados obtenidos sugieren que, según el nivel de desarrollo alcanzado, los países presentan un margen imitador acorde a sus recursos y capacidades tecnológicas. Los países con mayores medios, como los de renta alta, pueden acercarse a la frontera tecnológica en mayor medida a través de la imitación, puesto que disponen de los recursos necesarios para absorber la tecnología más avanzada. En cambio, los países de menor renta tienen más limitaciones en este avance, porque, aunque los conocimientos estén a su alcance, carecen de los medios necesarios para adquirirlos. De este modo, y *ceteris paribus*, la ventaja potencial de la estrategia imitadora quedaría limitada hasta un umbral de desarrollo tecnológico acumulado cercano al 90 % en el caso de los países de ingreso alto y al 58 % en el caso de los países de ingreso medio-alto.

Estos resultados son compatibles y refuerzan empíricamente dos aspectos. Por un lado, la relativa facilidad para lograr altas tasas de crecimiento imitando prácticas y tecnologías muy estandarizadas. Pero, una vez alcanzado un cierto nivel de desarrollo, cada vez se requiere un mayor esfuerzo para integrar las tecnologías más avanzadas, y poder seguir progresando. De igual forma, una mayor brecha en la PTF permite un mayor avance en términos de eficiencia, pero no necesariamente en innovación, donde se requieren más condiciones que una distancia lejana respecto a la frontera para progresar tecnológicamente, como así sugiere el estudio de Haider, Kunst y Wirl (2020). Por otro lado, los resultados refuerzan la idea de desaceleración en la convergencia tecnológica y, en consecuencia, en la productividad total. Esto se debe a que el coeficiente estimando para el retardo del nivel de la PTF, como indicador de convergencia beta condicionada, disminuye su magnitud desde los ingresos medios a los altos. Por tanto, esta “trampa” erosiona la capacidad de absorción tecnológica de los países (Howitt y Mayer, 2005) y representa un obstáculo para la convergencia de las economías, como también apunta Bahar (2018) en su estudio.

En cuanto a la inversión en I+D, los resultados muestran una correlación estadística con el crecimiento de la PTF en todos los casos, excepto en los países de ingreso medio-alto. En la estimación de todos los países, el coeficiente de la I+D es positivo y su elasticidad sería cercana al 5 %. Esta cifra sería similar al 7 % obtenido por Tsamadias *et al.* (2018), y ligeramente inferior (9,7 %) al conseguido por Bondman y Le (2007). Es importante destacar que este impacto sería más pronunciado en los países de ingreso alto, donde la elasticidad se situaría en torno al 13 %, cifra similar a las estimaciones de Bravo y García (2011) para una muestra de 65 países (16 %) y a las de Luintel *et al.* (2014) para los países de la OCDE (17 %).

Estos contrastes en los coeficientes dan solidez a las estimaciones realizadas, pero lo relevante son las relaciones no lineales que se dependen de los resultados. Así, el coeficiente cuadrático estimado de la variable I+D es negativo para todos los países. Ello sugiere un rendimiento decreciente de la inversión en I+D en el avance de la PTF. Por tanto, esta relación confirma también la hipótesis planteada para este factor, que situaría el punto de inflexión de la función en una inversión cercana al 1,62 % del PIB para todos los países (figura 2.3.3), cifra en la que el crecimiento de la PTF comenzaría a detenerse.

Asimismo, en los resultados para los países de ingreso alto, este dato se incrementaría hasta el 2,58 % (figura 2.3.1). Este óptimo resulta similar al obtenido por Coccia (2017), quien apunta al 2,5 % como el nivel de inversión que maximizaría la productividad laboral de los países de la OCDE. Por otra parte, el nivel de esfuerzo parece reducirse en los países de ingreso medio-bajo, puesto que a partir del 0,54 % de inversión (figura 3.3.2), la I+D dejaría de incrementar el rendimiento de la PTF. Así pues, estos resultados revelan que el nivel de inversión óptimo depende del grado de desarrollo económico alcanzado por los países, y, además, respaldan la literatura empírica sobre las diferencias en la efectividad de la I+D entre los sectores de alto y bajo grado tecnológico (Kumbhakar *et al.*, 2012).

En el caso del capital humano, medido por los años medios de estudio reglados, también se encuentran evidencias estadísticas de su relación con el crecimiento de la PTF, a excepción de la submuestra de países de ingreso medio-bajo. En cuanto a la muestra total, la relación sigue una función creciente en forma de “U”, al conmutar a signo positivo el coeficiente de la variable cuadrática. Este patrón define un punto mínimo en los 6 años medios de estudio (figura 2.4.3). Es decir, se identifica un nivel de formación mínimo desde el cual se comenzaría a incrementar la tasa de crecimiento de la PTF. Por ejemplo, si Estados Unidos dispone del mayor promedio de años de estudio en más de 13 años, un país que no alcance el 46 % de ese nivel educativo no lograría un crecimiento de la PTF. Además, este nivel educativo mínimo requerido es aún más exigente en los países de renta alta, donde la PTF solo comenzaría a estimularse a partir de los 11 años de estudio medio (figura 3.4.1).

Por el contrario, en el caso de la estimación para los países de ingreso medio-alto, la relación entre el capital humano y el avance de la PTF es decreciente y en forma de “U”

invertida. Según la figura 2.4.2, se estima que el nivel de formación óptimo para estos países sería de 9 años de estudio medio, y su impacto se sitúa en una cifra cercana a 0,84. No obstante, como se cita en Tsamadias *et al.* (2018), este impacto puede variar desde 0,19 (Zhang, Jiang y Wang, 2014) hasta 1,22 (Bodman y Le, 2007). Así pues, la relación decreciente sugiere que, en las economías emergentes, una amplia formación reglada no necesariamente induce a incrementos productivos adicionales, probablemente debido a su limitada estructura tecnológica. Por tanto, los resultados obtenidos confirman, como gran parte de la literatura, la ambigüedad en el rendimiento del capital humano según la muestra de países.

## 2.6. Conclusiones

A lo largo de este capítulo, se ha examinado el impacto de los principales determinantes de la PTF: la distancia a la frontera tecnológica (PTF GAP), la inversión en investigación y desarrollo (I+D) y el capital humano (H). La literatura especializada sugiere que, en promedio, una mayor brecha tecnológica, una mayor inversión en I+D y un mejor capital humano conducen a un mayor crecimiento de la PTF. Sin embargo, en esta investigación se cuestiona la linealidad de estas relaciones, considerando posibles funciones no lineales que podrían generar puntos de inflexión que maximizarían o minimizarían la cantidad de estos factores. Para ello, se ha elaborado un panel de datos de 123 países de distintos niveles de ingreso, en el periodo de 1995 a 2017, y se ha utilizado un modelo de relaciones cuadráticas entre las variables. Para la estimación se ha aplicado un sistema GMM y se han obtenido resultados significativos y reveladores.

En primer lugar, los resultados indican que la brecha tecnológica y el crecimiento de la PTF mantienen una relación en forma de “U”. Esto significa que un país dejaría de rentabilizar su ventaja del seguidor a partir del 64 % de desarrollo acumulado respecto al líder tecnológico (Estados Unidos). Este es el nivel donde el crecimiento de la PTF se igualaría al de la frontera tecnológica, y donde el potencial imitador en tecnologías y prácticas eficientes ya no reportaría crecimientos relativos superiores. De esta situación se infiere empíricamente una posible “trampa” en la carrera tecnológica de los países, como también ha puesto de relieve la literatura disponible, que dificulta la convergencia tecnológica y, por tanto, de productividad.

En segundo lugar, los resultados respaldan un rendimiento decreciente de la inversión en I+D sobre el avance de la PTF. Como consecuencia, el nivel de maximización de esta inversión se situaría en el 1,62 % del PIB. Asimismo, esta cifra se elevaría hasta el 2,58 % en la estimación correspondiente a los países de renta alta y se reduciría al 0,54 % para los países de ingreso medio-bajo. De este modo, los resultados sugieren que los márgenes óptimos de inversión en I+D varían en función del nivel de desarrollo alcanzando por los países.

En tercer lugar, los resultados indican que el capital humano mantiene una relación en forma de “U” con el avance de la PTF. De manera que se requiere un nivel mínimo de formación de más de 6 años para poder lograr aumentos en la PTF. Este requisito formativo aumentaría a los 11 años para los países de renta alta. En cambio, para los países de ingreso medio-alto, la relación entre el capital humano y la PTF se vuelve decreciente, de forma que, una vez alcanzados los 9 años de estudio medio, el avance de la PTF comenzaría a detenerse.

En definitiva, los resultados obtenidos proporcionan información empírica y concreta que puede servir para optimizar los esfuerzos dedicados a los factores determinantes de la productividad de los países y diseñar estrategias tecnológicas acordes a la situación de cada país. La sencillez del modelo planteado permite ofrecer esta información como una base de partida y como un mapa conceptual sobre el comportamiento estratégico de los factores descritos, invitando a nuevos análisis que profundicen en la complejidad de la PTF.

---

## **CAPÍTULO 3**

La competencia y la desigualdad en el  
avance tecnológico de los países

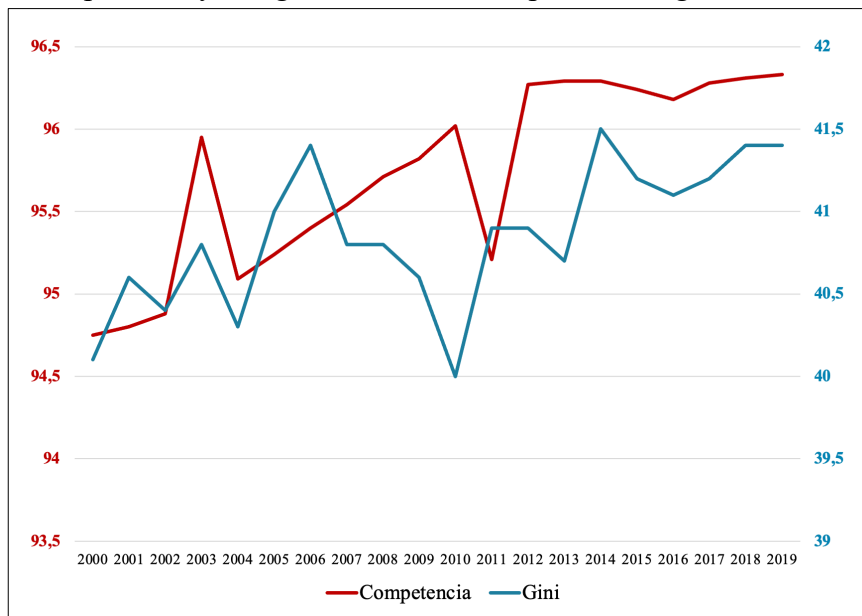
---

### 3.1. Introducción

A medida que las economías evolucionan y alcanzan un avanzado grado de desarrollo, las condiciones necesarias para progresar tecnológicamente se vuelven cada vez más exigentes. Tanto es así que los gobiernos no solo deben adoptar estrategias tecnológicas acordes a su nivel de desarrollo, sino que también deben crear entornos propicios para la innovación, en los que la competencia y la desigualdad son aspectos clave. Si bien la competencia global ha impulsado importantes avances tecnológicos en los últimos tiempos, también se han generado desequilibrios económicos con consecuencias negativas. Este es el caso de la distribución de ingresos, con una brecha cada vez más amplia entre quienes más renta poseen y el resto, no solo a nivel global, sino incluso dentro de los propios países. Este es un fenómeno que ha generado una gran preocupación en la actualidad (Oxfam, 2022).

En este sentido, el siguiente gráfico (figura 3.1) muestra la competencia global y la desigualdad general (Gini) en las diez mayores economías de la OCDE<sup>37</sup>. Desde el año 2000, se puede observar una tendencia creciente y similar en estos países. La fuerte irrupción de grandes economías competitivas, lideradas por países como China, ha intensificado la competencia internacional, al mismo tiempo que ha aumentado la desigualdad no solo en la distribución de ingresos, sino en cuestiones como el acceso a la educación y la salud (Chancel *et al.*, 2022). Ante esta situación, urge considerar si estos cambios han dañado el entorno adecuado para la actividad innovadora de los países.

Figura 3.1. Competencia y desigualdad en los diez países más grandes de la OCDE



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial<sup>38</sup>.

<sup>37</sup> Estados Unidos, Japón, Alemania, Reino Unido, Francia, Italia, Canadá, Corea del Sur, Australia y España.

<sup>38</sup> La forma de medir la competencia viene definida con más detalle en el punto 4.3.2.

Los países más desarrollados, tras dejar atrás el motor de crecimiento que ofrecían aspectos como la acumulación de capital físico, la imitación tecnológica o la reasignación de recursos a los sectores de mayor productividad, se ven empujados a innovar dada su proximidad a la frontera tecnológica (Acemoglu, Aghion y Zilibotti, 2006). Además de la inversión en I+D y el capital humano, mencionados en el capítulo anterior, existen numerosos factores que determinan la capacidad de innovación de los países, como la protección de la propiedad intelectual, la financiación en forma de capital riesgo y la colaboración científica, entre otros (Agénor, 2017). Sin embargo, en la literatura revisada, se ha detectado que, en el marco general donde se desarrolla la actividad innovadora, la competencia entre países y la desigualdad de ingresos han recibido menos atención en su relación con el avance tecnológico. Estos factores han adquirido mayor relevancia a medida que el comercio internacional se ha intensificado en los últimos tiempos.

Por tanto, en este capítulo se procede a investigar qué implicaciones tiene la competencia global y la distribución de ingresos en el avance tecnológico de los países. A través de un modelo no lineal, se examina la relación que mantienen estos dos factores con la distancia a la frontera tecnológica, prestando especial atención a las economías avanzadas de gran tamaño.

Para tal cometido, el resto del capítulo se ordena de la siguiente forma: en el siguiente punto se revisa la literatura relacionada. En el tercer apartado, se describe la muestra de datos de los países y se detalla la metodología empleada para el estudio. En el cuarto apartado, se presentan los resultados obtenidos y se analizan en el punto siguiente. Finalmente, el capítulo culmina con las principales conclusiones alcanzadas.

## **3.2. Revisión de la literatura**

### **3.2.1. Competencia global entre los países**

La relación entre la competencia y la innovación puede ser contradictoria. Por un lado, la innovación ofrece un impulso monopolístico que busca quebrar la competencia en el mercado. Por otro lado, la competencia es necesaria para fomentar una mejora continua en la innovación. En este sentido, la literatura teórica no se muestra concluyente. Mientras que algunos autores, como Schumpeter (1943), sugieren que la competencia desincentiva la innovación al reducir los márgenes de beneficios y, por consiguiente, la capacidad de inversión; otros, como Arrow (1962) o Porter (1991), argumentan que la innovación es esencial para sobrevivir a la competencia, por lo tanto, esta debería impulsarla.

Estas discrepancias teóricas también se trasladan al ámbito empírico. Por ejemplo, en línea con Schumpeter, los trabajos en el marco del crecimiento endógeno, como los de Romer (1990) o Aghion y Howitt (1992), sostienen que un aumento de la competencia reduce las rentas monopolísticas derivadas de la innovación. Sin embargo, otros estudios

como los de Geroski (1990; 1991) para 79 industrias del Reino Unido, no confirman esta relación, y demuestran un incremento de la PTF en los sectores cuya competencia aumenta con la incorporación de empresas extranjeras. El trabajo de Cohen (2010)<sup>39</sup> incluye una completa revisión de las discrepancias empíricas acerca de los efectos de la competencia en la innovación en distintos sectores, empresas y países a lo largo de los años.

Entre la amplia variedad de estudios al respecto, la propuesta de Aghion *et al.* (2005) resulta particularmente interesante. En línea con los resultados que obtuvo Scherer (1967), en Aghion *et al.* (2005) se estudia con un modelo no lineal la relación entre la competencia y la innovación. Para poner a prueba su tesis, utilizan datos del Reino Unido y observan que la innovación de las empresas, medida a través del número de patentes, mantiene un comportamiento en forma de “U” invertida con el aumento de la competencia en el mercado<sup>40</sup>. Es decir, en promedio, a medida que la competencia aumenta, la innovación se intensifica; pero, alcanzado un cierto umbral, la actividad innovadora comienza a descender. Los resultados sugieren que las empresas más avanzadas tecnológicamente innovan más para deshacerse de la competencia (efecto escape), mientras que las más atrasadas se desincentivan con la entrada de nuevas empresas (efecto Schumpeter). Ello implicaría que, de forma agregada, la competencia incentiva la innovación en los países cercanos a la frontera tecnológica y, por el contrario, tiene un efecto desestimulante en los países más lejanos a ella (Aghion, Antonin y Bunel, 2021)<sup>41</sup>. Esto supone un hallazgo significativo por el que ahondar en la comprensión de las estrategias tecnológicas de los países.

El término de competencia es un concepto amplio y a nivel empírico existen distintas formas de medirla. Concretamente, a nivel empresarial, la competencia se puede situar entre el monopolio (ausencia de competencia) y la competencia perfecta. En este umbral, el índice de Lerner (utilizado en estudios como Aghion *et al.*, 2005 o Im, Park y Shon, 2015), comprendido entre cero (competencia perfecta) y uno (situación de monopolio), refleja empíricamente el poder de mercado de una empresa en un sector a través de la relación entre el margen de beneficio marginal y el precio. Además, también se puede medir a través de la tasa de entrada de nuevas empresas (Geroski, 1990) o mediante el grado de concentración de la industria (Aslan y Kumar, 2016; Cornett *et al.*, 2019).

En el ámbito agregado de los países, el término de competencia es más difuso, puesto que, por ejemplo, no existe la entrada de nuevos países. Por ello, en este estudio se propone medir la competencia global a través de la cuota de producción mundial restante a la conseguida por cada país. Esto puede lograrse al restar uno a la cuota de cada país en el PIB mundial. De modo que si un país es capaz de incrementar su cuota de producción mundial, se asume que la competencia que experimenta este país se ha reducido; el país ha sido capaz de capturar una mayor proporción del mercado y, en efecto, la cuota de

---

<sup>39</sup> Concretamente en los puntos 2.2 y 2.3.

<sup>40</sup> Unos resultados que también se dan para Suecia (Tingvall y Poldahl, 2006) y España (Beneito *et al.*, 2011).

<sup>41</sup> Capítulo 4 del libro: El poder de la destrucción creativa. Editorial Deusto.

producción mundial restante disminuye. Mientras que, al contrario, si un país reduce su cuota de PIB mundial, se asume entonces que la competencia ha aumentado respecto a este país. Este enfoque se asemeja al índice de Lerner, en el sentido de que, si un país tuviese una cuota de PIB mundial del 100 %, este país se encontraría ante una situación de monopolio (no existe competencia); y si, por el contrario, su cuota de producción tendiese a cero, el país se situaría ante una competencia perfecta (máxima competencia).

Al respecto, en esta medida no se elimina el efecto tamaño de país, porque, al igual que con las empresas, un mayor tamaño reduce inherentemente la competencia; por lo que los países más pequeños experimentan por definición una mayor competencia global. Esta sencilla medida permite evaluar la capacidad competitiva de los países y, en consecuencia, el grado de competencia entre ellos. Visto de otro modo, midiendo la competitividad revelada o la ventaja comparativa de los países (como hace el índice de Balassa), en este caso con la producción total, se puede inferir el nivel de competencia mundial. Esta forma de medir la competencia global, hasta donde se conoce, no se ha utilizado en estudios previos para países. En cualquier caso, el propósito de la investigación es examinar el modelo no lineal de Aghion *et al.* (2005), con el objetivo de estudiar qué relación mantiene la competencia global en el avance de los países hacia la frontera tecnológica desde este enfoque.

### 3.2.2. Desigualdad de ingresos en los países.

La desigualdad es uno de los efectos más delicados que se derivan del crecimiento económico. En la actualidad, hay ciertas métricas de desigualdad que han despertado una gran atención. A pesar de que, según los datos del Banco Mundial, la tasa de incidencia de la pobreza mundial se ha reducido vertiginosamente, pasando del 42,7 % en 1981 al 9,3 % en 2017, la distribución de la riqueza se ha hecho cada vez más desigual. Actualmente, más de la mitad de la riqueza mundial se concentra en el 1 % de la población, y el primer decil de las personas más ricas acumula hasta el 82 % de los activos mundiales (Credit Suisse, 2019). Unas cifras que se han amplificado tras la pandemia del Covid-19 (Oxfam, 2022; Chancel *et al.*, 2022). Al respecto, se podría decir que, a lo largo del tiempo, el desarrollo tecnológico ha contribuido a una riqueza creciente, pero asimétricamente distribuida, especialmente durante los últimos años (Aghion *et al.*, 2019).

Las transformaciones tecnológicas han cambiado la forma de producir a lo largo del tiempo. En este sentido, la revolución de las tecnologías de la información (TIC) ha impulsado fuertemente la producción automatizada. Estados Unidos ha sido el mayor precursor de esta ola tecnológica, y su auge, desde mediados de la década de los 2000 hasta nuestros días, se hace patente a través de un conjunto de empresas tecnológicas capaces de automatizar masivamente sus procesos y generar fuertes efectos de red. Una de las grandes consecuencias de la automatización es la reasignación de tareas de la mano de obra al capital (efecto desplazamiento), lo que se traduce en una reducción de costes y un aumento de la productividad del capital (Acemoglu y Restrepo, 2019). Sin embargo,

esto también genera un efecto negativo sobre el factor trabajo y los salarios (Acemoglu y Restrepo, 2021). En concreto, del mismo modo que se incrementa la eficiencia productiva, el aumento de la automatización genera desigualdad económica en la distribución de los ingresos en los países (Acemoglu y Autor, 2011), además de posibles problemas sociales (Autor, Dorn y Hanson, 2019). De hecho, la digitalización y la inteligencia artificial están intensificando aún más el grado de automatización de la producción, lo que está impulsando a las empresas a optar por invertir en máquinas y robots en lugar de trabajadores, también debido a su ventaja fiscal<sup>42</sup>. Sin embargo, esta decisión no siempre eleva la productividad total (Acemoglu y Restrepo, 2018) y sí incrementa la desigualdad de los ingresos<sup>43</sup>.

En este sentido, Estados Unidos es el gran reflejo del efecto que provoca el avance tecnológico en la desigualdad salarial entre los que más ganan y el resto (Aghion *et al.*, 2019). No obstante, la desigualdad es un concepto complejo que puede medirse de diferentes maneras y no todas ellas indican esta brecha. Es importante mencionar que la revolución de las TIC ha permitido una masiva transferencia de información en estos últimos años; ello ha reequilibrado la asimétrica distribución del conocimiento mundial y ha contribuido a un gran avance hacia la convergencia global, también en el ámbito tecnológico (Baldwin, 2016). Y aunque la innovación parece aumentar la desigualdad en la dimensión más alta de los ingresos, la correlación con la movilidad social y la desigualdad generalizada no se muestra tan rotunda, puesto que las tecnologías disruptivas impulsan la destrucción creativa, con efectos que contrarrestan la desigualdad (Jones y Kim 2018; Aghion *et al.* 2019). Así pues, los estudios empíricos evidencian un gran consenso en que el avance tecnológico es una fuente de desigualdad en métricas como la del 1 % más rico o la curva del gran Gatsby<sup>44</sup> (Chetty *et al.*, 2014). Pero estos efectos no se reflejan de la misma manera en medidas generales como el coeficiente Gini (Aghion *et al.*, 2019), que mide lo lejos que se sitúa un país de la igualdad perfecta. Estas dos dinámicas mantienen el debate abierto acerca de cómo influye el avance tecnológico en la desigualdad de las economías.

Asimismo, al analizar las derivadas de esta discusión y a la vista de la relación entre el avance tecnológico y la desigualdad, por ejemplo en Estados Unidos como referencia de la frontera tecnológica, cabría preguntarse si una mayor desigualdad propicia un entorno que favorece el avance tecnológico. Parece lógico pensar que, si llevamos la situación al extremo, suponiendo que existiese una desigualdad máxima dentro de una economía, el acceso a los avances tecnológicos quedaría relegado a un reducido número de personas y, por consiguiente, a un mercado muy limitado. Esto podría disminuir el incentivo de las empresas a innovar. Sin embargo, un mayor poder adquisitivo de los más ricos aumentaría la disposición a pagar aún más por productos y servicios de gran diferenciación y alto

---

<sup>42</sup> Véase: Bastani y Waldenström (2020).

<sup>43</sup> Se amplía la brecha entre los ganadores (superdirectivos-innovadores) y aquellos cuyas tareas han sido suprimidas (Véase: Brynjolfsson, McAfee y Spence, 2014; Autor, Mindell y Reynolds, 2019).

<sup>44</sup> Esta curva refleja la elasticidad de ingresos intergeneracionales; es decir, mide la probabilidad de heredar el mismo nivel de ingresos que los progenitores.

grado tecnológico, lo que también podría fomentar la actividad innovadora de las empresas (Foellmi y Zweimüller, 2006).

Estas dos caras de la misma moneda conducen a pensar que, en la distribución de los ingresos, es posible que exista un punto óptimo que maximice la innovación. En esta línea, Zweimüller y Brunner (2005) demuestran con un modelo matemático que un mayor equilibrio en la distribución de los ingresos incentivaría la innovación al permitir una mayor rentabilidad. Además, entre otras muchas derivadas sociales, una menor desigualdad sumaría un mayor número de titulados universitarios en los países (Li, 2019), y así las posibilidades de aumentar el talento innovador en general. Un conjunto de argumentos que confirma He *et al.* (2020) en su estudio, al demostrar que, en una muestra de 53 países, la PTF se optimiza en torno a 0,27 puntos del índice Gini. Esto significa que la desigualdad y la frontera tecnológica se relacionan en forma de “U” invertida. Unos resultados interesantes en los que merece la pena profundizar. Por lo tanto, el segundo objetivo de este capítulo es verificar esta relación no lineal entre la desigualdad en los países y la distancia a la frontera tecnológica. Para ello, se utilizará el índice Gini, que ofrece una medida general de la distribución de ingresos, donde cero representa la igualdad perfecta y cien la desigualdad máxima.

### 3.3. Datos y metodología

La estrategia metodológica empleada sigue los siguientes pasos. En primer lugar, se confecciona un panel de datos con 84 países para el periodo de 2000-2019. Tras ello, y centrándonos nuevamente en las diez mayores economías desarrolladas<sup>45</sup>, se presenta un modelo no lineal para explicar, mediante un análisis de regresión, la dinámica que experimentan la competencia y la desigualdad en relación con el avance tecnológico de los países.

#### 3.3.1. Modelo de competencia y desigualdad en el avance tecnológico.

En este caso, para poner a prueba la hipótesis de que la competencia global y la desigualdad de ingresos tienen implicaciones no lineales en el avance tecnológico de los países, se propone la ecuación 3.1, en base a las propuestas de Aghion *et al.* (2005) y Zweimüller y Brunner (2005), entre otros. Para ello, se incluyen las variables cuadráticas de los dos elementos a estudio: competencia y desigualdad.

---


$$PTF\ GAP_{(it)} = \beta_0 + \beta_1 C_{(it)} + \beta_2 C_{(it)}^2 + \beta_3 G_{(it)} + \beta_4 G_{(it)}^2 + \beta_x X_{(it)} + u_{(it)} + \mathcal{E}_{(it)} \quad [3.1]$$


---

En la ecuación [3.1],  $[PTF\ GAP]$  es la distancia a la frontera tecnológica, representada por Estados Unidos.  $[C]$  es la competencia global respecto al país  $[i]$ , en el periodo  $[t]$ , y

<sup>45</sup> Estados Unidos, Japón, Alemania, Reino Unido, Francia, Italia, Canadá, Corea del Sur, Australia y España.

$[C^2]$  su cuadrado. Esta competencia se calcula como uno menos la cuota que supone el PIB del país  $[i]$  sobre el PIB mundial ( $\sum \text{PIB}_{it}$ ). Por su parte,  $[G]$  es el grado de desigualdad de ingresos dentro de cada país y  $[G^2]$  es el cuadrado de este valor. Para medir la desigualdad se utiliza el índice Gini. Asimismo,  $[X]$  representa un conjunto de variables de control relacionadas con el avance tecnológico,  $[u]$  el efecto individual no observado y  $[\mathcal{E}]$  el error de cada país en el periodo.

### 3.3.2. Datos de los países

Para determinar la brecha tecnológica de los países, se utilizan los datos del primer capítulo, con la frontera tecnológica definida por la PTF de Estados Unidos, según los datos de PWT v.10.0. Para la variable de competencia (PIB de los países) también se utilizan los datos ofrecidos por PWT v.10.0 en dólares de 2017 (PPA). Como se comentó con anterioridad, se asume que si un país es capaz de capturar mayor cuota de producción mundial, la competencia global respecto a este país se reduce. Y, al contrario, si su cuota de producción mundial decae, se interpreta que la competencia global se ha visto fortalecida. Por tanto, la medida utilizada para la competencia global es la cuota de producción mundial restante a la del país a estudio  $[i]$ . Por otro lado, para medir el grado de desigualdad de ingresos dentro de los países, se utiliza el índice Gini que ofrece la base de datos del Banco Mundial. En cuanto a las variables de control, se introducen la inversión en investigación y desarrollo (I+D) respecto al PIB de cada país y los años de estudio medio de la población (H) como variables explicativas del avance tecnológico, según el consenso científico. Estos datos se toman del Banco Mundial y de la Unesco, respectivamente. Además, como también refleja la literatura (Woerz, 2009; Danquah, Moral-Benito y Ouattara, 2013), se incorpora el grado de apertura económica del país (Apertura) como otra variable explicativa; esta se mide como la suma porcentual de las exportaciones e importaciones respecto a la producción total, y también se obtiene del Banco Mundial.

Tabla 3.1. Detalle de las variables

Variable	Descripción	Fuente
<b>PTF GAP:</b> Distancia a la frontera tecnológica	PTF país / PTF USA (USA=1)	PWT v.10.0
<b>C:</b> Competencia	$1 - (\text{PIB país} / \text{PIB mundial}) * 100$ 100 = Máxima competencia 0 = Mínima competencia	PWT v.10.0
<b>G:</b> Desigualdad (Índice Gini)	0 = igualdad total; 100 = desigualdad máxima	Banco Mundial
<b>I+D:</b> Inversión en investigación y desarrollo	I+D país / PIB país	Banco Mundial
<b>H:</b> Capital humano	Años medios de estudio reglados país	Unesco
<b>Apertura:</b> Grado de apertura económica	Exportaciones + Importaciones país / PIB país	Banco Mundial

Los detalles de todas las variables utilizadas quedan resumidos en la tabla 3.1. En tanto que, en la tabla 3.2 y en la figura 3.1, se ofrece una descripción estadística de todos los datos y su matriz de correlación, respectivamente. El periodo de análisis, en este caso, se

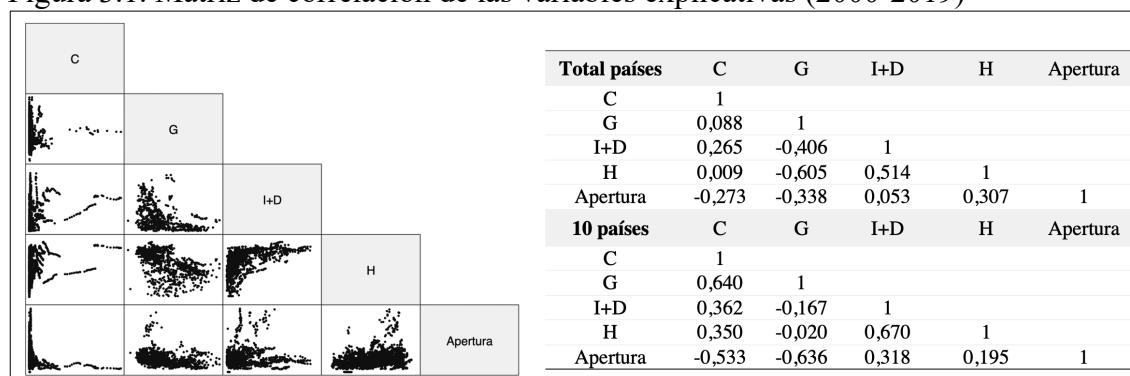
limita a la etapa más reciente, comprendida entre el año 2000 y 2019, ya que el grueso de los datos disponibles se concentra en este periodo, y se pueden computar consistentemente hasta 84<sup>46</sup> países en total.

Tabla 3.2. Descripción estadística de las variables (2000-2019)

Variable	Obs.	Media	Desv. Típica	Mínimo	Máximo
<b>Total países (84)</b>					
PTF GAP	2.343	0,651	0,253	0,136	1,525
C	3.641	99,40	1,802	77,1	99,9
G	1.076	38,19	8,949	20,1	64,8
I+D	1.510	0,955	0,968	0,005	4,57
H	2.910	7,846	3,178	1,1	14,1
Apertura	3.045	89,88	54,69	0,167	442
<b>10 países OCDE</b>					
PTF GAP	200	0,859	0,130	0,600	1,197
C	200	95,70	5,01	77,1	98,9
G	87	33,69	2,598	28,8	41,5
I+D	171	2,190	0,791	0,884	4,55
H	180	11,61	1,459	8,4	14,1
Apertura	188	55,11	18,80	19,79	110

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.1. Matriz de correlación de las variables explicativas (2000-2019)



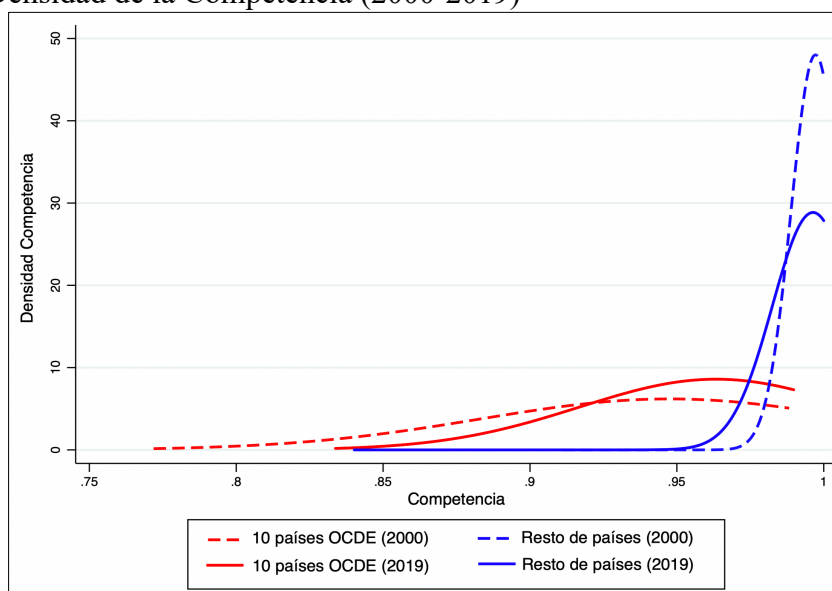
Fuente: Elaboración propia.

En la descripción estadística se puede observar que, en promedio, las diez economías más grandes de la OCDE experimentan una competencia global del 95,7 %, que se eleva al 99,4 % si en la media se incorporan al resto de los países. En términos comparativos, en el año 2000, los 10 países afrontaban una competencia media del 94,7 %, mientras que la del resto de los países (74 países de la muestra, si excluimos a los 10 países) era del 99,7 %. Sin embargo, en 2019, la diferencia se reduce a 96,3 % y 99,6 %, respectivamente. Esta tendencia se evidencia claramente en la figura 3.2, donde se refleja la densidad de la muestra de datos. Aquí se puede apreciar que, en el caso de los 10 países de la OCDE, la

<sup>46</sup> Véase los países en el Anexo A.8.

línea sólida roja (representando el año 2019) supera la línea discontinua roja (representando el año 2000). Mientras que, en el caso del resto de los países, la línea sólida azul se queda por detrás de la línea azul discontinua. Así pues, en términos de competencia, se podría decir que, para los diez países más grandes de la OCDE, la competencia global ha aumentado respecto a la media, ya que su capacidad de mantener o incrementar su cuota en el mercado mundial se ha visto reducida.

Figura 3.2: Densidad de la Competencia (2000-2019)

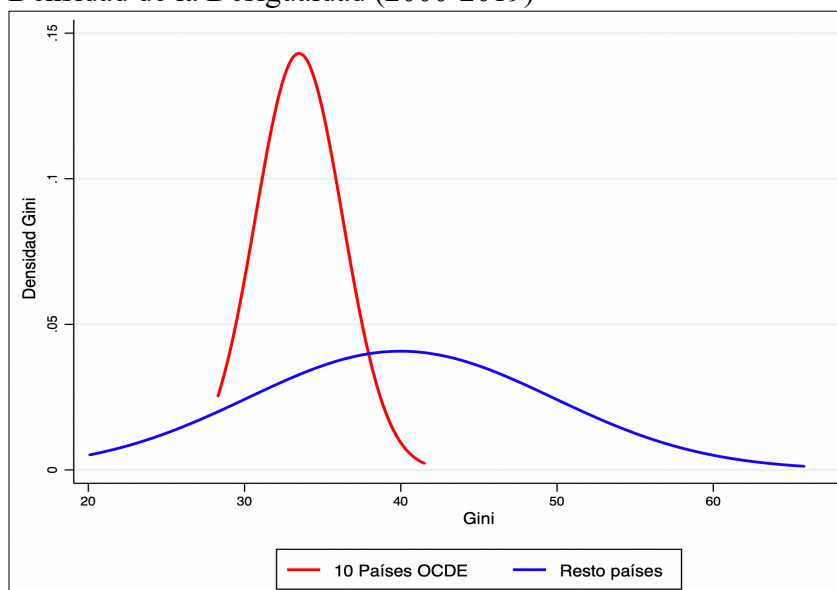


Nota: El resto de los países se refiere al total de la muestra menos los 10 países de la OCDE. Fuente: Elaboración propia con datos de PWT v.10.0.

En cuanto a la desigualdad, el análisis descriptivo muestra que la distribución de ingresos dentro de los países es más desigual en la muestra total. En este conjunto, el índice Gini promedio es de 38 puntos; mientras que en los 10 países no llega a 34 puntos. De hecho, si excluimos a estos diez países de la muestra total, la desigualdad llegaría hasta los 40 puntos. Esta diferencia en la distribución de ingresos promedio se ilustra en la figura 3.3 a través de la densidad de datos disponibles.

En las variables de control, se constata que la inversión en I+D supone más del doble en el caso de los 10 países. Esta diferencia cuantitativa también se ve reflejada en el capital humano, donde existe una diferencia de más de tres años de media en los estudios reglados. Por su parte, el porcentaje de exportaciones e importaciones de las economías avanzadas no supera la proporción media del total de los países; de ahí que, en los 10 países, el grado de apertura económica sea más reducido en términos comparativos. Este conjunto de variables de control mantiene cierta relación entre sí, y su grado de interdependencia es relativamente destacable en algunos casos, pero sin llegar a superar el 67 % de correlación máxima (capital humano con I+D, según la figura 3.1). Por tanto, su incorporación a las mediciones permitirá sustraer parte de la explicación de la distancia a la frontera tecnológica de los países y aislar así las variables de competencia y desigualdad.

Figura 3.3. Densidad de la Desigualdad (2000-2019)



Nota: El resto de los países se refiere al total de la muestra menos los 10 países de la OCDE. Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial.

Para estimar el modelo y llevar a cabo las mediciones econométricas, se utilizan dos técnicas. La primera consiste en utilizar el Método de los Momentos Generalizados (GMM) como estimador dinámico del panel con la muestra de datos completa. Se utiliza la técnica System-GMM de dos etapas (Mileva, 2017), puesto que, tras realizar varios tests y comprobaciones (Blundell y Bond, 1998; Roodman, 2009), resulta ser un método más adecuado que el Difference-GMM. Con este estimador es posible combatir de mejor forma la endogeneidad del modelo y capturar la influencia del pasado en la variable dependiente, en este caso la distancia a la frontera tecnológica. De este modo, se incluye la variable dependiente rezagada como regresor ( $PTF\ GAP_{t-1}$ ), además de un retardo anual en las variables de control, tanto de la inversión en I+D como en el capital humano, ya que el impacto de estas variables puede no ser inmediato. Por su parte, para contrastar la robustez de la estimación, tal y como refleja la literatura, se llevan a cabo las pruebas de Arellano y Bond en primeras diferencias AR(1) y en segundo orden AR(2) para comprobar la ausencia de autocorrelación serial con los errores y los residuos, respectivamente. También se incluye la prueba de Hansen (Hansen, 1982) para analizar el número de instrumentos utilizados en la estimación (Roodman, 2009).

En segundo lugar, también se utiliza la técnica econométrica del estimador de efectos fijos (FEM) tanto para la muestra total (para contrastar los resultados del GMM) como para los 10 países de la OCDE. En este último caso, al disponer de menos datos computables en este conjunto de países, el estimador GMM se puede ver sobreinstrumentalizado. Por lo tanto, tras realizar la prueba de Hausman para descartar la técnica de efectos aleatorios, se recurre al estimador FEM para realizar las mediciones y extraer con esta técnica las características estructurales de cada país.

### 3.4. Resultados

Tabla 3.3. Resultados de la regresión de competencia y desigualdad

Var. Dep.	GMM	FEM	FEM	FEM
(PTF GAP)	Total países	Total países	10 países OCDE	10 países OCDE
<b>Competencia</b>	0,058 ** (0,021)	0,085 *** (0,021)	1,332 *** (0,235)	1,340 *** (0,213)
<b>Competencia<sup>2</sup></b>	-0,0003 ** (0,0001)	-0,0005 *** (0,000)	-0,008 *** (0,001)	-0,008 *** (0,001)
<b>Gini</b>	-0,031 ** (0,014)	-0,031 *** (0,010)	0,058 (0,068)	-0,012 *** (0,003)
<b>Gini<sup>2</sup></b>	0,0003 ** (0,0001)	0,0002 ** (0,0001)	-0,001 (0,001)	-
<b>I+D<sub>t-1</sub></b>	-0,033 * (0,017)	-0,079 *** (0,028)	-0,035 (0,035)	-0,042 (0,037)
<b>H<sub>t-1</sub></b>	0,008 *** (0,002)	0,009 * (0,004)	0,059 ** (0,021)	0,062 ** (0,020)
<b>Apertura</b>	0,0005 *** (0,0001)	0,0007 *** (0,0001)	0,002 *** (0,0005)	0,002 *** (0,0005)
<b>PTF GAP<sub>t-1</sub></b>	0,950 *** (0,017)	-	-	-
<b>Constante</b>	1,293 (0,826)	1,369 *** (0,106)	0,518 *** (0,052)	0,508 * (0,085)
<b>Países</b>	84	84	10	10
<b>Observaciones</b>	731	731	84	84
<b>Test Arellano AR (1)</b>	-3,32 ***	-	-	-
<b>Test Arellano AR (2)</b>	0,53	-	-	-
<b>Instrumentos/ Dummy</b>	43	Sí	No	No
<b>Test Hansen [p-value]</b>	0,418	-	-	-
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	-	0,36	0,18	0,18

Nota: Coeficientes con significatividad estadística al [\*10%]; al [\*\*5%]; al [\*\*\*1%]. Error estándar robusto entre paréntesis. El Test de Arellano-Bond comprueba la correlación en serie, donde AR (1) indica la correlación en serie de primer orden y AR (2) indica la correlación en serie de segundo orden, utilizando los supuestos de ninguna correlación en serie como hipótesis nula. El valor estadístico del test de Hansen indica la restricción en la sobreidentificación del modelo GMM establecido, siendo recomendable:  $[0,1 \leq p\text{-value} \leq 0,8]$ . Por su parte, se utiliza una variable *dummy* para el nivel de ingresos de los países en las mediciones FEM. Elaboración propia.

Los resultados presentados en la tabla 3.3 muestran las estimaciones obtenidas por las dos técnicas econométricas (GMM y FEM) y para las dos muestras de datos en el periodo de 2000-2019. En las mediciones para el total de países, las dos metodologías ofrecen resultados similares. La estimación con el sistema GMM es consistente y significativa. Además, las pruebas realizadas rechazan la autocorrelación serial y respaldan la eficacia de los instrumentos utilizados. Por otro lado, con la técnica de efectos fijos, se puede

explicar aproximadamente un 18 % (10 países OCDE) y más de un tercio (total países) de la brecha tecnológica de los países con estas variables explicativas.

Los resultados indican que la competencia y desigualdad se relacionan con el avance tecnológico de los países de manera no lineal en todas las estimaciones realizadas. Estas relaciones muestran significatividad estadística en todos los casos, incluso en las muestras estratificadas por nivel de ingresos, lo cual se confirma como prueba de robustez en la tabla A.9 del anexo. Sin embargo, en el caso de la desigualdad de ingresos en los diez países de la OCDE, no se observa una relación estadísticamente significativa.

En cuanto a la competencia, los resultados revelan un rendimiento positivo y decreciente. Es decir, el avance tecnológico de los países se acelera desde niveles bajos de competencia, pero se frena en niveles elevados, describiendo una trayectoria en forma de “U” invertida. Este comportamiento se observa tanto en las economías avanzadas como en el conjunto total de los países. Además, al utilizar el complemento del índice de Balassa (la resta de uno menos la proporción de exportaciones de cada país respecto a las exportaciones mundiales), como prueba de robustez para medir la competencia, se confirma de manera similar la relación no lineal descrita (gráfico A.10, anexo).

Por el contrario, los resultados revelan una relación en forma de “U” en el nivel de desigualdad de los países, evidenciando un mayor avance tecnológico en los dos extremos de la distribución de ingresos. Al utilizar la cuota de ingresos que acumula el 1 % de la población más rica<sup>47</sup>, como variable alternativa de la desigualdad general, seguimos observando este mismo comportamiento. Ahora bien, este efecto promedio no se extiende a las economías avanzadas de gran tamaño, ya que la relación no lineal carece de significatividad estadística. Esto lleva a realizar una medición adicional, excluyendo de la estimación el coeficiente cuadrático de desigualdad en los 10 países de la OCDE. En este caso, se confirma que la desigualdad se relaciona negativamente con el avance tecnológico. Por tanto, una mayor desigualdad frena el acercamiento hacia la frontera tecnológica en estos países. Por otro lado, al estratificar las muestras por niveles de ingreso (gráfico A.12, anexo), se observa que la relación en forma de “U” se mantiene tanto en los países de ingreso alto como en los de ingreso medio-alto; sin embargo, en los países de ingresos medio-bajo, la relación se aplan.

### **3.5. Análisis de los resultados**

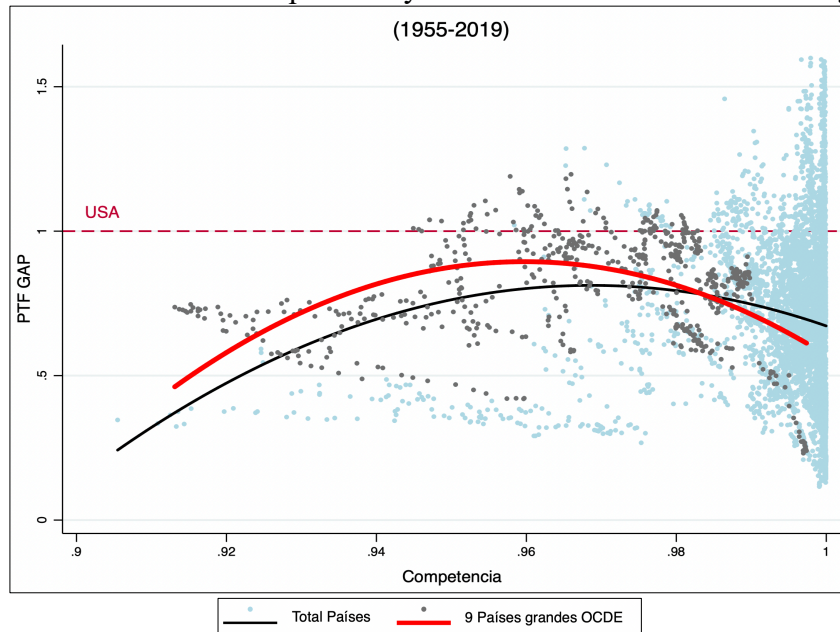
Para analizar los resultados, se representan gráficamente las relaciones obtenidas. En primer lugar, la figura 3.4. muestra el comportamiento de la competencia global, que, en cuyo caso, incluye los datos desde 1955. Al disponer de cifras de largo plazo de esta

---

<sup>47</sup> Véase la relación en el gráfico A.11 del Anexo utilizando la base de datos de *World Inequality Database*: <https://wid.world/data/>

variable, una serie de datos más larga enriquece visualmente la relación obtenida sin afectar la esencia de los resultados de la regresión efectuada.

Figura 3.4. Relación entre la competencia y la distancia a la frontera tecnológica



Nota: Se representan con puntos grises y línea de regresión roja las cifras de los nueve países de mayor tamaño de la OCDE. Estados Unidos (USA) queda definido en la frontera tecnológica ubicada en la unidad con la línea discontinua de color rojo. Los puntos azul claro y línea de regresión negra representan las cifras de los 84 países disponibles en la muestra. Elaboración propia.

Así pues, como apuntan los coeficientes estimados, se puede comprobar que la competencia global muestra una relación no lineal en forma de “U” invertida con el avance tecnológico. Al examinar el conjunto total de países, se observa cómo la baja competencia (en la parte inferior izquierda de la figura 3.4) corresponde en promedio a un bajo rendimiento tecnológico. Y a medida que aumenta la competencia, los países tienden a recortar la brecha tecnológica más rápidamente. Sin embargo, cuando la competencia es excesiva, el rendimiento tecnológico de los países disminuye (en la parte derecha de la figura 3.4). Se podría decir, por tanto, que un aumento excesivo de la competencia global desincentiva a los países a ponerse al día tecnológicamente. O visto de otro modo, una alta competencia global incentiva al líder tecnológico, en este caso Estados Unidos, a innovar más para dejar atrás al resto de los países. Esta relación se hace más evidente en las diez economías desarrolladas de gran tamaño. Los países con un nivel de competencia de partida bajo tienden a acercarse rápidamente a la frontera tecnológica a medida que aumenta la competencia, hasta el punto de que, en promedio, llegan a situarse muy cerca de ella en comparación con el total de los países. Sin embargo, al igual que ocurría con la muestra total, una competencia excesiva también lleva a estos países a alejarse de la frontera tecnológica.

Con lo expuesto, se confirma empíricamente el planteamiento propuesto por Aghion *et al.* (2005)<sup>48</sup> sobre el impacto de la competencia en la innovación de las empresas. Según estos autores, una mayor competencia estimula la innovación (efecto escape de la competencia), pero si se vuelve demasiado intensa, acaba desestimulándola. Los autores sugieren que una mayor competencia incentiva la innovación de las empresas más cercanas a la frontera tecnológica y desalienta a las más alejadas. Este comportamiento se replicaría de forma agregada para los países, ya que la relación obtenida, además de seguir el mismo patrón, se intensifica para las diez economías desarrolladas y, por tanto, más cercanas a la frontera tecnológica.

Según la figura 3.4, el umbral de competencia que estimularía en mayor medida el avance tecnológico de las economías avanzadas se encuentra cerca del 96 %. En 1955, el promedio de la competencia mundial para estos diez países era del 93,5 %, y en 2019 se sitúa en torno al 96,3 %. Por tanto, el nivel de competencia que experimentan estos países se ha incrementado y se desplaza por la línea de izquierda a derecha (figura 3.4), sobrepasando el umbral del 96 %. Esto se traduce en que si, por ejemplo, China o India siguen aumentando su cuota de producción mundial, los países desarrollados de gran tamaño se adentrarían al territorio competitivo de alta intensidad, y por consiguiente, menos propicio para estimular la innovación. Al mismo tiempo, Estados Unidos, como líder tecnológico, podría verse amenazado (incentivado) por la alta competencia global y aumentar su actividad innovadora respecto a sus perseguidores, para así alejarlos de la frontera tecnológica, y provocar ese efecto desestimulante para la innovación en el resto de los países.

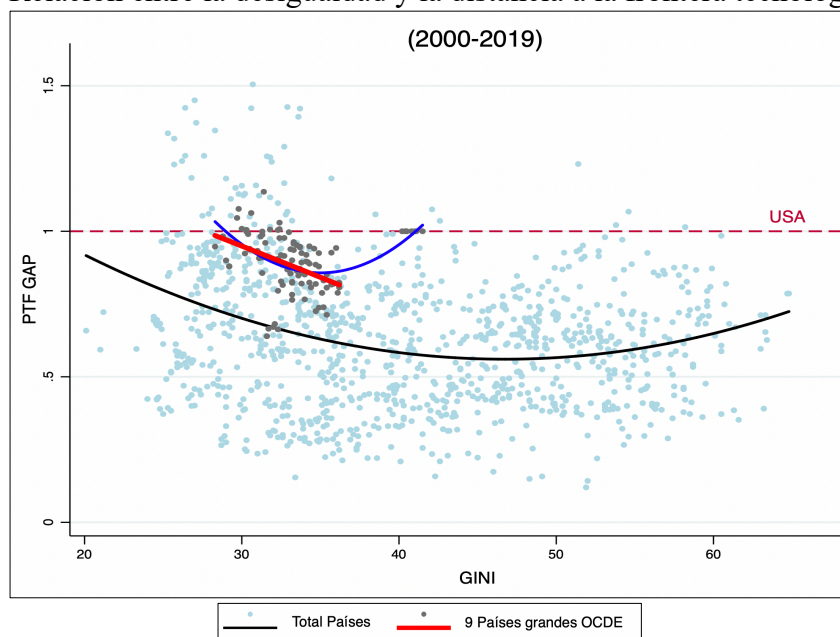
Por otro lado, en segundo lugar, los resultados de la regresión realizada y la figura 3.5 muestran una relación en forma de “U” entre la desigualdad y el avance tecnológico en la muestra total de países. Así pues, en ambos extremos de la distribución, tanto en la máxima igualdad como en la máxima concentración de ingresos, los países tienen una mayor probabilidad de avanzar hacia la frontera tecnológica. No obstante, según la predicción obtenida, en el extremo de máxima igualdad, los países tienden a acercarse más a la frontera en promedio. Este comportamiento también se observa con la cuota de ingresos que acumula el 1 % de la población de mayor renta (gráfico A.13, anexo).

Asimismo, en la relación que se establece en los países avanzados de gran tamaño, se produce un fenómeno singular. La relación estadística se ajusta en mayor medida a una progresión lineal. Al excluir a Estados Unidos de este club de países avanzados de gran tamaño, como se puede ver en la línea roja de la figura 3.5, la relación entre la desigualdad y el avance tecnológico se vuelve negativa. Es decir, una menor desigualdad en la distribución de los ingresos resulta en una mayor probabilidad de acercarse a la frontera tecnológica. Sin embargo, cuando se incorpora a Estados Unidos (línea azul), la relación vuelve a describir el patrón en forma de “U”.

---

<sup>48</sup> En estudios más actuales, como el de Beneito *et al.* (2011) y Negassi *et al.* (2019), también se confirman empíricamente este planteamiento a nivel empresarial para diferentes sectores. En cambio, el estudio de Cornett *et al.* (2019) sostiene que la relación que se establece es en forma de “U”.

Figura 3.5. Relación entre la desigualdad y la distancia a la frontera tecnológica



Nota: Se representan con puntos grises y línea de regresión roja las cifras de los nueve países de mayor tamaño de la OCDE. Estados Unidos (USA) queda definido en la frontera tecnológica ubicada en la unidad con la línea discontinua de color rojo. Los puntos azul claro y línea de regresión negra representan las cifras de los 84 países disponibles en la muestra. Elaboración propia.

Este comportamiento plantea varias posibles explicaciones. Debido a que en ambos extremos de la distribución de ingresos existe una mayor probabilidad de avance promedio, se podría argumentar que existen dos vías para progresar tecnológicamente. Estados Unidos, como líder tecnológico, optaría por un avance respaldado por un mayor desequilibrio en la distribución de sus ingresos, mientras que el resto de las grandes economías avanzadas se decantarían por estrategias tecnológicas basadas en una menor desigualdad.

El avance tecnológico en el extremo superior de desigualdad, como se ha observado con Estados Unidos, respalda los resultados de Foellmi y Zweimüller (2006), que sugieren que un aumento de la desigualdad permite a los innovadores subir los precios de sus productos, aunque esto limite el tamaño del mercado. Y mientras el efecto del precio sea más importante que el tamaño del mercado, la desigualdad incentivará la innovación. En esta misma línea, Acemoglu, Robinson y Verdier (2017) también señalan que con un sistema de recompensas más desigual, se aumenta el esfuerzo innovador en la frontera tecnológica (lo que los autores denominaron “capitalismo despiadado”).

Sin embargo, en contrapunto, el modelo matemático propuesto en Zweimüller y Brunner (2005) sostiene que la reducción de la desigualdad aumenta la demanda de productos de alta calidad, lo que a su vez incentiva la innovación. Este escenario es coherente con los resultados obtenidos en el resto de las economías avanzadas de gran tamaño. En cambio, Zweimüller y Brunner (2005) establecen un punto óptimo en la distribución de los ingresos, en el que el líder tecnológico se dirige a las rentas altas con productos de mayor

precio y los seguidores tecnológicos cubren la oferta del resto de rentas. En esta misma línea Acemoglu, Robinson y Verdier (2017) infieren un equilibrio mundial entre los países que, según sus palabras, optan por un capitalismo “despiadado” (como Estados Unidos) o un capitalismo “mimoso” (como Escandinavia). Estas ideas se ajustan a las dos vías de avance tecnológico observadas (ambos extremos de la distribución de ingresos), pero no se llegaría a alcanzar ningún punto de equilibrio según los resultados cosechados.

De hecho, la relación obtenida también difiere del nivel de desigualdad que maximizaría la innovación hallado por He *et al.* (2020) para su muestra de 53 países. Puesto que, si bien la relación observada responde a un patrón no lineal; esta relación se torna al revés, en forma de “U”. Incluso los resultados expuestos dotan de mayor potencial de avance tecnológico a los países con menor desigualdad general, tanto en las economías avanzadas como en la muestra de 84 países. Ello nos lleva a pensar, como apunta Spiganti (2020), que las altas recompensas incentivan la innovación durante un periodo determinado de tiempo, pero, a largo plazo, la desigualdad puede conducir a una peor distribución del talento innovador.

### **3.6. Conclusiones**

En este capítulo, se ha destacado la importancia que adquieren factores como la competencia y la desigualdad en las modernas economías impulsadas por la innovación. Al analizar los datos de 84 países en el periodo de 2000-2019, se han identificado patrones no lineales en la relación entre estos factores y el avance tecnológico.

En cuanto a la competencia global, se ha encontrado que los países responden a una relación en forma de “U” invertida en su senda hacia la frontera tecnológica. De ello se infiere que, en línea con el trabajo de Aghion *et al.* (2005), una mayor competencia incentiva la actividad innovadora de los países cercanos a la frontera tecnológica, pero desincentiva la de los alejados.

Por otro lado, en el caso de la desigualdad, la relación se torna al revés, en forma de “U”. De modo que existe una mayor probabilidad de avance tecnológico para los países situados en ambos extremos de la distribución de ingresos, tanto en la máxima igualdad como en la máxima concentración de ingresos. Esto sugiere que existen dos vías para el avance tecnológico de los países, que, sin embargo, según los resultados obtenidos, dota de mayor potencial innovador a los países con menor desigualdad general.

Asimismo, es probable que tanto la competencia como la desigualdad sean, en gran parte, derivadas económicas del progreso tecnológico de los países. En otras palabras, consecuencias del desarrollo de las economías, y que sus efectos, además de verse retroalimentados por los innumerables factores que componen las economías avanzadas, trasciendan más allá del ámbito tecnológico. Sin embargo, las recetas tecnológicas para

los países son cada vez más complejas y requieren de ingredientes más sofisticados para mejorar el desempeño de la actividad innovadora. Por tanto, aspectos como la competencia y la desigualdad cobran cada vez más importancia no solo para generar un entorno propicio para la innovación, sino para fortalecer la demanda tecnológica de forma extensiva. Aunque queda mucho por explorar en este sentido, todo indica que esto se logra mediante un desarrollo tecnológico más inclusivo y equilibradamente competitivo.

---

## **CAPÍTULO 4**

Convergencia no lineal de la Productividad  
Total de los Factores en los distintos  
tamaños empresariales de España

---

## 4.1. Introducción

La naturaleza del tejido empresarial de España es un tema que suscita un debate constante, en gran parte debido a la elevada proporción de microempresas, pequeñas y medianas empresas. Identificar las causas que explican esta atomización empresarial que da forma a la economía española, más propia de un país en desarrollo que de una economía avanzada, no es una tarea sencilla. En general, el tamaño de las empresas condiciona gran parte de las características de las industrias, como la innovación y la eficiencia productiva, factores que pueden ser medidos a través de la PTF. Durante las dos últimas décadas, España ha experimentado un crecimiento escaso de su PTF, con avances cercanos al 0,2 % promedio. Esto la sitúa por debajo de la media de la zona euro y la aleja de las economías más desarrolladas, según datos de la Comisión Europea<sup>49</sup>.

Este bajo rendimiento de la PTF española no es resultado de una sola causa y existen varios argumentos que lo explican. Uno de los más destacados es la baja inversión en I+D respecto a los países más desarrollados, lo que genera un limitado avance tecnológico en sectores disruptivos. A esto se le une un gran sesgo hacia las industrias intensivas en infraestructuras, como son el turismo y la construcción (Mas y Robledo, 2010). Sobre este asunto profundizan Díaz y Franjo (2016), que atribuyen el bajo rendimiento de la PTF de España a una desmesurada e ineficiente inversión en estructuras residenciales en detrimento de equipamiento específico para el desarrollo tecnológico. Esto ha llevado a España a un crecimiento económico basado en la acumulación de factores productivos, pero con escaso avance en la PTF.

La baja inversión en recursos tecnológicos de España se debe en gran medida a la composición del tejido empresarial y la distribución asimétrica del tamaño de las empresas. De hecho, autores como Pagano y Schivardi (2001) muestran una asociación directa entre el tamaño de las empresas y el crecimiento económico; ya que la dimensión empresarial influye en la capacidad de innovación y, en consecuencia, en la productividad. Un argumento que encajaría con el caso español, cuya escasa proporción de empresas grandes no le permitiría maximizar los rendimientos crecientes asociados a la innovación.

Sin embargo, aunque las empresas de mayor tamaño reportan productividades superiores de media, la consecuencia causal entre el tamaño y la productividad de las empresas no resulta tan concluyente. De hecho, en un reciente estudio realizado por Moral-Benito (2018), se demuestra que, de manera unidireccional, el factor catalizador para el crecimiento del tamaño empresarial es la productividad total. Es decir, el aumento de productividad permite un incremento del tamaño empresarial, pero no al revés. Se estaría así ante un círculo virtuoso, en el que el aumento de la productividad genera una mayor demanda laboral, que a su vez conduce a mejoras tecnológicas y prácticas más eficientes, con el consecuente aumento de la PTF. Pero un aumento deliberado de la fuerza laboral

---

<sup>49</sup> Véase el informe del Banco de España (2019), Retos de la economía española. La productividad y el tejido empresarial. Y datos AMECO: [https://economy-finance.ec.europa.eu/economic-research-and-databases/economic-databases/ameco-database\\_en#database](https://economy-finance.ec.europa.eu/economic-research-and-databases/economic-databases/ameco-database_en#database)

no necesariamente se traduciría en mayor productividad por sí mismo.

Así pues, situados en este marco de inquietudes, en este capítulo se analiza la dinámica de crecimiento que desarrolla la PTF en los distintos tamaños empresariales a través de relaciones no lineales de convergencia. De este modo, continuando con los trabajos que sostienen que la productividad determina significativamente el tamaño empresarial, el principal objetivo de la investigación es comprobar si las empresas que parten de niveles más bajos de PTF experimentan una progresión no lineal en su proceso de convergencia. Esto permitiría identificar la existencia de barreras productivas en la pretensión de aumentar el tamaño empresarial. Por tanto, se analiza el crecimiento de la PTF a partir de su nivel inicial y su impacto en el tamaño de las empresas españolas. Además, tomando como referencia un periodo reciente, se establecen dos escenarios de análisis correspondientes a las fases de contracción y expansión del ciclo económico.

Para tal cometido, el capítulo se ordena en seis apartados. Tras esta introducción, en el siguiente punto se ofrece una descripción del tejido empresarial de España y un repaso de la literatura relacionada. En el tercer apartado, se detalla la selección de datos empresariales y el proceso metodológico empleado. En el cuarto apartado, se presentan los resultados obtenidos y seguidamente se lleva a cabo un análisis de estos. Finalmente, el capítulo termina con las principales conclusiones alcanzadas.

## **4.2. Algunos datos relevantes y revisión de la literatura**

Entender el crecimiento económico de España pasa por comprender el desempeño de las microempresas, pequeñas y medianas empresas (pymes<sup>50</sup>). Las pymes en España representan el 99,83 % de las empresas y generan más del 64 % del empleo total. Estas cifras son similares a la media de la Unión Europea (UE), que también ronda el 99,8 % y el 66,4 %<sup>51</sup>, respectivamente. Estos datos demuestran la importancia que tienen este tipo de empresas para la economía europea, especialmente en España, donde generan más del 62 % del valor añadido bruto. Sin embargo, el aporte de las pymes al crecimiento económico español no es el que cabría esperar dada su gran proporción relativa en la economía. En 2017, España se encontraba junto a Croacia, Chipre, Grecia, Italia y Portugal, como los países cuyo valor añadido no había alcanzado los niveles previos a la crisis financiera de 2007, y tampoco su nivel de empleo<sup>52</sup>.

Según datos del Ministerio de Empleo y Seguridad Social (MEySS<sup>53</sup>), la estructura

---

<sup>50</sup> La definición de pyme que establece la Comisión Europea se refiere a las empresas que ocupan a menos de 250 personas, y cuyo volumen de negocios anual no excede de 50 millones de euros o cuyo balance general anual no excede de 43 millones de euros.

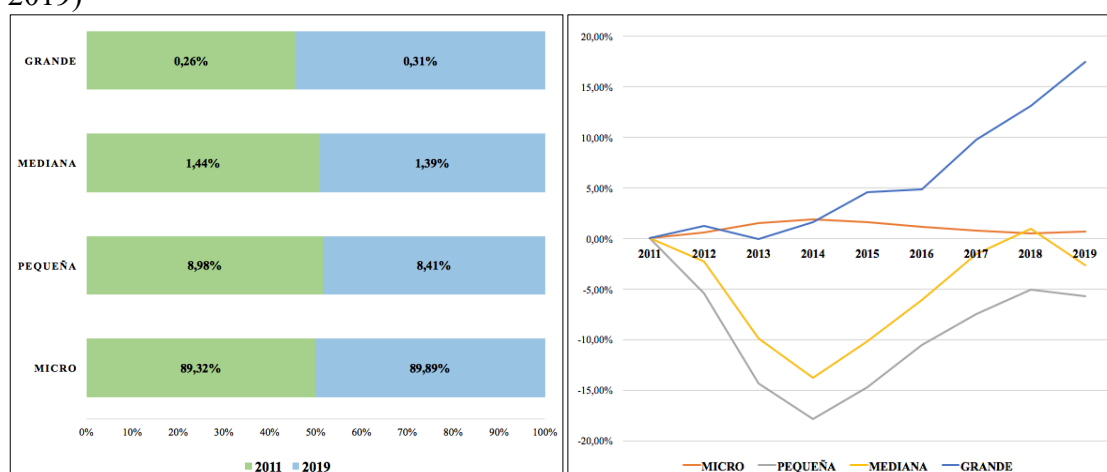
<sup>51</sup> Fuente: Eurostat (National Statistical Offices).

<sup>52</sup> Véase el informe Marco estratégico en política de PYME 2030 del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (2019); [https://plataformapyme.es/sitecollectiondocuments/estrategiapyme/marco\\_estategico\\_politica\\_pyme\\_2030.pdf](https://plataformapyme.es/sitecollectiondocuments/estrategiapyme/marco_estategico_politica_pyme_2030.pdf)

<sup>53</sup> Datos publicados en el informe Cifras PYME del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo; <http://www.ipyme.org/es-ES/publicaciones/Paginas/estadisticaspyme.aspx>

empresarial española se ha mantenido relativamente estable durante la última década. La figura 4.1 muestra la composición de los tamaños empresariales en 2011 y 2019, así como la tasa de crecimiento anual acumulada durante este periodo. Se observa un ligero repunte en la cuota que suponen las grandes empresas, que pasan del 0,26 % al 0,31 % del total. Este aumento representa cerca de un 20 % respecto a la proporción de 2011, y es el mayor aumento anual acumulado (superior al 17 %) de todos los tamaños empresariales durante este periodo. Esta variación de empresas grandes se da en detrimento de la evolución de las microempresas y empresas pequeñas, que disminuyen ligeramente su peso con tasas de variación negativas de más del 5 % en el caso de las empresas pequeñas. Asimismo, la proporción de empresas medianas se ha mantenido constante. Ahora bien, pese a este incremento porcentual de empresas grandes, la proporción en España sigue siendo muy reducida y necesitaría un ritmo de crecimiento muy superior al de estos últimos años para alcanzar la cuota media de empresas grandes de la UE y reducir la brecha con los países más aventajados como son Alemania, Reino Unido y Estados Unidos<sup>54</sup>.

Figura 4.1. Cuotas del tamaño de las empresas y su crecimiento anual acumulado (2011-2019)



Fuente: Elaboración propia con datos del MEySS.

La gran proporción de pymes en España condiciona la productividad de su economía. Existe abundante evidencia empírica acerca de que las empresas de mayor tamaño tienen más productividad promedio que las empresas más pequeñas<sup>55</sup>. En este sentido, las pymes españolas arrastran un hándicap doble: por un lado, muestran una mayor brecha de productividad respecto a las empresas grandes; y, por otro lado, presentan peores cifras que las pymes de los países de su entorno<sup>56</sup>. Además, la economía española mantiene una relación inusual con la productividad, siendo proclive a aumentar en periodos de recesión económica y a reducirse en los ciclos expansivos. Según autores como Maroto-Sánchez y Cuadrado-Roura (2006) o Jalón y Herce (2020), este comportamiento contracíclico se

<sup>54</sup> Datos de la Comisión Europea para 2019 y del US International Trade Commission.

<sup>55</sup> Véase, por ejemplo, el trabajo de Van Ark y Monnikhof (1996) para países de la OCDE o el de Huerta y Salas (2014) para España.

<sup>56</sup> Comisión Europea (2019), Semestre Europeo - Informe sobre España; [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/2019-european-semester-country-specific-recommendation-commission-recommendation-spain\\_es.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/2019-european-semester-country-specific-recommendation-commission-recommendation-spain_es.pdf)

debe a la gran destrucción de empleo en los periodos de recesión y a la alta contratación en las fases expansivas. Un hecho que se intensifica en las pymes, y que deja su huella en la PTF, al reflejar el nivel de eficiencia en el que se utiliza los factores productivos, en este caso el trabajo.

La eficiencia supone un aspecto clave para la economía, ya que la óptima organización de los factores productivos permite lograr mayores niveles de producción sin necesidad de aumentar los recursos. En general, la mayor parte de la literatura muestra una relación positiva entre el tamaño empresarial y la eficiencia, especialmente en las industrias grandes de los países desarrollados (Schiersch, 2013). Esto se atribuye a que, entre otros factores, las empresas de mayor tamaño son capaces de beneficiarse de economías de escala (Hirsch *et al.*, 2014; Blažková, Dvoulety y Machek, 2020); atraer un mayor flujo de capitales (Cowling 2010); contar con gestores más capacitados (Medrano, Salas y Sánchez, 2019); y tener un mejor desempeño exportador (Serrano y Myro, 2019). Además, los trabajadores se vuelven más eficientes a medida que adquieren más experiencia en su actividad (Arkolakis, Papageorgiou y Timoshenko, 2015), y las empresas grandes son las que ofrecen una mayor duración contractual con la mano de obra. Es por todo ello que las empresas grandes son capaces de obtener niveles de PTF superiores (Hsieh y Klenov, 2009; 2011; Syverson, 2011).

No obstante, a pesar de las ventajas de las empresas grandes, no siempre esto se traduce en una mayor eficiencia. Según un estudio de Díaz y Sánchez (2008) para el sector manufacturero español durante 1995-2001, las empresas con menos de doscientos empleados resultaron ser más eficientes que las empresas de tamaño superior. Estos resultados son similares a los encontrados por Gumbau-Albert y Maudos (2002) en diecisiete sectores industriales en España. Al respecto, autores como Nieto y Santamaría (2010) o Greve (2011) sostienen que, en términos de eficiencia, las empresas de menor tamaño tienen ciertas ventajas como un menor nivel de burocratización y una mayor flexibilidad en su estructura organizativa, lo que les permite una rápida adaptación de sus recursos a los cambios de la demanda.

Además de la eficiencia productiva, la PTF también refleja el avance tecnológico de la economía, ya que la innovación permite potenciar el rendimiento individual y combinatorio de los factores productivos. España dejó atrás el periodo en el que su retraso tecnológico relativo le permitía avanzar más rápidamente a través de la imitación extranjera. Al alcanzar un cierto nivel de desarrollo, el potencial de crecimiento que permitía esta vía, además de requerir recursos cada vez más sofisticados, termina agotándose (Myro, 2019). Precisamente, como se mencionó con anterioridad, el crecimiento de la PTF en España lleva estancado más de dos décadas, por lo que la economía española necesita crear conocimiento propio para aumentar sus capacidades tecnológicas e impulsar la PTF. No obstante, a pesar de la correlación positiva entre el tamaño empresarial y la innovación que recoge el meta-análisis realizado por Camisón *et al.* (2002) en 56 estudios empíricos, el conjunto de la literatura especializada no se muestra completamente rotunda sobre este aspecto. De hecho, en términos generales, un

mayor tamaño empresarial permite destinar un mayor presupuesto en tecnología, pero también supone una mayor rigidez en su implementación. En muchos casos, se puede afirmar que las fortalezas en innovación de las empresas grandes se convierten en las debilidades comparativas de las empresas pequeñas, y viceversa (Hausman, 2005; Laforet, 2008).

La historia económica de España refleja que las empresas de mayor tamaño tienen una mayor tendencia a innovar (Buesa y Molero, 1996). Sin embargo, la falta de precisión en los datos y la escasa información estadística sobre la innovación de las pymes pueden afectar esta correlación. Según autores como Urbano y Toledano (2008), aunque las empresas pequeñas pueden estar dispuestas a innovar, no cuentan con una asignación de recursos específicos en I+D. Así pues, la innovación en las pymes suele basarse en adaptaciones de productos existentes o en nuevos métodos de comercialización y marketing (Fernández-Ribas, 2010).

Pese a ello, las cifras oficiales disponibles sobre la inversión en I+D de las empresas españolas indican que son las empresas grandes las que tienen una menor inversión relativa. Según Eurostat, las pymes españolas invierten un 0,1 % del PIB más que las pymes alemanas, mientras que las empresas grandes españolas invierten un 1,5 % menos en comparación<sup>57</sup>. Esta falta de inversión en las empresas grandes podría limitar tanto la difusión tecnológica como el efecto de arrastre sobre las empresas de menor tamaño (Wolff, 2011).

Por otro lado, uno de los pilares fundamentales para el avance tecnológico reside en la producción industrial. Sobre este aspecto, en la figura 4.2 podemos observar cómo desde 2012, las manufacturas destacan como el sector español con mayores incrementos en PTF, mientras que el total de las industrias registra avances negativos desde 2010. Este repunte del sector industrial corrobora en parte la tracción productiva que generan las empresas grandes, ya que este sector es el que emplea un mayor número de trabajadores de media, según datos del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo a cierre de 2019<sup>58</sup>. Sin embargo, a pesar de esta tendencia, las empresas industriales comienzan a perder peso en el gasto de actividades innovadoras. De acuerdo con la encuesta de innovación tecnológica elaborada por el INE, en 2019 las empresas de servicios superaron por primera vez a las empresas industriales, representando más del 50 % del gasto total en innovación. Por su parte, las empresas industriales contrajeron su gasto hasta el 46,8 %. Además, cabe recordar que el peso del sector manufacturero español en el total de la economía queda muy alejado de países como Alemania, donde representa prácticamente el doble. Según Eurostat, esto se traduce en una proporción de la producción del 14,2 % del PIB de España frente al 23,4 % de Alemania. Por tanto, pese a la fortaleza relativa

---

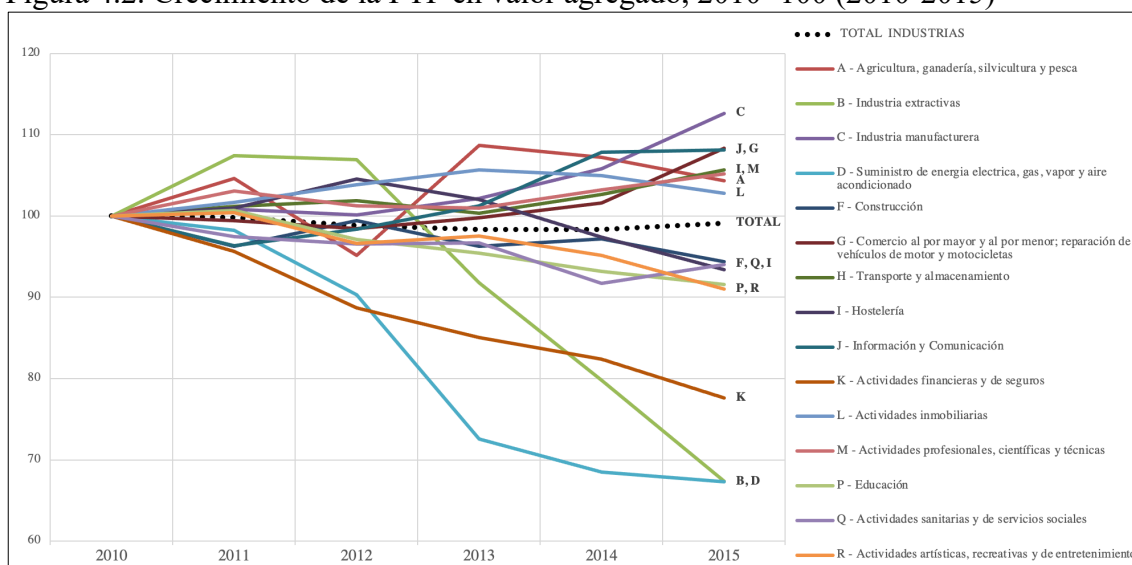
<sup>57</sup> Para el año 2016, el gasto en I+D de las pymes españolas fue del 0,3 % sobre el PIB frente al 0,2 % de las pymes alemanas. En el caso de las empresas grandes, el gasto se sitúa en el 0,3% para España mientras que se eleva al 1,8 % en las empresas alemanas. Para más detalles, véase:

[https://plataformapyme.es/sitecollectiondocuments/estrategiapyme/marco\\_estategico\\_politica\\_pyyme\\_2030.pdf](https://plataformapyme.es/sitecollectiondocuments/estrategiapyme/marco_estategico_politica_pyyme_2030.pdf)

<sup>58</sup> Tamaño medio empresarial en número de empleados a fecha de diciembre de 2019: Sector Industrial, Servicios, Agrario y Construcción, por este orden: 12,2; 5,8; 2,7; 3,4.

observada en el sector industrial, su impulso no parece ser suficiente para arrastrar al conjunto de los sectores.

Figura 4.2. Crecimiento de la PTF en valor agregado, 2010=100 (2010-2015)



Fuente: Elaboración propia con datos de EUKLEMS.

Ante la amplia gama de capacidades organizativas y tecnológicas que es capaz de reflejar la PTF, las diferencias entre los distintos sectores y tamaños de empresas en España parecen evidentes (García-Santana *et al.*, 2016; Banco de España, 2019). Sin embargo, las dudas no se despejan en cuanto a la dirección causal entre la PTF y el tamaño de las empresas. Resolver esta cuestión resulta esencial para comprender qué determina el tejido empresarial español. No se puede olvidar que uno de los principales objetivos de los gobiernos de España es incrementar el tamaño de sus empresas para dotarlas de mayor competitividad, pero las políticas de estímulo y regulaciones<sup>59</sup> no parecen dar el resultado esperado. En líneas generales, la evidencia mencionada sugiere que, de manera uniforme, a medida que aumenta el tamaño empresarial, también aumenta la PTF. Pero existe una gran variedad de estudios que explican estos incrementos a través de implicaciones no lineales, lo que podría tener un impacto diferente en la dimensión empresarial.

Sobre estos alcances no lineales, cabría destacar el estudio de Schiersch (2013) para la industria mecánica alemana, el cual encuentra una mayor eficiencia en las empresas pequeñas y grandes en comparación con las medianas. Unos resultados que, según palabras del autor, permiten establecer una relación en forma de “U” entre la eficiencia y el tamaño empresarial. Estos hallazgos son similares y compatibles a los encontrados por Chow y Fung (1997) en el sector manufacturero de Shanghai, y por Serrano y Myro (2019) en la actividad exportadora de la industria española. En este último estudio, se observa una disminución de la productividad en las empresas antes de su entrada a los mercados extranjeros, seguida de un gradual crecimiento durante los años exportadores;

<sup>59</sup> Por ejemplo: Ley de Fomento de la Financiación Empresarial y Ley de Apoyo a Emprendedores y su Internalización.

en virtud de que, como apuntan los autores, la actividad exportadora está asociada al aumento del tamaño de la empresa.

Sin embargo, siguiendo un enfoque similar, Fernandes (2008) encontró que, en el sector manufacturero de Bangladés, tanto las empresas con menos de diez empleados como las de menos de quinientos tienen una mayor PTF en comparación con las empresas de tamaños superiores. Este estudio argumenta que las empresas extremadamente grandes presentan deficiencias en la gestión y coordinación de los recursos debido a la baja cualificación de los mandos intermedios. Por otro lado, Blažková, Dvoulety y Machek (2020) identificaron como menos productivas a las empresas más jóvenes y más antiguas. En este trabajo para el sector alimenticio checo se relaciona la edad de las empresas con su tamaño (definiendo a las más jóvenes como las más pequeñas y las más antiguas como las más grandes) y los autores encuentran un crecimiento no lineal de la PTF en el conjunto de las dimensiones empresariales. Por su parte, Hung, Li y Shen (2019), mediante un panel de empresas de biotecnología de Taiwán, descubren una relación en forma de “U” invertida entre el desempeño de la empresa y la expansión de su tamaño, con diferentes impactos no lineales sobre la productividad y la actividad innovadora. Recientemente, Baerlocher (2021) encontró que la proporción de trabajadores públicos tiene impacto en forma de “U” invertida sobre el crecimiento económico. Esto se debe a que cuando aumenta la cuota de empleo público, el tamaño de las empresas privadas se reduce, viéndose resentido en mayor medida el valor añadido de las empresas más pequeñas y grandes.

Por tanto, partiendo de estas premisas y siguiendo un enfoque similar al presentado por Bahar (2018), en este capítulo se procede a explicar el crecimiento de la PTF a partir de su nivel inicial, y examinar si existe una convergencia entre las distintas dimensiones empresariales.

### **4.3. Datos y metodología**

La estrategia metodológica empleada sigue los siguientes pasos: en primer lugar, se elabora un panel de datos balanceado con 16.856 empresas clasificadas en veinte sectores NACE para el periodo 2011-2019. Seguidamente, se genera la PTF a nivel empresa mediante la estimación de una función de producción para cada sector. Finalmente, se presenta un modelo de convergencia no lineal para realizar un análisis de regresión de la variación anual de la PTF.

#### 4.3.1. Muestra de datos de empresas

La muestra de empresas empleada para el estudio se recoge de la base de datos que ofrece Orbis (Bureau Van Dijk<sup>60</sup>). Se recaba el mayor número de empresas con series de datos completas para representar el tejido empresarial no financiero español. La muestra inicial incluía un mayor número de empresas, pero solo se consideraron aquellas que permanecieron activas durante todo el periodo de 2011-2019, con un promedio de cuatro o más trabajadores y que no presentaban ningún dato en blanco en las variables utilizadas. Por poner en contexto, según el Directorio Central de Empresas<sup>61</sup> (DIRCE), el 82,8 % de las empresas españolas tienen dos o menos trabajadores. Por tanto, la intención es poner el foco en la proporción restante. Es decir, en empresas consolidadas que permanecen en funcionamiento durante un periodo relativamente grande y con una estructura de trabajadores relevante, que a su vez reportan datos de mayor fiabilidad.

En el desarrollo natural de las empresas, un gran número de las más nuevas, y por tanto de menor tamaño, no logran sobrevivir en sus primeros años de existencia<sup>62</sup>. Esto hace que el tamaño empresarial esté ligado a la distribución de la edad de las empresas. En muchos estudios, estas empresas extremadamente inmaduras, que no prosperan, componen gran parte de las muestras de datos de las pymes. A pesar de que esto puede representar cierta realidad de lo que ocurre en este nivel empresarial, desvirtúa el comportamiento de las empresas pequeñas más establecidas. Así pues, este fenómeno de movilidad de empresas entrantes y salientes, que no es objeto de este estudio, queda excluido al optar por empresas con actividad y permanencia durante los nueve años del análisis.

Por tanto, la muestra final contiene 16.856 empresas, de las cuales se obtiene la información financiera anualizada de sus balances y de sus cuentas de resultados, que incluyen: los ingresos de explotación, el valor de los activos fijos, los costes de material, los costes de los empleados y el número total de trabajadores. Las empresas se clasifican en veinte sectores, según la principal sección NACE Rev.2<sup>63</sup>. Con esta información se puede configurar un panel de datos completamente balanceado con más de 150.000 observaciones.

Para los datos monetarios se utilizan deflatores sectoriales para calcular los valores

---

<sup>60</sup> Empresa especializada en datos de empresa y perteneciente a la compañía Moody's Analytics.

<sup>61</sup> Fuente: [https://www.ine.es/prensa/dirce\\_2020.pdf](https://www.ine.es/prensa/dirce_2020.pdf)

<sup>62</sup> Este fenómeno se explica bien en Bartelsman, Scarpetta y Schivardi (2005), donde se observa que gran parte de las empresas nuevas nacen y mueren pequeñas.

<sup>63</sup> (A) Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca; (B) Industrias extractivas; (C) Industria manufacturera; (D) Suministro de energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado; (E) Suministro de agua, actividades de saneamiento, gestión de residuos y descontaminación; (F) Construcción; (G) Comercio al por mayor y al por menor, reparación de vehículos de motor motocicletas; (H) Transporte y almacenamiento; (I) Hostelería; (J) Información y comunicación; (K) Actividades financieras y de seguros; (L) Actividades inmobiliarias; (M) Actividades profesionales, científicas y técnicas; (N) Actividades administrativas y servicios auxiliares; (O) Administración pública, defensa y seguridad social obligatoria; (P) Educación; (Q) Actividades sanitaria y de servicios sociales; (R) Actividades artísticas, recreativas y de entretenimiento; (S) Otros servicios.

reales en euros, usando el 2011 como año base<sup>64</sup>. La muestra, pese a centrarse en empresas de cuatro o más trabajadores, abarca los cuatro tamaños empresariales que atienden a las características de clasificación por empleados de la UE (microempresas, pequeñas, medianas y grandes). La representatividad muestral es similar a la distribución empresarial de España, con cierta sobrerrepresentación de las empresas grandes. Las empresas denominadas pymes, en este caso entre 4 y 249 trabajadores, representan el 97,2 % de la muestra (99,63 %<sup>65</sup> en España), mientras que las empresas grandes, a partir de 250 trabajadores, representan el 2,8 % (el 0,37 %<sup>66</sup> en España).

#### 4.3.2. PTF de las empresas

Para obtener las PTF de las empresas, se recurre a la función de producción neoclásica en su versión estándar Cobb-Douglas de la siguiente forma:

---


$$Y_{(it)} = K_{(it)}^{\beta_1} M_{(it)}^{\beta_2} L_{(it)}^{\beta_3} \quad [4.1]$$


---

En esta expresión [4.1],  $[Y]$  representa los ingresos de explotación de la empresa  $[i]$  en el periodo  $[t]$ .  $[K]$  denota los activos fijos,  $[M]$  el coste del material empleado y  $[L]$  los costes de los trabajadores. Mientras que  $[\beta_1]$ ,  $[\beta_2]$  y  $[\beta_3]$  reflejan la contribución de estos factores en la producción.

Para estimar los parámetros de la función de producción propuesta, se parte de las diferentes técnicas aceptadas en la literatura capaces de combatir los posibles problemas de autocorrelación y endogeneidad. Tras evaluar diferentes metodologías, se opta por la técnica semiparamétrica que propone Wooldridge (2010). Esta técnica combina los métodos de Olley y Pakes (1996) y Levinsohn y Petrin (2003) con un enfoque GMM que mejora la eficiencia de la estimación. Se aplican logaritmos a las variables y se estiman los coeficientes de la función de producción para cada sector NACE. Esto permite calcular la PTF y su variación anual a nivel de empresa. Finalmente, se prescinde del sector (O), Administración pública, defensa y seguridad social obligatoria, al no disponer de al menos 40 empresas con más de 350 observaciones disponibles, límite inferior establecido por sector.

Una vez obtenidas las elasticidades factoriales, se estiman las PTF de las empresas del siguiente modo [4.2]:

---


$$PTF_{(it)} = \log Y_{(it)} - \beta_1 (\log K_{(it)}) - \beta_2 (\log M_{(it)}) - \beta_3 (\log L_{(it)}) \quad [4.2]$$


---

<sup>64</sup> De la Contabilidad Nacional de España que ofrece el INE, se toma el deflactor del valor añadido, el de bienes de equipo y el de materiales por ramas de actividad, así como el IPC para los salarios.

<sup>65</sup> Enero 2020, el dato excluye las pymes sin asalariados.

<sup>66</sup> Enero 2020, el dato excluye las pymes sin asalariados.

Seguidamente, se obtiene la variación anual de la PTF mediante la diferencia con el año anterior [4.3]:

$$\Delta PTF_{(it)} = PTF_{(it1)} - PTF_{(it0)} \quad [4.3]$$

La tabla 4.1 describe, estadísticamente y de forma agregada, la estimación de la PTF y su variación media anual, así como las variables utilizadas para ello. Como puede apreciarse, la variación de la PTF en este periodo permanece prácticamente inalterable (0,04 %), lo que coincide con la tendencia observada en España durante esta década (Banco de España, 2019). Por su parte, los esfuerzos utilizados en la producción se mantienen de media más elevados en el caso de los activos fijos, seguidos por los materiales empleados y, por último, la participación laboral. En cuanto al número de trabajadores, la media de la muestra se sitúa en 42 empleados, una cantidad más que generosa comparada con la media real, que ronda los 11 trabajadores<sup>67</sup>.

Tabla 4.1. Resumen estadístico de la muestra de 16.856 empresas (2011-2019)

Variable	Observaciones	Media	Desviación	Min	Max
PTF (log)	150.734	1,048	0,352	-0,878	4,710
$\Delta$ PTF (%)	150.358	0,044	8,654	-94,92	194,0
Y - Ingresos (log)	151.860	6,98	0,654	2,261	10,01
K - Activo Fijo (log)	151.860	6,99	0,893	1,060	10,58
M - Coste Materiales (log)	151.860	6,74	0,792	0,631	9,87
L - Coste empleados (log)	151.860	6,17	0,519	2,705	9,21
N - Número de empleados	151.860	42	514	4	59.279

Elaboración propia con datos de Orbis.

Para comprobar las diferencias que hay detrás de estos datos, la tabla 4.2 describe la PTF y su variación media anual en función del tamaño empresarial y del sector. El sector con mayor PTF es el de suministro eléctrico (D), con crecimientos anuales superiores al 20 %. A cierta distancia de este sector, le siguen las actividades inmobiliarias (L), con una PTF que duplica la media y un crecimiento anual cercano al doble dígito. Destacan también los sectores de transporte y almacenamiento (H) y de suministros y gestión de residuos (E), con niveles y crecimientos anuales superiores a la media. Las actividades sanitarias (Q) y profesionales, científicas y técnicas (M) también se sitúan por encima de la media, con crecimientos anuales significativos. Por el contrario, las manufacturas (C) reportan crecimientos negativos y una PTF por debajo de la media, situándose por detrás de sectores como la agricultura (A), la industria extractiva (B) y el comercio mayorista y minorista (I). Finalmente, en último lugar se encuentra el sector de la construcción (F), con una reducción de la PTF cercana al 6 % de media.

<sup>67</sup> Fuente: Informe Cifras PyME del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. El dato excluye las pyme sin asalariados; <http://www.ipyme.org/Publicaciones/CifrasPYME-enero2020.pdf>

Tabla 4.2. Nivel medio de PTF y variación media anual (%), por tamaños y sectores (2011-2019)

Tamaño	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
4-9	1,05 0,99%	0,91 0,94%	0,86 -1,15%	2,79 27,95%	1,55 7,14%	0,62 -4,06%
10-49	1,05 -0,25%	0,94 -0,33%	0,92 -1,60%	3,11 21,46%	1,61 5,45%	0,66 -4,25%
50-249	1,07 -1,20%	1,21 -1,92%	1,04 -2,66%	3,82 21,31%	1,71 3,69%	0,74 -2,85%
+250	1,15 0,24%	1,13 -10,97%	1,14 -4,05%	4,29 29,57%	1,79 4,11%	0,77 -12,28%
<b>Total</b>	1,08 -0,06%	1,05 -3,07%	0,99 -2,37%	3,50 25,07%	1,67 5,10%	0,70 -5,86%
<b>Empresas</b>	628	52	3.111	41	137	2.186
Tamaño	(G)	(H)	(I)	(J)	(K)	(L)
4-9	0,95 -0,75%	1,79 10,86%	0,92 -0,27%	1,02 0,45%	0,99 0,20%	1,7 9,18%
10-49	1 -1,13%	1,85 7,11%	0,98 -0,37%	1,1 0,50%	1,03 -1,04%	1,92 7,21%
50-249	1,11 -2,48%	2,08 6,53%	1,11 -0,37%	1,15 -0,16%	1,23 -0,27%	2,33 9,15%
+250	1,2 -3,94%	2,22 2,51%	1,22 -1,51%	1,32 0,08%	1,2 -3,32%	2,4 13,95%
<b>Total</b>	1,07 -2,08%	1,99 6,75%	1,06 -0,63%	1,15 0,22%	1,11 -1,11%	2,09 9,87%
<b>Empresas</b>	4.429	790	1.641	523	97	90
Tamaño	(M)	(N)	(P)	(Q)	(R)	(S)
4-9	1,35 5,21%	1,27 4,35%	1,21 3,39%	1,4 5,01%	1,04 1,97%	0,91 -0,17%
10-49	1,4 3,04%	1,32 3,12%	1,27 2,37%	1,38 3,73%	1,08 -0,12%	0,97 -0,43%
50-249	1,57 2,23%	1,39 3,30%	1,38 1,71%	1,46 3,58%	1,09 -0,42%	1,07 0,30%
+250	1,74 2,70%	1,6 2,73%	1,44 3,41%	1,6 3,96%	1,74 2,93%	- -
<b>Total</b>	1,52 3,30%	1,40 3,38%	1,33 2,72%	1,46 4,07%	1,24 1,09%	0,98 -0,10%
<b>Empresas</b>	917	754	330	686	200	244
	Tamaño	Total				
	4-9	0,98	0,22%			
	10-49	1,07	-0,07%			
	50-249	1,23	-0,14%			
	+250	1,40	-0,84%			
	<b>Total</b>	1,04	0,04%			
	<b>Empresas</b>	16.856				

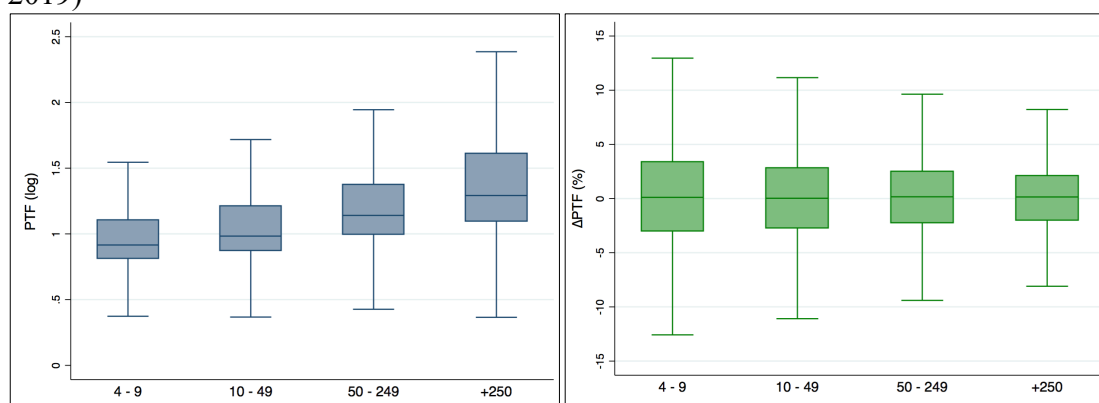
Fuente: Elaboración propia.

### 4.3.3. Tendencia convergente de la PTF

La tabla 4.2 muestra una asociación positiva entre el nivel de la PTF y la dimensión de la empresa en la mayoría de los sectores. En promedio, las empresas de mayor tamaño son hasta un 42 % más productivas que las microempresas. En la figura 4.3, se observa como esta relación también se evidencia en la distribución de los datos de la PTF, con medianas y rangos de dispersión más amplios a medida que aumenta el tamaño empresarial. No obstante, a diferencia del nivel alcanzado, se puede apreciar que el crecimiento anual promedio aumenta a medida que disminuye el tamaño de la empresa, lo que puede reflejar una cierta convergencia entre los diferentes tamaños empresariales. La variación anual

representada en la figura 4.3 confirma visualmente cómo las cajas se comprimen a medida que aumenta el tamaño empresarial, lo que se traduce en una reducción del crecimiento promedio y una menor dispersión cuando aumenta el número de trabajadores. Además, se pueden apreciar distribuciones completamente simétricas en las cuatro dimensiones, con medianas cercanas a cero en todas ellas.

Figura 4.3. Distribución y dispersión de la PTF promedio y su variación anual (2011-2019)

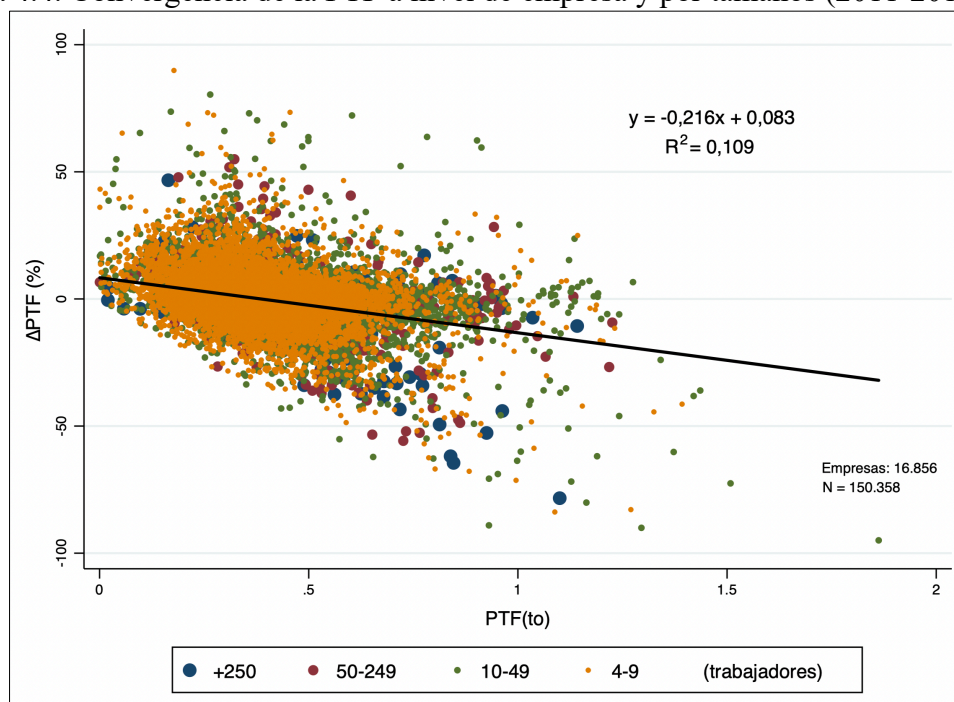


Fuente: Elaboración propia.

Para verificar la posible convergencia entre los tamaños empresariales, se realiza una regresión beta convergencia del panel con fines aclaratorios. En la figura 4.4, se compara la variación media anual de la PTF ( $\Delta PTF$ ) con su nivel inicial anual ( $PTF_{t_0}$ ) en los diferentes tamaños empresariales. De este modo, se observa una relación lineal inversa que indica que cuanto menor es el nivel inicial de la PTF de una empresa, mayor es su crecimiento promedio en todas las dimensiones. Esta relación queda representada gráficamente por la línea negra de regresión, con un cierto grado de ajuste en el agregado de los cuatro tamaños de empresa.

En este punto nos enfrentamos a un hecho singular. Como se mencionó en el repaso de la literatura, la gran atomización del tejido empresarial español parece lastrar el nivel de productividad total de las empresas en comparación con los países más productivos, que tienen una mayor concentración empresarial, y por tanto mayor porcentaje de empresas grandes. Pero ante los signos de convergencia detectados, tanto en las propias dimensiones empresariales como entre las empresas de diferentes tamaños e incluso sectores, surge la pregunta de por qué las empresas más pequeñas, que crecen a tasas superiores, no aumentan de tamaño en número de trabajadores ¿Qué circunstancias impiden que las empresas españolas de menor tamaño materialicen los incrementos de productividad observados en un mayor número de trabajadores? Para tratar de responder a estas cuestiones, la investigación se centra en modelizar la tendencia que determina la PTF en los diferentes tamaños empresariales, con el fin de analizar sus diferencias.

Figura 4.4. Convergencia de la PTF a nivel de empresa y por tamaños (2011-2019)



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.4. Modelo

Con el objetivo de explorar la tendencia que desarrolla el avance de la PTF, se propone un modelo de convergencia que incorpora la variable del nivel inicial de la PTF y su valor cuadrático como parte explicativa de su variación (Bahar, 2018). De este modo, se plantea la ecuación [4.4], que permite comprobar la posible relación no lineal del proceso de convergencia en los diferentes tamaños empresariales.

$$\Delta PTF_{(it)} = \beta_0 + \beta_1 PTF_{(it_0)} + \beta_2 PTF_{(it_0)}^2 + u_{(it_0)} + \mathcal{E}_{(it_0)} \quad [4.4]$$

Donde  $[\Delta PTF]$  es la variación anual de la PTF de la empresa  $[i]$  en el periodo de  $[t_0]$  a  $[t_1]$ .  $[PTF]$  es el nivel de la PTF en el inicio del periodo  $[t_0]$  de la misma empresa  $[i]$ , mientras que  $[PTF^2]$  es el cuadrado de este nivel. Seguidamente,  $[u]$  es el efecto individual no observado y  $[\mathcal{E}]$  el error de cada empresa en el periodo.

Para el análisis de regresión, al disponer de un panel de datos, se utiliza el estimador de efectos fijos (FEM, por sus siglas en inglés). La elección de esta técnica se basa en la prueba de Hausman, que rechaza la hipótesis de no correlación entre los efectos individuales y las variables independientes. Adicionalmente, ante la posible heterocedasticidad del panel, se corrigen los errores estándar (opción *robust*) con el fin de evitar sesgos e ineficiencias en los coeficientes estimados.

## 4.4. Resultados

### 4.4.1. Convergencia no lineal de la PTF

Los resultados presentados en la tabla 4.3 muestran que el proceso de convergencia de la PTF sigue una senda no lineal con un alto grado de significatividad estadística. En la muestra total, el coeficiente del nivel inicial de la PTF es negativo, lo que indica un rápido crecimiento de la PTF en niveles de partida bajos. Sin embargo, el coeficiente cuadrático estimado es positivo, lo que implica que la velocidad de crecimiento de la PTF disminuye en niveles de inicio intermedios antes de aumentar de nuevo en niveles superiores. No obstante, esta relación no se extiende a todos los tamaños empresariales. Por un lado, las microempresas y las empresas pequeñas muestran una relación en forma de “U”, con un coeficiente más acentuado en el caso de las microempresas (una curvatura más pronunciada). Por otro lado, las empresas medianas y grandes presentan una convergencia lineal, con coeficientes negativos en ambos casos, y la variable cuadrática perdiendo significatividad estadística.

Tabla 4.3. Resultados regresión de convergencia de la variación anual de la PTF

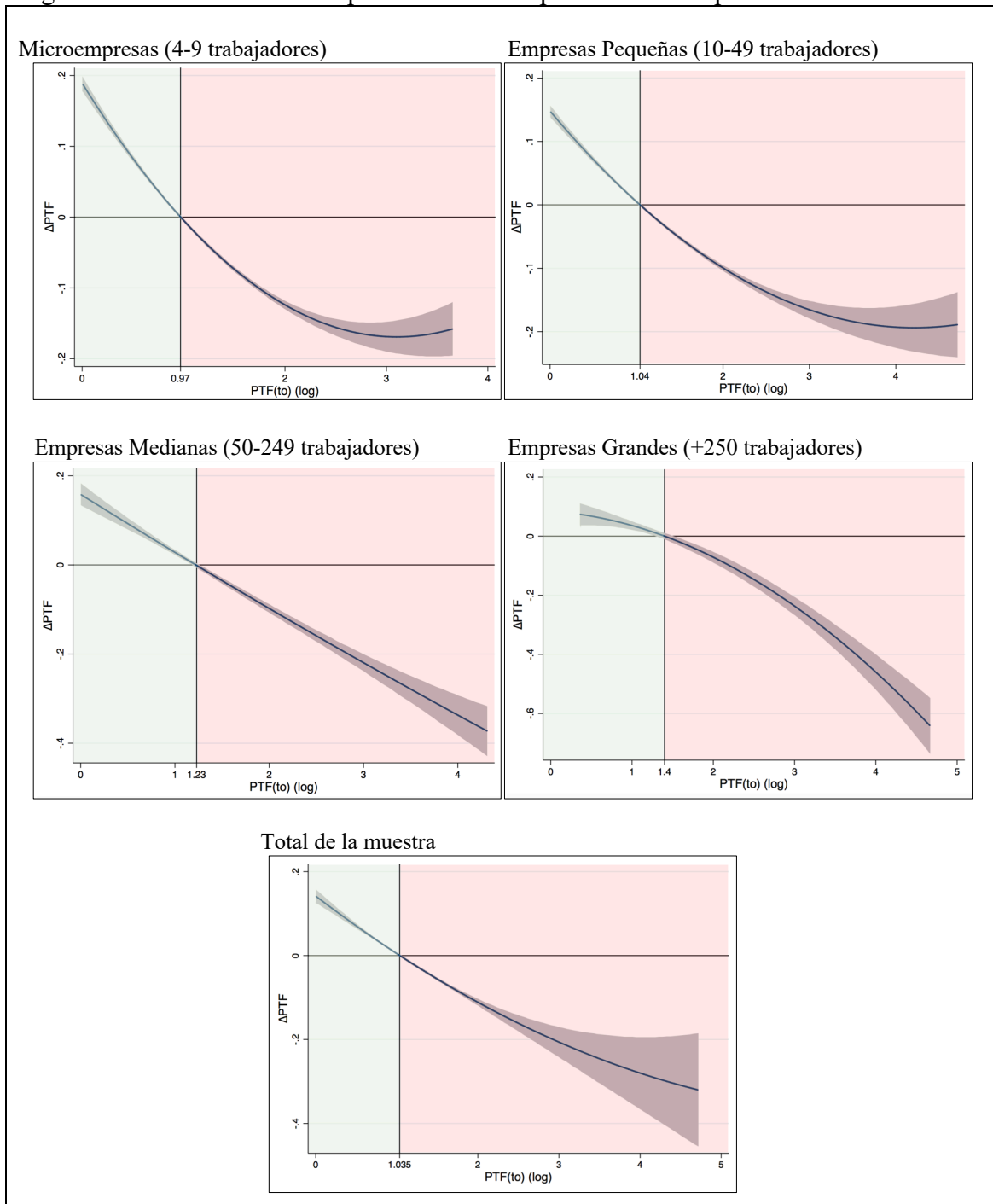
Var. Dep. ( $\Delta$ PTF)	Empresas por tamaño				
	MICRO (4-9)	PEQUEÑA (10-49)	MEDIANA (50-249)	GRANDE (+250)	TOTAL
PTF <sub>(t<sub>0</sub>)</sub>	-0,947 *** (0,016)	-0,828 *** (0,010)	-0,693 *** (0,047)	-0,697 *** (0,069)	-0,616 *** (0,023)
PTF <sub>(t<sub>0</sub>)</sub> <sup>2</sup>	0,059 *** (0,007)	0,041 *** (0,008)	-0,029 * (0,016)	-0,028 (0,019)	0,039 *** (0,010)
Cons.	-2,843 *** (0,348)	-3,626 *** (0,376)	-5,344 *** (0,998)	-2,236 (2,021)	-2,961 *** (0,312)
Dummy	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Empresas	8.369	6.064	1.951	472	16.856
Observaciones	79.398	57.456	10.506	2.998	150.358
R <sup>2</sup> ajustado	0,113	0,085	0,090	0,103	0,097

Nota: Coeficiente con significatividad estadística al [\*10 %]; al [\*5 %]; al [\*\*\*1 %]. Error estándar robusto entre paréntesis y dummy para cada sector. Elaboración propia.

Adicionalmente, las relaciones obtenidas se ilustran gráficamente en la figura 4.5. De este modo, se comprueba de forma visual las diferencias entre los distintos tamaños empresariales. En el caso de las microempresas y empresas pequeñas, la tendencia se muestra similar, con variaciones de la PTF que disminuyen al principio del trazado para aumentar en niveles de inicio superiores. Esto se concreta en una relación curva en forma de “L”, lo que generaría un valle de productividad en niveles de avance intermedios. Por su parte, en el caso de las empresas medianas, se observa una convergencia completamente lineal, donde una PTF inicial superior se asocia con un menor crecimiento promedio. En cuanto a las empresas grandes, la relación lineal de convergencia tiende a

deformarse con una curvatura descendente, lo cual sugiere un mayor descenso de la PTF en niveles de inicio superiores en comparación con las empresas medianas. Asimismo, se observa que el espacio de crecimiento de la PTF (zona verde) es mayor a medida que se aumenta de tamaño empresarial, cuyo límite de crecimiento pasa del 0,97 en las microempresas, al 1,4 en las empresas grandes. Ello demuestra el mayor margen productivo que se adquiere cuanto mayor tamaño empresarial se alcanza.

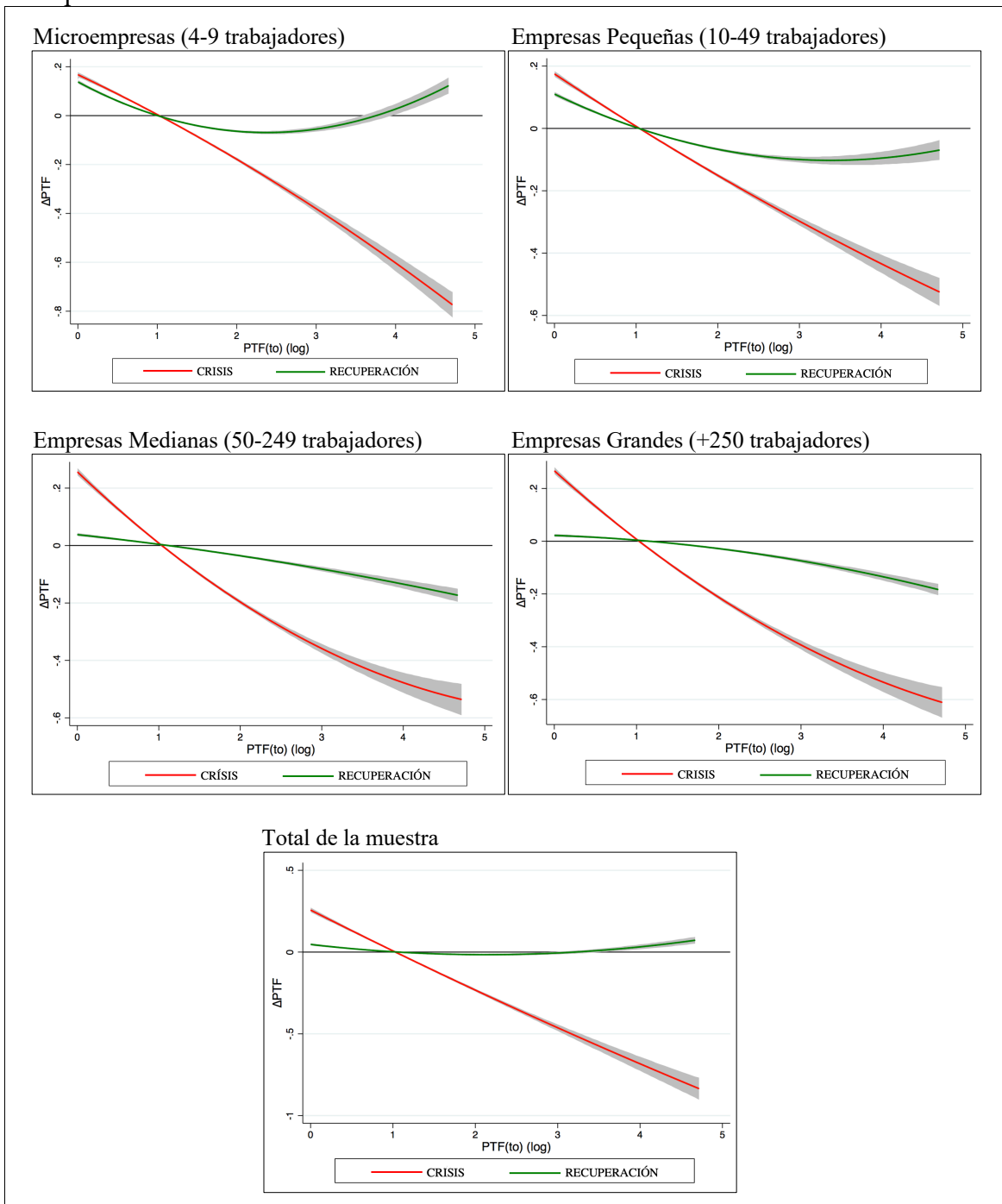
Figura 4.5. Variación anual esperada de la PTF por tamaños empresariales



Nota: En esta figura se visualiza, por tamaños empresariales, el crecimiento anual esperado de la PTF ( $\Delta PTF$ ) en función del nivel inicial de PTF ( $PTF_{t_0}$ ). La zona grisácea que envuelve la relación representa un intervalo estadístico de confianza del 95 %, la zona verde corresponde al umbral en el cual se esperaría un crecimiento de la PTF y la zona roja es donde se esperaría un decrecimiento. Elaboración propia.

#### 4.4.2. Convergencia-divergencia de la PTF en las fases económicas

Figura 4.6. Variación anual esperada de la PTF por tamaños empresariales: crisis y recuperación



Nota: En esta figura se visualiza, por tamaños empresariales, el crecimiento anual esperado de la PTF ( $\Delta PTF$ ) en función del nivel inicial de PTF ( $PTF_{t_0}$ ). La zona grisácea que envuelve la relación representa un intervalo estadístico de confianza del 95 %, la línea roja corresponde al escenario de recesión económica y la línea verde a la fase expansiva del ciclo económico. Elaboración propia.

Con el objetivo de examinar con mayor detalle las relaciones identificadas en las dinámicas de crecimiento de la PTF, especialmente en el caso de las microempresas y empresas pequeñas, el periodo de estudio (2011-2019) se divide en dos partes: la primera

abarca la segunda mitad de la crisis financiera de 2008, desde 2011 a 2014 (CRISIS); y la segunda corresponde a su posterior salida, desde 2015 a 2019 (RECUPERACIÓN). Esto permite establecer dos escenarios diferenciados para evaluar si existen cambios significativos.

En un contexto de crisis, se observa una convergencia prácticamente lineal en la PTF de todos los tamaños empresariales; de modo que las empresas que parten de niveles de PTF inferiores crecerían a ritmos superiores. Este comportamiento se refleja en las líneas rojas de los distintos gráficos de la figura 4.6, y se extiende a la muestra total de empresas.

En cambio, en el escenario de recuperación, el conjunto de las empresas no presenta signos de convergencia. Esto queda ilustrado por la línea horizontal de color verde en la predicción de la muestra total, que describe una ligera curvatura en el medio del trazado. Así, la relación se mantiene plana y en bajos crecimientos, siendo las empresas que parten de productividades más bajas y más altas las que repuntan ligeramente con avances superiores. No obstante, este comportamiento se muestra desigual según el tamaño empresarial. En el caso de las microempresas, la relación toma forma de “U”, lo que generaría una “trampa” para aquellas empresas con niveles intermedios de productividad inicial. Sin embargo, esta curvatura desaparece a medida que aumenta el tamaño empresarial. Este fenómeno resulta interesante, ya que las diferencias en la progresión convergente detectadas en las empresas de menor tamaño, es decir, la “trampa de productividad” en la convergencia de las microempresas y empresas pequeñas, podrían dificultar de algún modo el aumento del tamaño empresarial.

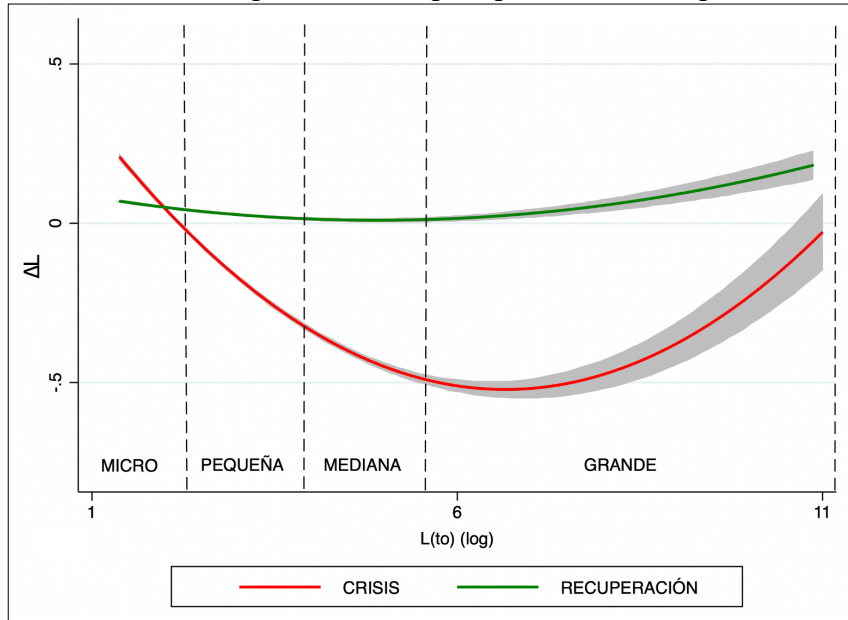
#### 4.4.3. Desarrollo del tamaño empresarial

A raíz de las diferencias detectadas en la progresión de la PTF en los distintos tamaños empresariales y en los dos escenarios, seguidamente se analiza qué comportamiento mantiene el número de trabajadores en las dos situaciones señaladas. El propósito es comprender en mejor medida el desarrollo del tamaño empresarial en España y su relación con la evolución de la PTF. Así pues, se examina la tasa de variación anual de empleados en función del número trabajadores de partida en los dos contextos de análisis, siguiendo el mismo método que hasta ahora.

Según se puede observar en la figura 4.7, la evolución de la variación del empleo difiere significativamente entre las distintas dimensiones empresariales. Durante los periodos de crisis (línea roja), las microempresas son las únicas que lograrían aumentar el número de empleados, mientras que en las demás dimensiones se produciría una destrucción de empleo, siendo más acusado en el caso de las empresas medianas y en gran parte de las empresas grandes. No obstante, al analizar la primera mitad del trazado en forma de “U”, desde las microempresas a las empresas medianas, se puede inferir una convergencia en el tamaño empresarial. Esto se debe a que un tamaño (número de trabajadores) de inicio inferior proporciona un crecimiento promedio superior (o menos destrucción de empleo).

Este proceso estaría en consonancia con la relación de convergencia mencionada anteriormente en la PTF del contexto de recesión. Sin embargo, a partir de las empresas grandes, la relación adopta un perfil divergente. Es decir, las empresas con un mayor número de trabajadores al comienzo del periodo tendrían una tasa de destrucción de empleo menor que aquellas con menos trabajadores en esta dimensión empresarial.

Figura 4.7. Variación anual esperada del empleo por tamaños empresariales



Nota: En esta figura se visualiza, por tamaños empresariales, el crecimiento anual esperado de trabajadores ( $\Delta L$ ) en función del nivel inicial de trabajadores ( $L_{(t_0)}$ ) en términos logarítmicos. La zona grisácea que envuelve la relación representa un intervalo estadístico de confianza del 95 %, la línea roja corresponde al escenario de recesión económica y la línea verde a la fase expansiva del ciclo económico. Elaboración propia.

Con respecto al escenario de recuperación (línea verde), la tasa de empleo aumentaría considerablemente en comparación con la situación de crisis. En este sentido, la curvatura de la relación en forma de “U” se suavizaría, siendo las microempresas y las empresas grandes las que experimentarían mayores tasas de empleo, lo cual coincide con la evolución de la PTF observada anteriormente en esta etapa.

#### 4.5. Análisis de los resultados

En síntesis, la tabla 4.4 muestra las relaciones entre el avance de la PTF y la variación del número de trabajadores en los diferentes tamaños empresariales. En contextos de recesión económica, las empresas españolas mantienen una tendencia convergente de la PTF en todas las dimensiones empresariales. Esta tendencia es previsible y responde a una senda lineal, donde las empresas con niveles iniciales más bajos de PTF tienen un mayor crecimiento promedio, dado el mayor potencial de mejora en su eficiencia productiva.

Esto se traduciría en una mayor tasa de variación en el número de trabajadores (o menor destrucción de empleo) para las dimensiones pymes. En cambio, en el caso de las empresas grandes (concretamente, las muy grandes), no se observa una correlación entre la evolución de la PTF y la variación laboral. En este caso, las empresas más grandes tendrían tasas de empleo más altas (o menor destrucción de empleo) cuanto mayor es su dimensión.

Tabla 4.4. Relaciones de convergencia-divergencia de la PTF y el empleo

		PTF	EMPLEO
<b>CRISIS</b>	MICRO	Convergencia	Convergencia
	PEQUEÑAS	Convergencia	Convergencia
	MEDIANAS	Convergencia	Convergencia
	GRANDES	Convergencia	Divergencia
<b>RECUPERACIÓN</b>	MICRO	"U"	—
	PEQUEÑAS	"U"	Convergencia
	MEDIANAS	Convergencia	—
	GRANDES	Convergencia	Divergencia

Por su parte, durante las fases expansivas de la economía, la situación cambia sustancialmente. El crecimiento esperado de la PTF para el conjunto de las dimensiones empresariales no converge; lo que daría lugar a una relación en forma de “U”. De hecho, las empresas que parten de niveles de PTF más bajos y altos experimentarían un mayor crecimiento promedio, principalmente por el desempeño que presentan las microempresas y las empresas pequeñas. Este patrón se proyecta a la variación del número de trabajadores de forma similar, con un aumento en las dimensiones más pequeñas y grandes. Sin embargo, este comportamiento no se produce en todos los tamaños empresariales. Por un lado, las empresas medianas y grandes seguirían desarrollando una tendencia convergente en su PTF y conseguirían mayores tasas de empleo que en las etapas de crisis. Por otro lado, las microempresas y las empresas pequeñas experimentarían una “trampa de productividad” en su senda de convergencia. Esto se traduce en un mayor crecimiento de la PTF en ambos extremos de la distribución, es decir, en niveles iniciales más bajos y altos. Ello implicaría que las microempresas con un nivel inicial de PTF más bajo experimentarían un mayor crecimiento debido a su mayor potencial de avance, pero, al llegar a un umbral intermedio, su progreso se frena sin lograr un proceso de convergencia.

Por tanto, según las relaciones obtenidas y bajo el supuesto de que la productividad determina el tamaño empresarial, se puede apuntar que, durante las etapas recesivas de la

economía, las empresas españolas mantienen una correlación entre el avance de la PTF y el aumento de su tamaño empresarial, salvo en el caso de las empresas muy grandes. En cambio, en las fases expansivas, esta relación se ve limitada, principalmente debido al comportamiento de las microempresas y empresas pequeñas, las cuales se enfrentan a una “trampa de productividad” que dificultaría la convergencia de la PTF para el conjunto de la economía española. Además, la variación laboral de estas empresas no se correlaciona con la evolución de la PTF en este escenario (tabla 4.4).

La situación descrita podría ser interpretada de diferentes formas. Los estudios indican que las empresas acceden al mercado con un tamaño pequeño y baja productividad. Aquellas que sobreviven (como es el caso de este estudio, donde todas las empresas permanecen activas durante el periodo analizado) tienden a crecer más rápidamente, convergiendo al promedio de su dimensión. En otras palabras, las empresas nacen de una idea emprendedora que las permite competir en el mercado, para posteriormente aprender, mejorar y alcanzar economías de escala, lo que conlleva un aumento de la PTF. Esta evolución empresarial se refleja en los resultados obtenidos en todas las dimensiones durante las fases recesivas de la economía, así como en las empresas medianas y grandes durante las etapas expansivas del ciclo. En cambio, el problema detectado radica en las dimensiones más pequeñas, en las microempresas y empresas pequeñas, cuyo avance productivo en las fases de recuperación económica sigue una trayectoria no lineal que no parece favorecer la creación de empleo ni el aumento de tamaño.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Young-Jin, Wonkyu y Jin Woong (2013) para las industrias coreanas. En este estudio, se observa el efecto de transmisión de la PTF entre las empresas grandes y medianas, pero no entre empresas grandes y pequeñas. Los autores señalan que es más probable que las empresas grandes se beneficien de más derrames tecnológicos que las pymes. Estos hallazgos llevan a los autores a inferir un comportamiento asimétrico en las externalidades que se generan entre las distintas dimensiones empresariales.

Una explicación probable para este hecho es que, al principio, las empresas que parten de productividades más bajas pueden adoptar tecnologías y prácticas eficientes estandarizadas que son fáciles de conseguir. Esta accesible absorción tecnológica les permite avanzar rápidamente, pero una vez que alcanzan un umbral de desarrollo intermedio, cada vez resulta más complicado innovar debido a las limitaciones que tienen las empresas pequeñas (financiación, gestores cualificados, mano de obra especializada, entre otras). Este problema se acentuaría en los sectores intensivos en conocimiento, ya que, como apuntan Comin y Mestieri (2013), la difusión tecnológica dentro de los países se ha desacelerado. Un fenómeno que también se confirma en las propias industrias (Bahar, 2018), y que en España se manifestaría en las dimensiones empresariales más pequeñas, concretamente durante las fases expansivas de la economía.

Otra de las posibles razones de este estancamiento en las microempresas y empresas pequeñas podría residir en la falta de incentivos para cambiar de tamaño empresarial

debido a la complejidad burocrática y legislativa que ello conlleva (Maldonado y Benito, 2020). Además, es importante mencionar que las empresas de menor tamaño en España presentan una alta temporalidad y estacionalidad en su fuerza laboral. Las empresas grandes tienden a atraer al capital humano de las empresas más pequeñas, contratando a los mejores empleados y directivos. Este fenómeno también podría contribuir al problema, ya que, según Hospido y Moreno (2015), existe una contrastada correlación negativa entre la proporción de trabajadores temporales y la PTF. A su vez, dado que esta problemática aflora en las fases expansivas del ciclo económico, hay que apuntar que España mantiene una política presupuestaria contracíclica (Aghion, Hémous y Kharroubi, 2014), aumentando el déficit presupuestario durante las recesiones económicas y reduciéndolo en los periodos de expansión. Por lo tanto, la reducción del impulso crediticio en los periodos de auge puede limitar la liquidez de las dimensiones más pequeñas, dificultando tanto la contratación como la retención de los trabajadores más cualificados.

#### **4.6. Conclusiones**

La estructura empresarial en España, intensamente concentrada en pymes, condiciona la eficiencia productiva y el avance tecnológico de la economía del país. Esta situación se refleja en la PTF, que ha mostrado escasos avances durante más de dos décadas. La evidencia sugiere que, entre otros aspectos, las probabilidades de lograr una mayor productividad se incrementan con el tamaño de las empresas. Sin embargo, el debate recae sobre si el tamaño empresarial determina la productividad o, por el contrario, es el aumento de la productividad lo que genera un mayor tamaño. Esto resulta un cuestión clave para comprender la composición empresarial de la economía española.

En este capítulo se ha analizado el avance de la PTF en los distintos tamaños empresariales a través de relaciones no lineales de convergencia. El objetivo es examinar las diferencias existentes al respecto, así como evaluar qué papel desempeña la evolución de la PTF en el tamaño empresarial. Para ello, se ha utilizado un panel de datos con 16.856 empresas de cuatro dimensiones empresariales (microempresa, pequeña, mediana y grande) en el periodo de 2011-2019. Con este panel, se ha modelizado la tendencia convergente que presenta la PTF y se han establecido dos escenarios de análisis (crisis y recuperación).

El estudio proporciona dos hallazgos principales. En primer lugar, se aporta evidencia de que la PTF converge en todos los tamaños empresariales durante las etapas de recesión económica (crisis). Como resultado de esta evolución también se observa una convergencia en la fuerza laboral, puesto que, salvo en el caso de las empresas extremadamente grandes, una PTF inicial más baja proporciona un mayor crecimiento relativo de la productividad y del empleo.

En segundo lugar, durante las fases expansivas de la economía (recuperación), las empresas medianas y grandes seguirían manteniendo una evolución de convergencia en la PTF, aunque en menor intensidad. Sin embargo, a diferencia del escenario anterior, este comportamiento ya no se correlaciona con la variación del empleo. Además, en esta fase del ciclo económico, las microempresas y las empresas pequeñas experimentarían una “trampa de productividad” que las alejaría de la senda de convergencia. De hecho, debido al mayor peso relativo de estas dimensiones, este patrón se extendería al conjunto de la economía y se reflejaría de manera similar en la evolución del empleo. Por lo tanto, esta casuística sugiere que, durante las fases de expansión económica, las microempresas y las empresas pequeñas encuentran un obstáculo en el avance de su PTF, lo cual implica una limitación en su crecimiento. Con los resultados cosechados, se puede inferir que la relación entre el avance de la PTF de las empresas y el crecimiento del tamaño empresarial se encuentra estrechamente interconectada, pero su correlación no resiste a la evidencia en todos los escenarios.

Ante las conclusiones expuestas, las políticas económicas para reducir la fragmentación del tejido empresarial español deberían centrarse en las microempresas y empresas pequeñas. De modo que se debería facilitar la absorción de tecnología e incentivar la contratación de trabajadores en estas dimensiones, especialmente en las fases de recuperación de la economía. Las posibles acciones a considerar incluyen: acercar el capital humano cualificado, programas de financiación a la innovación, incentivar el aumento de tamaño, favorecer la contratación pública e incluso promover la fusión entre estas empresas.

Por último, es importante destacar que este estudio solo proporciona evidencias sobre algunas posibles causas que conducen a un tejido empresarial excesivamente atomizado. Sin embargo, la cuestión es mucho más compleja. Debido a que el alcance ofrecido se limita a empresas de más de tres trabajadores y con actividad prolongada, la problemática comentada posiblemente se vea intensificada en las microempresas más pequeñas y discontinuas en su actividad, que suponen más del 80 % de la estructura empresarial total de España. Ello implica un gran espacio de investigación al respecto.

---

## **CAPÍTULO 5**

### Conclusiones, limitaciones y futuras investigaciones

---

## 5.1. Conclusiones

El sistema capitalista, impulsado principalmente por Estados Unidos, ha hecho de la acumulación de capital la principal vía de progreso económico para los países. De hecho, sobre ella se asienta la acelerada convergencia de las grandes economías de la OCDE en la segunda mitad del siglo XX. A medida que los países aumentaban su stock de capital físico, la PTF se iba acercando a los niveles de la frontera tecnológica representada por Estados Unidos. Desde 1955 hasta la actualidad, esta evolución se ha desarrollado en tres periodos distintos: convergencia a la frontera, consolidación en la frontera y distanciamiento de la frontera. En este sentido, España es un ejemplo particularmente ilustrativo de este proceso. Como se pudo comprobar en el primer capítulo, gracias al rápido incremento de capital fijo, España logró situarse en la frontera tecnológica, y permanecer en ella durante un largo periodo de tiempo, con una relativa escasa inversión en I+D. Sin embargo, en un momento dado, esta senda de avance dejó de ser efectiva. La sobreacumulación comparativa de capital fijo en la última etapa mencionada redujo los retornos del capital productivo, alejando a España y al conjunto de los países de la frontera tecnológica.

Esto sugiere que el capital físico ha sido un elemento clave tanto en la industrialización de las economías como en la reasignación de recursos a los sectores más productivos, así como en la imitación. Sin embargo, en lo que respecta al cambio tecnológico, el capital físico tiene sus limitaciones y para seguir progresando es necesaria la innovación. Por tanto, el primer objetivo de esta tesis doctoral fue demostrar el agotamiento productivo que supone la acumulación incesante de capital fijo en la estrategia tecnológica de los países.

Los resultados obtenidos en el primer capítulo revelaron que el aumento del stock de capital fijo por unidad de trabajo se vuelve marginalmente decreciente con la distancia a la frontera tecnológica. De modo que, a medida que los países se acercan al nivel de la PTF estadounidense, la dotación de capital físico por trabajador cada vez resulta menos efectiva en la estrategia tecnológica. En primera instancia, esto se pudo comprobar con la convergencia limitada de la PTF en las grandes economías desarrolladas, y cómo a medida que el capital por trabajador se equiparaba a la frontera tecnológica, la productividad del capital fijo se reducía. Posteriormente, con los análisis de regresión efectuados, se pudo confirmar empíricamente que estos países aprovecharon el impulso que ofrecía el capital fijo cuando partían de un stock relativamente bajo (1955-1975). Sin embargo, en la siguiente etapa (1976-2000), este empuje se estabilizó, y su efecto terminó por desvanecerse sin llegar a completar en conjunto una convergencia total. Una dinámica acumulativa que continuó, y que finalmente terminó por alejar a estos países de la frontera tecnológica en años posteriores (2001-2019).

Si consideramos que el fácil acceso al capital físico lo convierte en una de las principales fuentes de imitación para los países, el desempeño experimentado por las grandes economías avanzadas ha permitido evidenciar el desgaste de la estrategia imitadora a

largo plazo. A través de las estimaciones realizadas, se ha identificado un umbral máximo de capital por trabajador, en torno a los 150.000 dólares, más allá del cual el rendimiento tecnológico comenzaría a descender. Una cifra que cuantificaría el límite de la eficacia imitadora y proporcionaría información estratégica para optimizar el avance tecnológico de los países. Asimismo, este fenómeno también nos lleva a inferir que el retraso económico relativo de los países permite un gran avance en términos de eficiencia, dado que la PTF recoge gran parte de este desempeño. Pero una vez alcanzado un nivel de eficiencia equiparable, las diferencias reales en el esfuerzo tecnológico se vuelven determinantes; la frontera tecnológica se aleja nuevamente de los países que no innovan o no innovan lo suficiente. En otras palabras, el capital fijo permite ponerse al día en términos de eficiencia, pero no en innovación.

Por tanto, en el corto plazo, la acumulación de capital fijo desde niveles relativamente bajos supone un gran impulso para la PTF de los países. Una estrategia que aún estaría vigente para muchos países cuyo nivel de capital fijo por unidad de trabajo se sitúa por debajo del umbral detectado. Sin embargo, este impulso de convergencia no es ilimitado y, a largo plazo, la frontera tecnológica se aleja de los países que no innovan. De ahí que, en última instancia, esto actúe como una fuerza de divergencia. Este argumento coincide con gran parte de la literatura al respecto. Por ejemplo, Maudos, Pastor y Serrano (2000) destacan el poder de convergencia que conlleva la mejora de eficiencia reflejada en la PTF de los países, pero también señalan que sus implicaciones tecnológicas no persisten a largo plazo. Howitt y Mayer (2005) advierten sobre la erosión que experimenta la capacidad de absorción tecnológica ante el continuo avance a través de la imitación. A este mismo respecto, el modelo de Acemoglu, Aghion y Zilibotti (2006) ilustra gráficamente las limitaciones que tiene la insistencia por avanzar tecnológicamente a través de la imitación, y cómo los países pueden incurrir así en trampas de imitación, o incluso encallar en la denominada trampa de los ingresos medios. Por tanto, los resultados obtenidos aportan un umbral de capital por trabajador que maximizaría el impulso que ofrece la imitación, y delimitaría cuando es necesario abandonar esta senda de avance en favor de la innovación. Una línea estratégica que definiría, en términos generales, qué países están en condiciones de imitar y cuáles deberían innovar.

De algún modo, las grandes economías desarrolladas ya aprovecharon la ventana de oportunidad que ofrecía la acumulación de capital y las ventajas de la imitación. En el desarrollo tecnológico de los países, estos no pasan de una estrategia imitadora a un innovadora de manera repentina, sino de forma gradual, combinando la imitación de tecnologías ajenas y la innovación propia. Según la teoría, a medida que los países se acercan a la frontera, el potencial imitador disminuye, ya que hay menos tecnologías que imitar, y la innovación propia debe ser más relevante (Weil, 2006). En otras palabras, la innovación debería relegar progresivamente a la imitación. Así es que, en este proceso, la atención de la investigación recayó sobre los factores que determinan la actividad innovadora de los países. Se identificaron tres ejes principales en la configuración de las estrategias tecnológicas basadas en la innovación, y que la literatura relaciona con el crecimiento de la PTF: el potencial imitador, la inversión en I+D y el capital humano.

Por lo general, la literatura especializada refleja que una mayor brecha tecnológica, una mayor inversión en I+D y un mejor capital humano ofrece un mayor progreso técnico a los países. De hecho, en la mayoría de los casos esto se manifiesta empíricamente en la PTF. Sin embargo, una vez agotada la mayor parte del impulso que ofrece la imitación, en el tránsito desde una estrategia imitadora a una innovadora, pudiera parecer que simplemente bastaría con invertir grandes cantidades en I+D y formar trabajadores altamente cualificados para garantizar un progreso técnico en la frontera tecnológica. Pero esto no parece resultar tan sencillo. Por ejemplo, entre otros inconvenientes, un gran aumento repentino de la inversión en I+D reduciría las partidas presupuestarias en otras áreas importantes, mientras que un excesivo número de trabajadores altamente especializados podría despoblar actividades esenciales.

Por tanto, estas cautelas nos conducen a considerar que el proceso de transición estratégica debe ser gradual y continuo; y que los países deben ir ajustando sus factores estratégicos en función de su nivel de desarrollo. De tal modo que estos factores deben tener unos umbrales que maximicen su rendimiento conforme al grado tecnológico del país. Y este ha sido el siguiente objetivo fijado para la investigación: examinar la relación no lineal entre estos factores (brecha tecnológica, I+D y capital humano) y el avance tecnológico de los distintos países, con el fin de identificar los posibles puntos de inflexión en sus rendimientos.

Los resultados conseguidos en el segundo capítulo evidencian empíricamente relaciones no lineales en distintos casos. Por parte de la distancia a la frontera tecnológica, entendida como el potencial imitador de tecnologías disponibles, la relación obtenida describe un patrón en forma de “U”, donde existen diferentes niveles de aprovechamiento de la imitación en función del grado de desarrollo tecnológico alcanzado por los países. En el caso de los países de ingreso alto, el margen imitador se ve limitado al 90 % de desarrollo respecto a la frontera tecnológica. Es decir, a una distancia de diez puntos porcentuales respecto a la PTF de Estados Unidos, la imitación dejaría de tener un impacto positivo y los países ricos perderían la ventaja del seguidor. En los países emergentes, cuyas economías se encuentran en niveles de ingreso medio-alto, este límite se reduciría al 58 %. Por tanto, en términos generales, si tomamos como referencia al conjunto total de los países, podemos concluir que cuando se alcanza el 64 % de desarrollo (a una distancia del 36 % de Estados Unidos), los países dejarían de rentabilizar tecnológicamente la imitación.

Estos márgenes nos llevan a inferir que a medida que los países se desarrollan y acumulan más capacidades tecnológicas son capaces de imitar un mayor número de tecnologías punteras cercanas a la frontera, pero no de llegar a la frontera por este único medio. Resulta lógico establecer un límite en cuanto a la imitación de tecnologías no disponibles en el mercado o incluso protegidas a su acceso. Los países menos desarrollados, aunque tienen una mayor facilidad para avanzar al encontrarse más lejos de la frontera, poseen un potencial imitador más limitado debido a sus menores recursos y capacidades tecnológicas, lo que no les permite absorber la tecnología de la frontera, incluso a pesar

de estar disponible en el mercado. Estos países son capaces de avanzar rápidamente imitando tecnologías muy productivas y fácilmente accesibles, así como de elevar su grado de eficiencia. Sin embargo, su margen imitador es comparativamente más restrictivo, y su avance máximo por este medio más reducido. Por tanto, podemos entender que el factor estratégico basado en la imitación permite un alto crecimiento cuanto mayor sea la brecha tecnológica, pero este retraso relativo presenta un menor potencial de avance.

Este argumento, además de encajar con el balance realizado en el primer capítulo, refuerza los estudios empíricos de convergencia económica. Los países de ingreso bajo avanzan más rápido al utilizar la imitación como el principal motor de su estrategia tecnológica. De hecho, esto les permite acercarse rápidamente a distancias intermedias respecto a la frontera tecnológica. Sin embargo, a medida que avanzan, necesitan recursos cada vez más sofisticados para seguir absorbiendo tecnología puntera y, si no los consiguen, la convergencia se detiene. Por su parte, los países más ricos, como los de ingreso alto, pueden explotar en mayor medida su potencial imitador, y absorber tecnologías más cercanas a la frontera gracias a sus mayores capacidades tecnológicas.

Los recursos y medios tecnológicos se generan principalmente a partir de la inversión en I+D. Esta dotación supone otro de los ejes estratégicos para el progreso técnico de los países. Al respecto, el análisis efectuado mostró que la inversión en I+D tiene un efecto decreciente en la progresión de la PTF. Según los resultados obtenidos para el conjunto total de los países, cuando la inversión en I+D supera el 1,62 % del PIB, la PTF comienza a frenarse. En el caso de los países de ingreso alto, esta cifra aumentaría al 2,58 %, mientras que en las economías de ingreso medio-bajo se reduciría al 0,54 %. En resumen, los resultados obtenidos destacan la existencia de distintos márgenes óptimos de inversión en I+D en función del nivel de ingresos de cada país. Por lo tanto, aquellos países que aún se encuentran explotando sus mecanismos de eficiencia en la estrategia imitadora y tienen un menor conocimiento tecnológico relativo no aprovecharían eficientemente una inversión excesiva en I+D, al resultar una sobreinversión subóptima.

Este escenario concuerda con el estudio que realizan Kumbhakar *et al.* (2012), en el cual se evidencia la distinta efectividad que tiene la inversión en I+D en los diferentes sectores económicos. Sus resultados sugieren que la inversión en I+D tiene un impacto más positivo en los sectores de mayor grado tecnológico. Es más, si se atiende a las actividades de baja tecnología, la inversión en bienes de equipo parece suponer una mejor opción que la I+D. Este hecho, como se ha podido ver, podemos extrapolarlo a los países; cuanto mayor es el nivel de ingresos, la inversión en I+D es más aprovechable y, por tanto, más determinante.

Este requerimiento de mayor inversión tecnológica cuanto mayor desarrollo tiene un país, no representa una gran novedad (Bravo y García, 2011; Luintel *et al.*, 2014). A modo de analogía, podríamos decir que, si el avance tecnológico es un motor del crecimiento económico, parece lógico pensar que cuanto más grande sea el motor, más combustible

se requiere. Sin embargo, identificando cuál es la inversión que maximizaría el avance tecnológico según el nivel de ingresos de los países, sí que proporcionamos niveles concretos con los que contrastar de manera objetiva y ponderada el margen de mejora que tienen los países en su esfuerzo tecnológico. Además de así poder ajustar y optimizar los recursos destinados a la innovación. El estudio de Coccia (2017) sitúa la inversión óptima en I+D en el 2,5 % del PIB para los países de la OCDE. Una cifra muy cercana a la que estimamos que maximizaría la PTF de los países de renta alta. Esto tiene implicaciones políticas concretas, ya que, por ejemplo, un país como España, cuya senda de eficiencia productiva e imitadora parece agotada, se situaría muy lejos de esta inversión. De hecho, en 2019, la inversión en I+D de España fue del 1,25 % del PIB, lo que ni siquiera alcanzaría la cifra que se predice para el conjunto total de los países en el 1,62 %, y que supone menos de la mitad de lo que su nivel de ingresos conllevaría (2,58 %).

Por su parte, para el caso del capital humano, medido por los años de estudios reglados, las relaciones obtenidas varían en función de la muestra de países. Para la estimación del conjunto total de ellos, los resultados muestran una relación en forma de “U” entre los años de estudio medio y el avance tecnológico; de tal modo que sería necesario una formación mínima de 6 años para comenzar a estimular la PTF. Esta cifra aumentaría hasta los 11 años para los países de renta alta. Sin embargo, para los países de ingreso medio-alto, la relación se torna al revés, en forma de “U” invertida, y son los 9 años de estudio medio el nivel de formación que maximizaría el progreso técnico de estos países. A grandes rasgos, estos resultados nos vuelven a situar en distintos márgenes donde el capital humano es más determinante en función del grado de desarrollo de los países. No obstante, el 49 % de los países del mundo no alcanzan ni los 9 años de formación media; por lo que, de forma generalizada, existe un gran margen de mejora en materia educativa en cualquiera de los casos.

Para el avance tecnológico, el capital humano supone un elemento transversal tanto para la imitación de tecnología como para la innovación. No obstante, la conclusión que podemos extraer de los resultados obtenidos es que los países de renta media-alta, y que están en una senda de progreso basada principalmente en la imitación, no requieren de un capital humano excesivamente cualificado en esta etapa de su desarrollo tecnológico. De hecho, en promedio, una excesiva formación reglada de sus trabajadores no es completamente aprovechable dadas sus limitaciones tecnológicas. Es decir, los medios de los que disponen no permiten al personal muy cualificado desarrollar actividades de alto grado tecnológico. Por poner un ejemplo, no sirve de mucho tener equipos de científicos altamente cualificados si no se dispone de laboratorios equipados para experimentar.

En cambio, los países de renta alta sí requieren imprescindiblemente de trabajadores con alto nivel de cualificación. Los resultados sugieren que se deben superar los 11 años de estudio medio para poder progresar tecnológicamente por esta vía. Es decir, traspasado un cierto nivel de desarrollo, a medida que los países se aproximan a la frontera tecnológica, un mayor nivel educativo ofrece más posibilidades de aumentar la PTF. Si

tomamos el nivel de Estados Unidos como referencia de la frontera tecnológica y uno de los países con mayor formación reglada promedio (más de 13 años), este nivel a superar representaría el 83 %. A partir de este nivel, los países de ingreso alto tendrían incrementos en la PTF por este medio. Por ejemplo, en 2019, España disponía de un capital humano promedio que solo representaba el 74 % de la frontera tecnológica (9,8 años de estudio), lo que significa que está lejos de poder estimular el progreso técnico a través de esta vía.

Las relaciones obtenidas muestran el papel determinante del capital humano a medida que los países avanzan y se acercan a la frontera tecnológica. Así, y de acuerdo con el modelo teórico planteado por Vandebussche *et al.* (2006), observamos que la formación reglada es especialmente importante para la actividad innovadora de los países de renta alta y cercanos a la frontera tecnológica. Esto también ha sido demostrado en investigaciones previas como la de Aghion *et al.* (2009) mediante la educación terciaria y la de López-Puello, Barcenilla y Giménez (2018) a través de la eficiencia del capital humano por hora trabajada. Además, en línea con el estudio realizado por Manca (2011) para los países pertenecientes y no pertenecientes a la OCDE, nuestros resultados también destacan las diferentes implicaciones del capital humano para los países de renta media-alta y alta. Al respecto, en un trabajo posterior, Cerina y Manca (2016) afirman que existe un nivel de ingresos, en torno al país con menor ingreso de la OCDE, en el cual añadir un trabajador cualificado adicional pasa de tener un impacto negativo (en países de menor ingreso) a positivo (en países de mayor ingreso). Esto describe una relación en forma de “U” similar a la obtenida en nuestra predicción, y parece asemejarse a los distintos comportamientos observados al comparar las economías emergentes y los países desarrollados. Por tanto, de acuerdo con esta parte de la literatura, podemos extraer la idea de que, en promedio, el capital humano tiene un rendimiento tecnológico marginalmente decreciente en los países de nivel medio-alto y exponencialmente positivo en los países de renta alta.

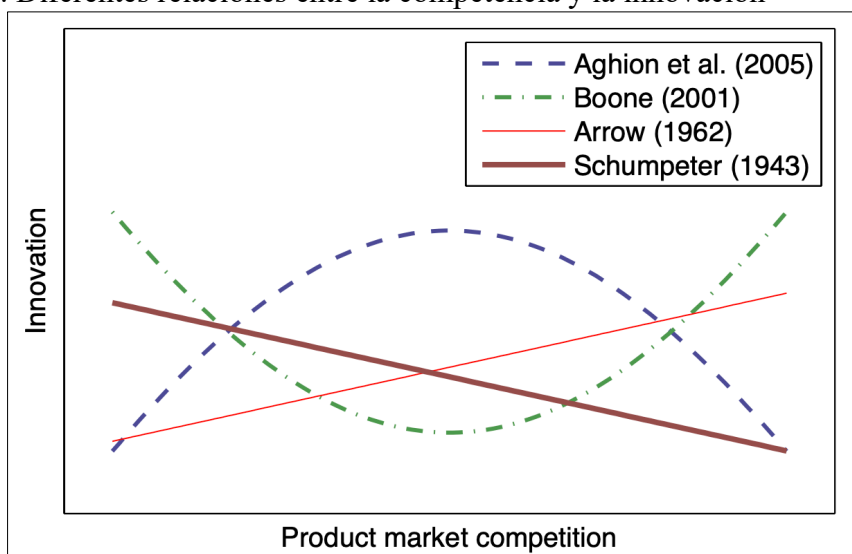
En base a los resultados cosechados en el segundo capítulo, se pueden evaluar los principales factores que determinan el avance tecnológico de los países. Con esta información, es posible ajustar las estrategias tecnológicas de los países y optimar el progreso técnico en función de su nivel de ingresos. Por ejemplo, continuando con el caso de España, el promedio de la distancia a la frontera tecnológica desde 1995 hasta 2019 es del 91 %. Esto significa que el potencial imitador de España se encuentra fuera del margen que le permitiría avanzar por esta vía y aprovechar así la ventaja del seguidor, ya que el límite máximo para los países de ingreso alto sería del 90 % respecto a la frontera. Por tanto, como se mencionaba anteriormente, la estrategia tecnológica de España debería ir orientada a incrementar su esfuerzo en I+D (con un potencial de mejora de más de un 100 %) y mejorar su capital humano, dado que el promedio de estudios reglados ni siquiera alcanza los 11 años de formación mínima que le permitiría progresar por este medio.

Por otro lado, el avance tecnológico requiere de entornos propicios que fomenten la innovación. No solo en el propio ecosistema innovador (instituciones, empresas,

investigadores, etc.) sino también en el entorno económico general de los países. Y es aquí donde entran en juego aspectos tan importantes como la competencia y la desigualdad. Por ello, en el cuarto capítulo, la investigación se centró en la importancia de estos dos factores en el avance tecnológico de los países.

En cuanto a la competencia, la literatura refleja dos fuerzas contrapuestas que intervienen en el desarrollo de la actividad innovadora. De modo que existen argumentos de peso en ambas direcciones, tanto en el ámbito teórico como empírico, que dejan el debate abierto sobre si la competencia incentiva o no la innovación. Un resumen muy ilustrativo sobre esta discusión académica son las diferentes relaciones representadas en la figura 5.1.

Figura 5.1. Diferentes relaciones entre la competencia y la innovación



Fuente: Im, Park y Shon (2015).

Los resultados obtenidos en nuestra investigación evidencian empíricamente la existencia de una relación no lineal en forma de “U” invertida entre grado de competencia global y el avance tecnológico de los países. Cuando la competencia es baja, los países tienen un menor desempeño tecnológico. Sin embargo, a medida que la competencia aumenta, el progreso técnico de los países tiende a incrementarse. Ahora bien, cuando en este transcurso la competencia se torna demasiado agresiva, los países vuelven a alejarse de nuevo de la frontera tecnológica. En conclusión, nuestra estimación confirmaría la relación de Aghion *et al.* (2005) expuesta en la figura 5.1.

También pudimos observar cómo esta relación se intensifica en las diez mayores economías desarrolladas. Esto nos sugiere que el aumento de la competencia impulsa a los países más cercanos a la frontera tecnológica a innovar, mientras que desalienta a los más alejados. No obstante, cuando la competencia se vuelve extrema, incluso los países más cercanos a la frontera tecnológica también tienden a alejarse. Podríamos decir que Estados Unidos, como referente de la frontera, se ve amenazado por la alta competencia e impulsa en mayor medida su innovación (efecto escape) dejando atrás al resto de los países.

Así pues, como mencionamos anteriormente, los hallazgos obtenidos refuerzan empíricamente el modelo propuesto por Aghion *et al.* (2005) mediante el uso de datos de un amplio conjunto de países, y midiendo la competencia a través de la cuota de producción mundial, un enfoque que, hasta donde se conoce, no había sido utilizado en estudios similares. Esto no solo refuerza la idea de que los países deben abrirse a la competencia internacional a media que se desarrollan, sino que también proporciona evidencias acerca de la importancia de promover políticas económicas que fomenten un entorno global equilibradamente competitivo como un marco más propicio para la innovación.

Por otro lado, en el estudio del impacto de la desigualdad de ingresos en el avance tecnológico de los países, los resultados son más heterogéneos. De acuerdo con las estimaciones realizadas para el conjunto total de los países, en líneas generales, existe una mayor probabilidad de avance técnico en los dos extremos de la distribución de ingresos. Es decir, cuando la renta está muy concentrada o perfectamente distribuida. Inicialmente, esta tendencia también se cumple en las diez mayores economías desarrolladas; sin embargo, al excluir a Estados Unidos de la estimación, se puede observar con una alta confianza estadística que el resto de los países experimentaría un mayor progreso tecnológico a medida que se reduce la desigualdad de ingresos.

Esta situación descrita nos lleva a considerar la existencia de dos escenarios diferentes para el avance tecnológico: uno sustentado por una mayor desigualdad de ingresos, como lo observado por Estados Unidos, y otro basado en una menor desigualdad. Según la literatura revisada, existen evidencias que respaldan ambos enfoques. Por ejemplo, Acemoglu, Robinson y Verdier (2017) sugieren que un sistema de recompensas más desigual podría incentivar el esfuerzo innovador en la frontera tecnológica. Por el contrario, la reducción de la desigualdad podría impulsar la innovación al aumentar la demanda de productos de alta calidad y, así, el tamaño del mercado (Zweimüller y Brunner, 2005). De hecho, Acemoglu, Robinson y Verdier (2017) describen estas dos vertientes como “capitalismo despiadado” y “capitalismo mimoso”. Sin embargo, pese haber detectado estas dos vías de avance en los extremos de la relación en forma de “U”, nuestros resultados respaldan que una menor desigualdad ofrece en promedio mayor probabilidad de avance tecnológico para los países, además de un potencial innovador superior. Esto nos lleva a la conclusión de que una mayor brecha en la distribución de ingresos puede impulsar la innovación a corto plazo, pero a largo plazo, la desigualdad puede provocar tanto una asignación menos eficiente del talento innovador como una reducción del tamaño del mercado en favor de pequeñas élites, lo que en efecto podría propiciar un entorno relativamente menos propicio para la innovación.

Por otra parte, en el cuarto capítulo, se han descrito las implicaciones que tiene para la PTF la gran atomización del tejido empresarial español. La escasa proporción relativa de empresas grandes en España condiciona en gran medida la eficiencia productiva y la actividad innovadora del conjunto de la economía. Esto se ha visto reflejado en el estancamiento de la PTF en estas dos últimas décadas. Por ello, se han modelizado las

dinámicas de crecimiento de los distintos tamaños empresariales en base al nivel inicial de la PTF para dos etapas del ciclo económico, con el fin de observar posibles diferencias.

De acuerdo con los resultados obtenidos, en los periodos de recesión económica, las empresas con una menor PTF de inicio experimentarían un mayor crecimiento promedio, independientemente de su tamaño empresarial, lo que también se traduciría en una mayor tasa de empleo (excepto en las empresas muy grandes). De hecho, este comportamiento se manifiesta en una convergencia tanto de la PTF como del número de trabajadores. Es decir, las empresas con menos PTF y trabajadores al inicio del periodo crecen a tasas relativamente superiores en ambos aspectos. De forma similar, aunque en menor intensidad, las empresas medianas y grandes continúan con esta tendencia durante las etapas de expansión económica. Sin embargo, las microempresas y las empresas pequeñas sufren en esta fase una “trampa de productividad” que las aleja de la senda de convergencia. Debido al mayor peso relativo de estas empresas, este patrón en forma de “U” se extendería al conjunto de la economía.

Esta situación se asemeja a la trampa de los ingresos medios en la que muchos países se ven envueltos. Al principio, resulta fácil implementar mecanismos productivos muy estandarizados que permiten obtener altas tasas de crecimiento. Pero una vez alcanzado cierto nivel de desarrollo, cada vez se requieren más esfuerzos para integrar las tecnologías más avanzadas y seguir progresado. Un hándicap que puede estar ligado a las limitaciones propias de las empresas más pequeñas, tales como la financiación, liquidez, gestores cualificados, mano de obra especializada, etc. Además de una escasa transferencia de externalidades productivas desde las empresas medianas y grandes (Young-Jin, Wonkyu y Jin-Woong, 2013).

Por otro lado, durante los periodos de expansión económica, no se observa una correlación entre la evolución de la PTF y el empleo en los distintos tamaños empresariales. Esto discrepa de los estudios que sostienen que la productividad es el principal determinante del tamaño de las empresas. En España, durante las fases expansivas del ciclo económico, el proceso de convergencia de la PTF y del empleo no están correlacionados. Por lo tanto, esto sugiere que, en estos contextos, otros factores pueden estar influyendo en el aumento del tamaño empresarial.

En líneas generales, el problema de la gran fragmentación del tejido empresarial español nos remite principalmente a los periodos de expansión económica. Así pues, para aumentar la proporción de empresas grandes en España, sería importante que las políticas económicas se centrasen en estas etapas. Existen dos ejes de actuación al respecto. Por un lado, sería necesario ayudar a las microempresas y empresas pequeñas a salvar esta “trampa de productividad”. Por ejemplo, intensificando los programas de financiación de la Dirección General de Industria y Pyme (DGIPYME<sup>68</sup>), que fomentan la innovación, la digitalización, la reindustrialización, la industria conectada, las redes de *Business Angels*,

---

<sup>68</sup> Véase los actuales programas disponibles: <http://www.ipyme.org/es-ES/Financiacion/Paginas/ProgramasDGIPYME.aspx>

así como la atracción y retención de talento en estas dimensiones. Por otro lado, sería preciso promover incentivos para el cambio de tamaño empresarial. Es importante tener presente que, durante estos periodos, la PTF no mantiene una correlación con el tamaño empresarial. Por tanto, puede haber empresas que, aun teniendo niveles de productividad y eficiencia altos, prefieran no aumentar su tamaño debido a la complejidad procedimental que implica ser una empresa más grande.

## **5.2. Limitaciones y futuras investigaciones**

En esta tesis doctoral se han aportado evidencias empíricas acerca de los principales factores estratégicos que impulsan el avance tecnológico de los países. Sin embargo, a pesar de los hallazgos, son numerosos los aspectos que quedan por investigar sobre la compleja carrera tecnológica que mantienen los países. Las limitaciones encontradas durante este trabajo y los interrogantes que surgen tras su realización pueden servir de referencia para desarrollar nuevas investigaciones que vayan más allá de lo expuesto. No debemos olvidar que la tecnología está llamada a marcar tanto el devenir de las economías como el orden mundial. Por tanto, es importante seguir insistiendo en explicar con precisión, y así mejorar, el desempeño tecnológico de los países.

En el primer capítulo, hemos observado el agotamiento productivo que implica la acumulación de capital fijo para los países cercanos a la frontera tecnológica y, con ello, los límites de la estrategia imitadora. La PTF nos ha permitido evaluar el rendimiento tecnológico de los países en base al stock de capital físico, ya que estos activos productivos son fácilmente accesibles y nos aproximan a la actividad imitadora. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la PTF, al ser un residuo contable, tiene una relación paradójica con el capital. En un estudio reciente, Escribá, Murgui y Ruiz (2022) analizaron la relación entre la tasa de depreciación del capital y la PTF utilizando datos de España para el periodo 1964-2015. Los resultados sugieren que la escasa atención prestada a la depreciación del capital en los estudios empíricos puede llevar a una medición sesgada del capital, lo que, a su vez, puede desvirtuar la magnitud de la PTF medida indirectamente a través de la producción. Este es un aspecto no considerado que podría ser objeto de investigación en el futuro. Además, el estudio de Musso (2006) señaló que, desde la década de 1970, existe una posible reducción en la vida útil del capital, lo que podría tener implicaciones en la evolución de la PTF de Estados Unidos como referencia de la frontera tecnológica.

Por otro lado, también es importante destacar que, aunque la PTF es útil para medir el desempeño tecnológico y contrastarse con multitud de trabajos, sabemos que refleja gran parte de la eficiencia productiva de la economía. A medida que los países adquieren más bienes de equipo, también aprenden a utilizarlos y organizarlos de manera más eficiente. Del mismo modo, la forma en que se organiza el factor trabajo también influye

significativamente en la PTF. En este caso, no se han podido considerar las diferencias en las horas trabajadas de muchos países debido a la falta de datos disponibles. Por tanto, en este sentido sería oportuno poder separar de la PTF el componente tecnológico de la eficiencia, y precisar cómo evoluciona cada aspecto individualmente. Un sesgo que se mantiene durante toda la investigación, al utilizarse la PTF como la variable de rendimiento tecnológico a explicar. De modo que, en futuras investigaciones, se podría replicar gran parte de estos análisis con otra variable resultante de la actividad tecnológica, como las patentes, los artículos científicos, los ingresos de las empresas tecnológicas, etc.

En el segundo capítulo, se han identificado los puntos de inflexión en los factores determinantes de la PTF como esos umbrales de optimización en los ejes estratégicos del avance tecnológico de los países. Esto proporciona una sencilla guía para evaluar el potencial de mejora de los países en función de su nivel de ingresos. No obstante, esta sencillez requiere de una profundización sobre lo planteado, considerando nuevos factores relacionados con la innovación y la adopción de tecnología, así como mejorar las mediciones del capital humano. Ello permitiría seguir desgranando la complejidad que conforma la PTF de los países. Por otro lado, además de no poder contar con series de datos más amplias para variables como la I+D y los años de estudio reglados, también nos hemos encontrado con la falta de datos para muchos países de renta baja, lo cual ha limitado nuestra capacidad para enriquecer el panorama global. Así pues, a partir de lo aportado y mejorando estos extremos, podría ser interesante desarrollar una herramienta estratégica con este enfoque que permita evaluar y orientar el progreso tecnológico de los países a largo plazo.

La relación entre la competencia y el avance tecnológico es un tema de gran importancia, ya que la competencia es un factor clave para el desarrollo y adopción de nuevas tecnologías. En el tercer capítulo, se ha evaluado la competencia global entre los países mediante la cuota de producción mundial. Ello nos ha permitido aproximar de forma sencilla la presión competitiva que experimentan los países, al igual que se hace con las empresas en su sector. Sin embargo, para obtener una comprensión más completa, esta medida a nivel agregado debe ser examinada en otras situaciones y contrastada con más índices de competencia. También se pueden efectuar estudios de casos específicos para obtener un conocimiento más profundo sobre las particularidades del impacto de la competencia en el avance tecnológico.

En el caso de la desigualdad de ingresos, hemos observado dos entornos propicios para la innovación ubicados en ambos extremos de la distribución. A pesar de que los hallazgos sugieren un mayor potencial en los países con menor desigualdad, la escasez de series de datos completas para muchos países ha limitado un análisis más preciso sobre la vertiente más adecuada. De modo que sería pertinente utilizar otros indicadores de desigualdad como el índice de Theil o la dispersión de ingresos en otro percentil.

Asimismo, tanto la competencia como la desigualdad son aspectos que derivan del

desarrollo económico de los países y son, en cierta medida, producto del progreso técnico experimentado. Es importante considerar a estos factores como elementos que están interrelacionados con la tecnología, ya sea en forma de círculo virtuoso o vicioso. Por tanto, en un futuro, sería interesante poder aislar esta realimentación circular, y examinar en un sentido más estricto el efecto que generan en el ecosistema innovador de los países.

En el cuarto capítulo, se llevó a cabo un análisis sobre la dinámica de crecimiento de la PTF en las empresas españolas, destacando las diferencias entre los distintos tamaños empresariales. Sin embargo, a pesar de los hallazgos obtenidos, el estudio no incluyó a las microempresas con menos de cuatro trabajadores de media, que representan más del 80 % del total de las empresas en España, ni a las empresas que nacen y se destruyen durante el periodo analizado, lo cual es más común en esta dimensión empresarial debido a su mayor grado de inmadurez. Además, sería conveniente precisar si el comportamiento observado también se produce en las empresas más innovadoras, incluyendo alguna variable que determine el esfuerzo tecnológico de las empresas. Estas limitaciones y cuestiones asociadas representan un gran espacio de investigación por el que ahondar, especialmente en el comportamiento de las microempresas más incipientes, que conforman gran parte tejido empresarial español y que podrían llegar a convertirse en las empresas grandes del futuro.



# Bibliografía

ABRAMOVITZ, M. (1986). Catching Up, Forging Ahead, and Falling Behind. *Journal of Economic History*. Vol. 46. Pag. 386-406.

ACEMOGLU, D. y AUTOR, D. (2011). Skills, Tasks and Technologies: Implications for Employment and Earnings. *Handbook of Labor Economics*. Vol. 4. Chapter 12. Pag: 1043-1171.

ACEMOGLU, D. y RESTREPO, P. (2018). The race between man and machine: Implications of technology for growth, factor shares and employment. *American Economic Review*. Vol. 108 (6). Pag. 1488-1542.

ACEMOGLU, D. y RESTREPO, P. (2019). Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor. *Journal of Economic Perspectives*. Vol. 33 (2). Pag: 3-30.

ACEMOGLU, D. y RESTREPO, P. (2021). Tasks, automation, and the rise in us wage inequality. Working Paper 28920.

ACEMOGLU, D., AGHION, P. y ZILIBOTTI, F. (2006). Distance to Frontier, Selection, and Economic Growth. *Journal of the European Economic Association*. Vol 4. Pag. 37-74.

ACEMOGLU, D., ROBINSON, J.A. y VERDIER, T. (2017). Asymmetric growth and institutions in an interdependent world. *Journal of Political Economy*. Vol. 125. Pag. 1245-1305.

AGÉNOR, P. R. (2017). Caught in the middle? The economics of middle-income traps. *Journal Economic Surveys*. Vol. 31. Nº 3. Pag. 771-791.

AGHION, P. y HOWITT, P. (1992). A model of growth through creative destruction. *Econometrica*. Vol. 60 (2). Pag. 323-351.

AGHION, P. y HOWITT, P. (2009). *The Economics of Growth*. The MIT Press.

AGHION, P., AKCIGIT, U., BERGEAUD, A., BLUNDELL, R. y HEMOUS, D. (2019). Innovation and Top Income Inequality. *The Review of Economics Studies*. Vol. 86 (1). Pag. 1-45.

AGHION, P., ANTONIN, C. y BUNEL, S. (2021). *El Poder de la Destrucción Creativa*. Editorial Deusto.

AGHION, P., BLOOM, N., BLUNDELL, R, GRIFFITH, R. y HOWITT, P. (2005). The Quarterly Journal of Economics. Vol. 120. Nº 2. Pag. 701-728.

AGHION, P., HEMOUS, D. y KHARROUBI, E. (2014). Cyclical fiscal policy, credit constraints, and industry growth. *Journal of Monetary Economics*. Vol. 62. Pag. 41-58.

- ARELLANO, M. y BOVER, B. (1995). Another look at the instrumental variable estimation of error-components models. *Journal of Econometrics*. Vol. 68. Pag. 29-51.
- ARKOLAKIS, C., PAPAGEORGIOU, T. y TIMOSHENKO, O. (2015). Firm learning and growth. Nº 2015-5.
- ARROW, K.J. (1962). *Economic welfare and the allocation of resources for invention*. Princeton University Press.
- ASLAN, H. y KUMAR, P. (2016). The product market effect of hedge fund activism. *Journal of Financial Economics*. Vol. 119 (1). Pag. 226-248.
- ATHANASOGLU, P.P., SOPHOCLES, N.B. y MATTHAIOS, D.D. (2008). Bank-specific, industry-specific and macroeconomic determinants of bank profitability. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*. Vol. 18. Pag. 121-136.
- AUTOR, D., DORN, D. y HANSON, D. (2019). When work disappears: Manufacturing decline and the falling marriage market value of young men. *American Economic Review*. Vol. 1 (2). Pag. 161-178.
- AUTOR, D., MINDELL, D.A. y REYNOLDS, E.B. (2019). *The work of the future: Shaping Technology and Institutions*. MIT Fall 2019 Report.
- BAERLOCHER, D. (2021) Public employment and economic growth. *Economic Theory*.
- BAHAR, D. (2018). The middle productivity trap: Dynamics of productivity dispersion. *Economics Letters*. Vol. 167. Pag. 60-66.
- BALDWIN, R. (2016). *La gran convergencia. Migración, tecnología y la nueva globalización*. Antony Bosh Editor: Barcelona.
- BANCO DE ESPAÑA. (2019). *Retos de la economía española. La productividad y el tejido empresarial* Asamblea anual del Instituto de la Empresa Familiar.
- BARCENILLA, S. y LÓPEZ-PUEYO, C. (2018). Inside Europe: human capital and economic growth revisited. *Empirica*. Vol. 45. Pag. 821-847.
- BARCENILLA, S., GIMENEZ, G. y LÓPEZ-PUEYO, C. (2019). Differences in total factor productivity growth in the European Union: The role of human capital by income level. *Prague Economic Papers*. Vol. 28 (1). Pag. 70-85.
- BARRO, R. J. (1991). Economic growth in a cross-section of countries. *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 106. Pag. 407-443.
- BARRO, R. J. (2001). Human capital and growth. *American Economic Review: Papers and Proceedings*. Vol. 91. Pag. 12-17.
- BARRO, R. J. y SALA-I-MARTÍN, X. (1997). Technological Diffusion, Convergence, and Growth. *Journal of Economic Growth*. Vol. 2, Nº 1.

- BARRO, R. y LEE, J. W. (2013). A new data set of educational attainment in the world 1950–2010. *J Dev Econ*. Vol. 104. Pag. 184-198.
- BASSANINI, A. y SCARPETTA, S. (2001). The driving forces of economic growth: Panel data evidence for the OCDE countries. *OECD Economic Studies* 2001.
- BASTANI, S. y WALDENSTRÖM, D. (2020). How should capital be taxed? *Journal of Economic Surveys*. Vol. 34 (4). Pag. 812-846.
- BATTISTI, M., BELLOC, F. Y DEL GATTO, M. (2020) Labor productivity and firm-level TFP with technology-specific production functions, *Review of Economic Dynamics*. Vol. 35. Pag. 283-300.
- BENEITO, P., COSCOLLÁ, P., ROCHINA, M.E. y SANCHÍS, A. (2011). La relación en forma de U-invertida entre competencia e innovación: Evidencia para el caso español. *Economía Industrial*. N° 382. Pag. 45-52.
- BENHABIB, J. y SPIEGEL, M. (2005) Human Capital and Technology Diffusion. *Handbook of Economic Growth*. Vol 1. Pag. 935-966.
- BEUGELSDIJK, S., KLASING, M. y MILIONIS, P. (2018). Regional economic development in Europe: the role of total factor productivity. *Regional Studies*. Vol. 52 (4). Pag 461-476.
- BILS, M. Y KLENOW, P. (2000). Does schooling cause growth? *American Economic Review*. Vol 90. Pag. 1160-1183.
- BLAŽKOVÁ, I., DVOULETY, O. y MACHEK, O. (2020). What drives Total Factor Productivity and its Growth in Post-communist Countries? The Case of the Czech Food Industry. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*. Vol. 10. Pag. 285-305.
- BLUNDELL, R. y BOND, S. (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models, *Journal of Econometrics*. Vol. 87. Pag. 115-143.
- BODMAN, P. y LE, T. (2007). International Research and Development Spillovers through Foreign Direct Investment and Productivity Growth. MRG Discussion Paper Series 1507. School of Economics, University of Queensland, Australia.
- BRAVO, C. y GARCÍA M. Á. (2011). R&D and productivity: A two way avenue? *World Development*. Vol 39 (7). Pag. 1090–1107.
- BRYNJOLFSSON, E., MCAFEE, A. y SPENCE, M. (2014). New World Order: Labor, Capital, and Ideas in the Power Law Economy. *Foreign Affairs*. Vol. 93 (4). Pag. 44-53.
- BUESA, M. y MOLERO, J. (1996). Tamaño empresarial e innovación tecnológica en la economía española. *Documentos de trabajo del IAIF*, N° 1.

CAMISÓN, C., LAPIEDRA, R., SEGARRA, M. y BORONAT, M. (2002). Meta-análisis de la relación entre tamaño de empresa e innovación. Documentos de trabajo Serie EC, N° 15. Pag- 200-253.

CERINA, F. y MANCA, F. (2018). Catch me if you learn: Development specific education and economic growth. *Macroeconomic Dynamics*. Vol. 22 (6). Pag. 1652-1694.

CHANCEL, L., PIKETTY, T., ZUCMAN, G., *et al.* (2022). World Inequality Report 2022. World Inequality Lab.

CHEN, D. H. C. y DAHLMAN, C.J. (2004). Knowledge and Development A Cross-Section Approach. Policy Research Working Paper. N° 3366 World Bank.

CHERIF, R. y HASANOV, F. (2019). The Leap of the Tiger: Escaping the Middle-income Trap to the Technological Frontier. *Glob Policy*. Vol. 10. Pag. 497-511.

CHETTY, R., HENDREN, N., KLINE, P. y SAEZ, E. (2014). Where is the land of opportunity? The geography of intergenerational mobility in the United States. *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 129. Pag. 1553-1623.

CHOW, C. K. y FUNG, M. K. (1997). Firm size and performance of manufacturing enterprises in PR China: the case of Shanghai's manufacturing industries. *Small Business Economics*. Vol. 9 (3). Pag. 287-298.

CIRERA, X. y MALONEY, W. F. (2017). The innovation paradox: Developing-country capabilities and the unrealized promise of technological catch-up. Washington, DC: The World Bank.

COCCIA, M. (2017). What Maximizes Labor Productivity? Optimal Levels of R&D Intensity and Tax on Corporate Profits for Nations. Coccia Lab Working Paper 2017, N° 9.

COE, D. T. HELPMAN, E. y HOFFMAISTER, A.W. (2008). International R&D Spillovers and Institutions. International Monetary Fund.

COE, D. T. y HELPMAN, E. (1995). International R&D spillovers. *European Economic Review*. Vol. 39 (5). Pag. 859-887.

COHEN. W.M. (2010). Fifty years of empirical studies of innovative activity and performance. *Handbooks in Economics*. Vol. 1.

COLLINS, T. (2015). Imitation: A catalyst for innovation and endogenous growth. *Economic Modelling*. Vol. 51. Pag. 299-307.

COMIN, D. y MESTIERI, M. (2013). If Technology Has Arrived Everywhere, Why Has Income Diverged? NBER Working Paper, N° 19010. Pag. 66.

CORNETT, M.M., ERHEMJAMTS, O. y TEHRANIAN, H. (2019). Competitive environment and innovation intensity. *Global Finance Journal*. Vol. 41 (1). Pag. 44-59.

COWLING, M. (2010). The role of loan guarantee schemes in alleviating credit rationing in the UK. *Journal of Financial Stability*. Vol. 6 (1). Pag. 36-44.

CREDIT SUISSE. (2019). *Global Databook 2019*.

DANQUACH, M., MORAL\_BENITO, E. y OUATTARA, B. (2013). TFP growth and its determinants: a model averaging approach. *Empir Econ*. Pag. 227-251.

DE LA FUENTE, A. (2003). Human capital in a global and knowledge-based economy, part II: assessment at the EU country level. European Commission, DG for Employment and Social Affairs.

DE LA FUENTE, A. (2011). Human Capital and Productivity. Working Papers 1103, BBVA Bank, Economic Research Department.

DELGADO, M.S., HENDERSON, D.J. y PARMETER C.F. (2012): Does education matter for economic growth? IZA Discussion Papers, No. 7089, Institute for the Study of Labor.

DÍAZ, A. y FRANJO, L. (2016). Capital goods measured TFP and growth: The case of Spain. *European Economic Review*. Elsevier. Vol. 83(C). Pag. 19-39.

DÍAZ, M. A. y SÁNCHEZ, R. (2008). Firm size and productivity in Spain: A stochastic frontier analysis. *Small Business Economics*. Vol. 30. Pag. 315–323.

DOMAR, E. D. (1946). Capital Expansion, Rate and Growth, and Employment. *Econometrica*. Vol. 14. Pag. 137-147.

DURLAUF, S. N. y JOHNSON, P. A. (1995). Multiple regimes and cross-country growth behavior. *Journal of Applied Econometrics*. Vol. 10. Pag. 365-384.

ELLISON, G. y GLAESER, E. L. (1997). Geographic concentration in U.S. manufacturing industries: A dartboard approach. *Journal of Political Economy*. Vol. 105 (5). Pag. 889-927.

FEENSTRA, R. C., INKLAAR, R. y TIMMER, M. P. (2015). The Next Generation of the Penn World Table. *American Economic Review*. Vol. 105 (10). Pag. 3150-3182.

FELIPE, J. (2008). What Policy Makers Should Know About Total Factor Productivity. *Malaysian Journal of Economic Studies*. Vol. 45. Pag. 1-19.

FELIPE, J. (2012). Tracking the Middle-income Trap: What is It, Who is in It, and Why? Part 1. Asian Development Bank Economics Working Paper, N° 306.

FERNANDES, A. M. (2008). Firm Productivity in Bangladesh Manufacturing Industries. *World Development*, Elsevier. Vol. 36 (10). Pag- 1725-1744.

FERNÁNDEZ-RIBAS, A. (2010). International patent strategies of small and large firms: An empirical study of nanotechnology. *Review of Policy Research*. Vol. 27, Issue 4. Pag. 457-473.

FOELLMY, R. y ZWEIMÜLLER, J. (2006). Income distribution and demand induced innovations. *Review of Economic Studies*. Vol 73 (4). Pag. 941-960.

GARCÍA-SANTANA, M., PIJOAN-MAS, J., MORAL-BENITO, E. y RAMOS, R. (2016). Growing like Spain: 1995-2007. *Documentos de Trabajo*, N° 1609. Banco de España.

GEHRINGER, A. (2011). Pecuniary Knowledge Externalities and Innovation: Intersectoral Linkages and Their Effects Beyond Technological Spillovers. *Economics of Innovation and New Technology*. Vol. 20 (5). Pag. 495–515.

GEHRINGER, A., MARTÍNEZ-ZARZOSO, I. y DANZINGER F. N. (2016). What are the drivers of total factor productivity in the European Union? *Economics of Innovation and New Technology*. Vol 25 (4). Pag. 406-434.

GEROSKI, P.A. (1990). Innovation, technological opportunity, and market structure. *Oxford Economic Papers*. Vol. 42. Pag. 586-602.

GEROSKI, P.A. (1991). Innovation and the sectoral sources of UK productivity growth. *Economic Journal*. Vol. 101. Pag. 1438-1451.

GILL, I. y KHARAS, H. (2007). *An East Asian Renaissance*. Washington, DC: The World Bank.

GREVE, H. R. (2011). Positional rigidity: low performance and resource acquisition in large and small firms. *Strategic Management Journal*. Vol. 32, N° 1. Pag. 103-114.

GRIFFITH, R., REDDING, S. y VAN REENEN, J. (2003). R&D and absorptive capacity: theory and empirical evidence. *Scandinavian Journal of Economics*. Vol. 105 (1). Pag. 99–118.

GROSSMAN, G. y HELPMAN, E. (1991). *Innovation and growth in the global economy*. Cambridge, MA: MIT Press.

GUELLEC, D. y VAN POTTELSBERGHE DE LA POTTERIE B. (2004). From R&D to productivity growth: Do the institutional setting and the sources of funds of R&D matter? *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*. Vol. 66 (3). Pag. 353–378.

GUIMIRE, S. KAPRI, K. y RAHMAN, M. R. (2018). Imitate or Innovate? FDI, Technology, and Income Levels in Middle Income Countries. *Journal of Development Innovation*. Vol. 2, N° 1. Pag. 1-13.

GUMBAU-ALBERT, M. y MAUDOS, J. (2002). The determinants of efficiency: the case of Spanish industry. *Applied Economics*. Vol. 34. Pag. 1941-1948.

HA, J. y HOWITT, P. (2007). Accounting for trends in productivity and R&D: a Schumpeterian critique of semi endogenous growth theory. *J Money Credit Bank*. Vol. 39 (4). Pag. 733-774.

- HAIDER, F., KUNST, R. y WIRL, F. (2020). Total factor productivity, its components and drivers. *Empirica*.
- HALL, R.E. y JONES., C.I. (1999). Why do some countries produce so much more output per worker than others? *The Quarterly Journal of Economics*. Vol. 114 (1). Pag. 83-116.
- HANSEN, L. P. (1982) Large sample properties of generalized method of moments estimators. *Econometrica*. Vol. 50. Pag. 1029-1054.
- HARROD, R. F. (1936). *The Trade Cycle*. Oxford: Clarendon Press 1936.
- HAUSMAN, A. (2005). Innovativeness Among Small Businesses: Theory and Propositions for Future Research. *Industrial Marketing Management*. Vol. 34 (8). Pag. 773-782.
- HE W., ZHANG Y., ZHONG Y. y CHEN J. (2020). The impact of income gap on the inverted U-shaped total factor productivity and its mechanisms: Evidence from transnational level analysis. *Plos One*. Vol. 15.
- HE, Q. y XU, B. (2019). Determinants of economic growth: a varying-coefficient path identification approach. *Journal of Business Research*. Vol. 101. Pag. 811-818.
- HESHMATI, A., RASHIDGHALAM, M. (2020). Estimation of technical change and TFP growth based on observable technology shifters. *J Prod Anal*. Vol. 53. Pag. 21-36.
- HIRSCH, S., SCHIEFER, J., GSCHWANDTNER, A. y HARTMANN, M. (2014). The determinants of firm profitability differences in EU food processing. *Journal of Agricultural Economics*. Vol. 65, N° 3. Pag. 703-721.
- HOECHLE, D. (2007). Robust standard errors for panel regressions with cross-sectional dependence. *Stata Journal*. Vol 7. Pag. 281-312.
- HOSPIDO L. y MORENO G. (2015). The Spanish Productivity Puzzle in the great recession. *Documentos de Trabajo*, N° 1501. Banco de España.
- HOWITT, P. (2000). Endogenous Growth and Cross-Country Income Differences. *American Review*. Vol. 90. Pag- 829-846.
- HOWITT, P. y MAYER, D. (2005). Technological Innovation, Implementation and Stagnation: Schumpeterian Theory of Convergence Clubs. *Journal of Money, Credit and Banking*. Vol. 37 (1). Pag. 144-177.
- HSIEH, C. y KLENOW, P. (2009). Misallocation and Manufacturing TFP in China and India. *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 124 (4). Pag. 1403-1448.
- HSIEH, C. y KLENOW, P. (2011). The Life Cycle of Plants in India and Mexico. *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 129.

HUERTA, E. y SALAS, V. (2014). Tamaño de las empresas y productividad de la economía española. Un análisis exploratorio. *Mediterráneo Económico*, Vol. 25. Pag. 167-193.

HULTEN, C. R. (2000). Total Factor Productivity: A short biography. National Bureau of Economic Research. Working Paper N° 7471.

HUNG LI, C. y SHEN, M. (2019). Does a U-shaped relationship exist between performance and size threshold? The evidence from Taiwan biotech industry. *Technology in Society*, Elsevier. Vol. 58 (C).

IACOVONE, L. y CRESPI, G.A. (2010). Catching up with the technological frontier: Micro-level evidence on growth and convergence. *Industrial and Corporate Change*. Vol. 19 (6). Pag. 2073-2096.

IM, H. J., PARK, Y. J. y SHON, J. (2015). Product market competition and the value of innovation: Evidence from US patent data, *Economics Letters*. Vol. 137 (1). Pag. 78-82.

ISAKSSON, A. (2007). Determinants of total factor productivity: <sup>[1]</sup><sub>SÉP</sub>a literature review. Research and Statistics Branch United Nations Industrial Development Organization. Working paper, N° 02/2007.

JALÓN, F. B. y HERCE, J. A. (2020). Countercyclical labor productivity: the case of Spain. *Cuadernos de Economía - Spanish Journal of Economics and Finance*. Asociación Cuadernos de Economía. Vol. 43 (122). Pag. 105-118.

JONES, C. (1995). Time series tests of endogenous growth models. *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 2. Pag. 495-526.

JONES, C. I. y KIM, J. (2018). A Schumpeterian Model of Top Income Inequality. *Journal of Political Economy*. Vol. 125 (5). Pag. 1785-1826.

KHAN, M. y LUNTEL, K. (2006). Sources of Knowledge and Productivity: How Robust is the Relationship? OECD DSTI. Working Paper, N° DSTI/DOC (2006).

KIJEK, A. y KIJEK, T. (2020). Nonlinear effect of Human Capital and R&D on TFP: Evidence from European Regions. *Sustainability*. Vol.12. N° 1808.

KIM, Y. E. y LOAYZA, N. (2019). Productivity Growth: Patterns and Determinants Across de World. World Bank Policy Research. Working Paper, N° 8852.

KLEIN, M. A. (2019). Establishment productivity convergence and the effect of foreign ownership at the frontier. *World Development*. Vol. 122. Pag. 245-260.

KRUEGER, B. y LINDAHL, M. (2001). Education for Growth: Why and For Whom? *Journal of Economic Literature*.<sup>[1]</sup><sub>SÉP</sub> Vol. 39. Pag. 1101-1136.

KUMBHAKAR, S. C., ORTEGA-ARGILÉS, R., POTTERS, L., VIVARELLI, M., y VOIGT, P. (2012). Corporate R&D and firm efficiency: Evidence from Europe's top R&D investors. *Journal of Productivity Analysis*, 37, 125–140.

- LABRA, R. y TORRECILLAS, C. (2014). Guía cero para datos de panel. Un enfoque práctico. UAM-Accenture Working Papers, N° 16.
- LAFORET, S. (2008). Size, Strategic, and Market Orientation Affects on Innovation. *Journal of Business Research*. Vol. 61. Pag. 753-764.
- LEVINE, R. y RENELT, D. (1992). A Sensitivity Analysis of Cross-Country Growth Regressions. *American Economic Review*. Vol. 4, N° 82. Pag. 942-963.
- LEVINSOHN, J. y PETRIN, A. (2003). Estimating production functions using inputs to control for unobservable. *The Review of Economic Studies*. Vol. 70 (2). Pag. 317-341.
- LI, J. (2019). The influence of income distribution and credit constraints on tertiary education enrollment: An empirical analysis based on 146 economies. *Economies Journal*. Vol. 31 (6). Pag. 267-276.
- LUCAS, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *J. Monetary Econ.* Vol. 22 (1). Pag. 3-42.
- LUIINTEL, K., KHAN, M. y THEODORIDIS, K. (2014). On the Robustness of R&D. *Journal of Productivity Analysis*. Vol. 42 (2). Pag. 137-155.
- MADSEN, J. B. (2007). Technology spillover through trade and TFP convergence: 135 years of evidence for the OECD countries. *Journal of International Economics*. Vol. 72. Pag. 464-80.
- MADSEN, J. B., ISLAM, M. R. y ANG, J. B. (2010), Catching up to the technology frontier: the dichotomy between innovation and imitation. *Canadian Journal of Economics/Revue canadienne d'économique*. Vol. 43. Pag. 1389-1411.
- MALDONADO, D. y BENITO, H. (2020). La fiscalidad en España: ¿una limitación al desarrollo de las Pymes? *Cuadernos de Contabilidad*, 21.
- MANCA, F. y PIROLI, G. (2011). Human Capital, R&D and Productivity Convergence of European Regions. A spatial analysis of RHOMOLO's semi endogenous growth approach. IPTS European Commission.
- MANKIW, N. G., ROMER, D. y WEIL, D. N. (1992). A contribution to the empirics of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 107. Pag. 407-437.
- MÄNNASOO, K., HEIN, H. y RUUBEL, R. (2018) The contributions of human capital, R&D spending and convergence to total factor productivity growth. *Regional Studies*. Vol. 52 (12). Pag. 1598-1611.
- MARGARITIS, D., FÄRE, R. y GROSSKOPF, S. (2007). Productivity, convergence and policy: A study of OECD countries and industries. *Journal of Productivity Analysis*. Vol. 28 (1-2). Pag. 87-105.
- MAROTO-SANCHEZ, A. y CUADRADO-ROURA, J. (2006). La productividad en la economía española. Instituto de Estudios Económicos.

- MARYAM, K. y JEHAN, Z. (2018). Total Factor Productivity Convergence in Developing Countries: Role of Technology Diffusion. *South African Journal of Economics*. Vol 86. Pag. 247-262.
- MAS, M. y ROBLEDOS, J. C. (2010). Productividad: Una perspectiva internacional y sectorial. Bilbao: Fundación BBVA. Pag. 282.
- MAUDOS, J., PASTOR, J.M. y SERRANO, L. (2000). Convergence in OECD Countries: Technical change, efficiency, and productivity. *Applied Economics*. Vol. 32 (6). Pag. 757-765.
- MEDRANO, L., SALAS, V. y SÁNCHEZ, J. J. (2019). Firm size and productivity from occupational choices. *Small Business Economics*, Springer. Vol. 53 (1). Pag. 243-267.
- MILEVA, E. (2007). Using Arellano-Bond Dynamic Panel GMM Estimators in Stata. Tutorial. Fordham University. New York.
- MORAL-BENITO, E. (2018). Growing by learning: firm-level evidence on the size-productivity nexus. *Serie 9*. Pag. 65-90.
- MYRO, R. (2019). Determinants of economic growth in Spain: a historical viewpoint. M. Osińska (ed.) *Economic Miracles in the European Economies*. Springer Nature Switzerland AG. Pag. 61-78.
- NEGASSI, S., LHUILLERY, S., SATTIN, J.F., HUNG, T.Y. y PRATLONG, F. (2019) Does the relationship between innovation and competition vary across industries? Comparison of public and private research enterprises. *Economics of Innovation and New Technology*. Vol 28 (5). Pag. 465-482.
- NIETO, M. J. y SANTAMARIA, L. (2010). Technological collaboration: bridging the innovation gap between small and large firms. *Journal of Small Business Management*. Vol. 48, N° 1. Pag. 44-69.
- OCDE. (2022). *World Inequality Report 2022*. World Inequality Lab OCDE.
- OLLEY, G. S. y PAKES, A. (1996). The Dynamics of Productivity in the Telecommunications Equipment Industry. *Econometrica*. Pag. 1263-1297.
- OXFAM. (2022). *Las desigualdades matan. Informe Oxfam 2022*.
- ÖZAK, Ö. (2018). Distance to the pre-industrial technological frontier and economic development. *Journal of Economic Growth*. Vol. 23. Pag. 175-221.
- PAGANO, P. y SCHIVARDI, F. (2001). Firm Size Distribution and Growth. *Temi di discussione (Economic working papers) 394*. Bank of Italy. Economic Research and International Relations Area.
- PORTER, M. E. (1991). Towards a dynamic theory of strategy. *Strategic Management Journal*. Vol.12 (2). Pag. 95-117.

- REBELO, S. (1991). Long Run Policy Analysis and Long Run Growth. *Journal of Political Economy*. Vol. 99. Pag. 500-521.
- ROMER, P. M. (1986). Increasing returns and developments in the theory of growth. NBER Working Paper Series. N° 3098.
- ROMER, P. M. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*. Vol. 98 (5). Pag. 71-102.
- ROODMAN, D. (2009). How to do xtabond2: an introduction to difference and system GMM in Stata. *The Stata Journal*. Vol. 9. Pag. 86-136.
- SALA-I-MARTÍN, X. (1994). *Apuntes de crecimiento económico*. Antoni Bosch Editor.
- SCARPETTA, S., SCHIVARDI, F. y BARTELSMAN, E. (2005). Comparative analysis of firm demographics and survival: evidence from micro-level sources in OECD countries. *Industrial and Corporate Change*. Vol. 14. Pag. 365-391.
- SCHERER, F. M. (1967). Research and development resource allocation under rivalry. *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 81. Pag- 359-394.
- SCHIERSCH, A. (2013). Firm size and efficiency in the German mechanical engineering industry. *Small Business Economics*, Springer. Vol. 40 (2). Pag. 335-350.
- SCHUMPETER, J. (1943). *Capitalism, Socialism and Democracy*. George Allen and Unwin.
- SERRANO, J. y MYRO, R. (2019). From domestic to exporter, what happens? Evidence for Spanish manufacturing firms. *Structural Change and Economic Dynamics*.
- SOLOW, R. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 70 (1). Pag. 65-94.
- SPIGANTI, A. (2020). Inequality of opportunity, inequality of effort and innovation. EUI Working Paper 2020/02.
- SWAN, T. W. (1956). Economic Growth and Capital Accumulation. *Economic Record*. Vol. 32 (2). Pag. 334-361.
- SYVERSON, C. (2011). What Determines Productivity? *Journal of Economic Literature*. Vol. 49 (2). Pag. 326-65.
- TINGVALL, P. G. y POLDAHL, A. (2006). Is there an inverted U- shaped relation between competition and R&D? *Economics of Innovation and New Technology*. Vol. 15 (2). Pag. 101-118.
- TSAMADIAS, C., PEGKAS, P., MAMATZAKIS, E. y STAIKOURAS, C. (2018): Does R&D, human capital and FDI matter for TFP in OECD countries? *Economics of Innovation and New Technology*.

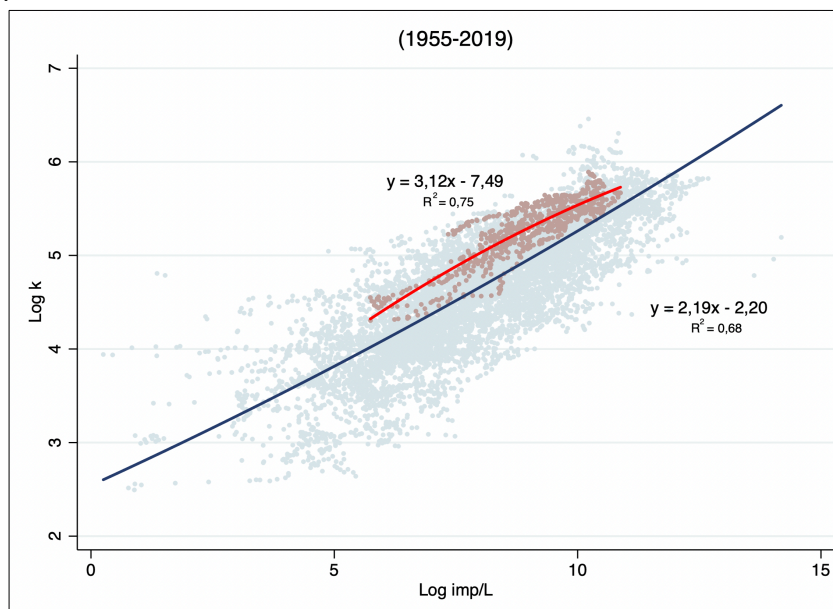
- URBANO, D; TOLEDANO, N (2008): Los proyectos innovadores en las PYMES españolas: un estudio de casos múltiple. *Economía industrial*, N° 368. Pag. 213-225.
- VAN ARK, B. y MONNIKHOF, E. (1996). *Size Distribution of Output and Employment: A Data Set for Manufacturing Industries in Five OECD Countries, 1960s-1990*. OECD Economics Department. Working Paper, N° 166.
- VAN ELK, R., VERSPAGEN B., WEEL B. T, VAN DER WIEL, K. y WOUTERSE, B. (2015). *A Macroeconomic Analysis of the Returns to Public R&D Investments*. CPB Discussion Paper, N° 313.
- VANDENBUSSCHE, J., AGHION, P. y MEGHIR, C. (2006) Growth, distance to frontier and composition of human capital. *J Econ Growth*. Vol. 11 (2). Pag. 97-127.
- VOGEL, J. (2015). *The two faces of R&D and human capital: Evidence Western European regions*. *Papers in Regional Science*, Wiley Blackwell. Vol. 94 (3). Pag. 525-551.
- WANG, J., LIU, X., WEI, Y. y WANG, C. (2014). *Cultural Proximity and Local Firms catch up with Multinational Enterprises*. *World Development*. Vol. 60. Pag. 1-13.
- WEIL, D. N. (2006). *Crecimiento Económico*. Madrid. Pearson Addison Wesley.
- WINDMEIJER, F. (2005). *A finite sample correction for the variance of linear efficient two-step GMM estimators*. *Journal of Econometrics*. Vol. 126. Pag. 25-51.
- WOERZ, J. F. (2009). *Non-linear panel estimation of import quotas: The evolution of quota premiums under ATC*. *Journal of International Economics*. Vol. 78 (2). Pag. 181-189.
- WOLFF, E. N. (2011). *Spillovers, Linkages, and Productivity Growth in the US Economy, 1958 to 2007*. NBER Working Paper, N° 16864.
- WOOLDRIDGE, J. (2010). *Econometric analysis of cross section and panel data*. London: The MIT Press.
- YOUNG-JIN R., WONKYU, K. y JIN-WOONG, K. (2013) *The Spillover Effect between Productivity of SMEs and Large Firms* KIET Occasional Paper, N° 93.
- ZHANG, J., JIANG, C. y WANG, P. (2014). *Total Factor Productivity and China's Miraculous Growth: An Empirical Analysis*.
- ZHANG, W. (2020). *The Dynamic Correlation Between Capital Deepening and Total Factor Productivity in China*. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*. Vol. 24 (4). Pag. 524-531.
- ZWEIMÜLLER, J. y BRUNNER, J. K. (2005). *Innovation and Growth with Rich and Poor consumers*. *Metroeconomica*. Vol. 56 (2). Pag. 233-262.

# Anexo

## A.1. Países de la muestra para la regresión del capital fijo (118)

Alemania/ Angola/ Arabia Saudí/ Argentina/ Armenia/ Aruba/ Australia/ Austria/ Bahrein/ Barbados/ Bélgica/ Benín/ Bolivia/ Botsuana/ Brasil/ Bulgaria/ Burkina Faso/ Burundi/ Cabo Verde/ Camerún/ Canadá/ Chile/ China/ Chipre/ Colombia/ Comoras/ Corea del Sur/ Costa de Marfil/ Costa Rica/ Croacia/ Dinamarca/ Ecuador/ Egipto/ Eslovenia/ España/ Estados Unidos/ Estonia/ Filipinas/ Finlandia/ Fiyi/ Francia/ Gabón/ Grecia/ Guatemala/ Honduras/ Hong Kong/ Hungría/ India/ Indonesia/ Irán/ Iraq/ Irlanda/ Islandia/ Israel/ Italia/ Jamaica/ Japón/ Jordania/ Kazajistán/ Kenia/ Kirguistán/ Kuwait/ Laos/ Lesoto/ Letonia/ Lituania/ Luxemburgo/ Macao/ Malasia/ Malta/ Marruecos/ Mauricio/ Mauritania/ Méjico/ Moldavia/ Mongolia/ Mozambique/ Namibia/ Nicaragua/ Níger/ Nigeria/ Noruega/ Nueva Zelanda/ Países Bajos/ Panamá/ Paraguay/ Perú/ Polonia/ Portugal/ Qatar/ Reino Unido/ Republica Checa/ República Dominicana/ República Eslovaca/ Ruanda/ Rumania /Rusia /Senegal/ Serbia/ Sierra Leona/ Singapur/ Sri Lanka/ Sudáfrica/ Sudán/ Suecia/ Suiza/ Tailandia/ Taiwán/ Tanzania/ Tayikistán/ Togo/ Trinidad Tobago/ Túnez/ Turquía/ Ucrania/ Uruguay/ Venezuela/ Zambia/ Zimbabue

## A.2. Gráfico de correlación entre las importaciones por trabajador y el capital físico por trabajador.



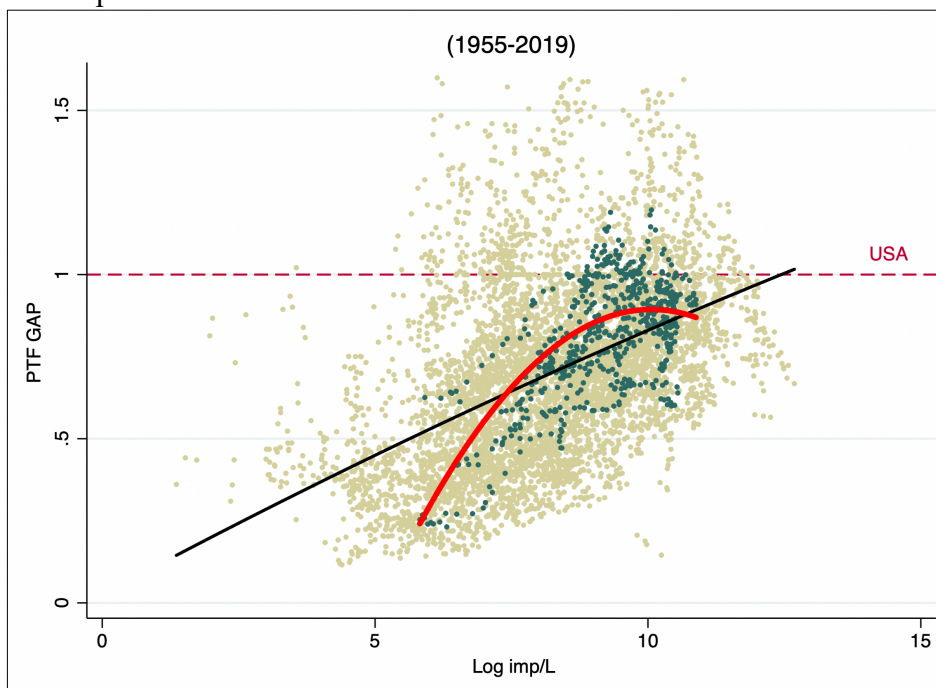
Nota: la línea de regresión negra corresponde a la muestra de los 118 países, mientras que la línea roja representa a las diez mayores economías de la OCDE. Elaboración propia con datos de PWT.

A.3. Tabla con los resultados del análisis de regresión de las importaciones por trabajador FEM.

Var. Dep.	(1955-1975)		(1976-2000)		(2001-2019)		TOTAL	
	Total	10 Países	Total	10 Países	Total	10 Países	Total	10 Países
<b>(PTF GAP)</b>								
<b>Log imp</b>	-0,04 (0,07)	-0,13 (0,17)	0,06 (0,06)	0,27 (0,74)	0,28 *** (0,08)	1,66 (0,91)	-0,04 (0,03)	0,75 *** (0,13)
<b>Log imp<sup>2</sup></b>	0,01 * (0,005)	0,01 (0,01)	0,001 (0,003)	-0,01 (0,04)	-0,01 *** (0,005)	-0,08 * (0,11)	0,004 * (0,002)	-0,04 *** (0,008)
<b>Log h/L</b>	-	-	-	-0,54 (0,35)	-	0,44 (0,52)	-	-0,89 *** (0,20)
<b>Cte.</b>	0,45 (0,29)	0,57 (0,62)	0,29 (0,23)	3,82 (5,21)	-0,66 * (0,35)	-1,23 (0,57)	0,08 *** (0,12)	4,32 *** (1,59)
<b>Países</b>	88	10	118	10	118	10	118	10
<b>Obs.</b>	1468	208	2585	245	2107	190	6277	643
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,12	0,19	0,11	0,51	0,27	0,20	0,19	0,59

Nota: Coeficiente con significatividad estadística al [\*10 %]; al [\*\*5 %]; al [\*\*\*1 %]. Error estándar robusto entre paréntesis. Elaboración propia.

A.4. Relación entre la distancia a la frontera tecnológica y las importaciones por trabajador en los países.



Nota: la línea de regresión negra corresponde a la muestra de los 118 países, mientras que la línea roja representa a las diez mayores economías de la OCDE. Elaboración propia con datos de PWT.

#### A.5. Muestra de 123 países por nivel de ingresos

##### Países de Ingreso Alto:

---

Alemania/ Arabia Saudí/ Argentina/ Australia/ Austria/ Brunei/ Bélgica/ Canadá/ Chile/ Chipre/ Corea del Sur/ Croacia/ Dinamarca/ Emiratos Árabes Unidos/ Eslovenia/ España/ Estados Unidos/ Estonia/ Finlandia/ Francia/ Grecia/ Hungría/ Irlanda/ Islandia/ Israel/ Italia/ Japón/ Kuwait/ Letonia/ Lituania/ Luxemburgo/ Malta/ Noruega/ Nueva Zelanda/ Omán/ Panamá/ Países Bajos/ Polonia/ Portugal/ Qatar/ Reino Unido/ República Checa/ República Eslovaca/ Singapur/ Suecia/ Suiza/ Trinidad y Tobago/ Uruguay.

---

##### Países de Ingreso Medio-Alto:

---

Albania/ Argelia/ Armenia/ Azerbaiyán/ Bosnia/ Botsuana/ Brasil/ Bulgaria/ China/ Colombia/ Costa Rica/ Ecuador/ Rusia/ Gabón/ Guatemala/ Irán/ Jamaica/ Jordania/ Kazajistán/ Macedonia del Norte/ Malasia/ Mauricio/ Montenegro/ Méjico/ Namibia/ Paraguay/ Perú/ Rumania/ Serbia/ Sudáfrica/ Tailandia/ Turquía/ Venezuela.

---

##### Países de Ingreso Medio-Bajo:

---

Bolivia/ Cabo Verde/ Camboya/ Camerún/ Egipto/ El Salvador/ Filipinas/ Georgia/ Ghana/ Honduras/ India/ Indonesia/ Kenia/ Kirguistán/ Lesoto/ Marruecos/ Mongolia/ Myanmar/ Nicaragua/ Nigeria/ Pakistán/ Moldavia/ Sri Lanka/ Sudán/ Túnez/ Ucrania/ Uzbekistán/ Vietnam/ Zambia.

---

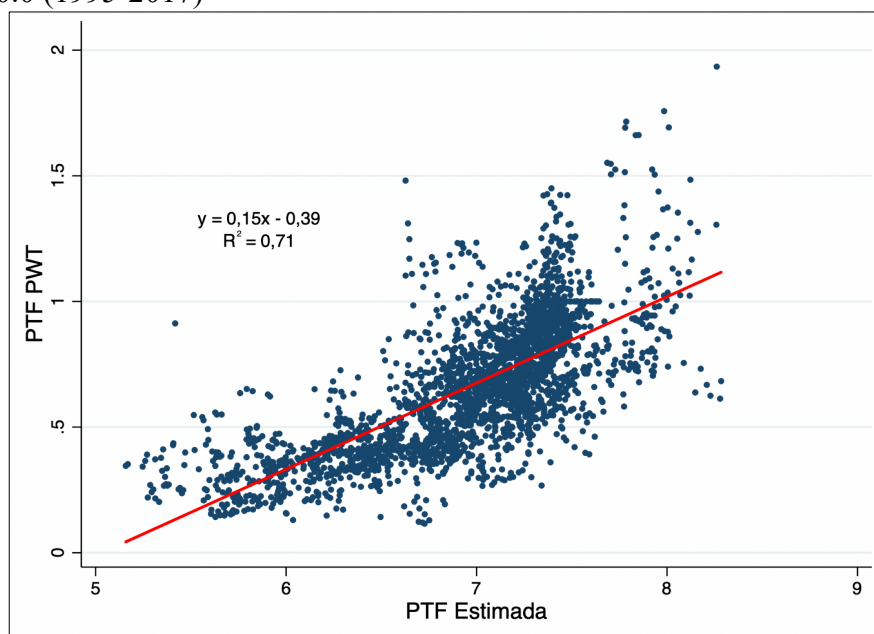
##### Países de Ingreso Bajo:

---

Burkina Faso/ Burundi/ R. D. del Congo/ Madagascar/ Mali/ Mozambique/ Nepal/ Níger/ Senegal/ Tanzania/ Tayikistán/ Togo/ Uganda.

---

A.6. Gráfico de correlación entre la PTF estimada y la ofrecida por la base de datos PWT v.10.0 (1995-2017)



Fuente: elaboración propia.

A.7. Medias de las variables por países (1995-2017)

PAÍS	$\Delta$ PTF	PTF GAP	I+D	H
Albania	0,0064	1,1159	0,1207	9,1590
Alemania	0,0073	1,0220	2,5698	12,7636
Arabia Saudí	-0,0215	0,9482	0,3492	8,0090
Argelia	-0,0168	1,0437	0,2593	6,7818
Argentina	0,0003	1,0330	0,4893	9,2954
Armenia	0,0444	1,1618	0,2417	11,0363
Australia	0,0046	1,0473	1,9716	12,1863
Austria	0,0083	1,0337	2,4146	10,6045
Azerbaiyán	0,0159	1,1141	0,2578	10,5863
Bélgica	0,0015	1,0192	2,0406	10,8000
Bolivia	0,0008	1,1339	0,2811	7,7090
Bosnia	-0,0002	1,0734	0,1249	7,9055
Botsuana	0,0003	1,0905	0,4414	8,3409
Brasil	0,0075	1,1080	1,1055	6,4636
Brunei	-0,0102	0,9342	0,0237	9,5954
Bulgaria	-0,0382	1,0622	0,5586	10,3954
Burkina Faso	0,0174	1,2466	0,2451	1,3555
Burundi	-0,0073	1,2761	0,1516	2,3363
Cabo Verde	0,0106	1,2113	0,0726	4,8722
Camboya	0,0143	1,2344	0,0840	3,8318
Camerún	0,0001	1,2268	0,0928	5,2727
Canadá	0,0016	1,0398	1,8163	12,0863
Chile	0,0076	1,0519	0,3586	9,5000

<b>China</b>	0,0374	1,2209	1,3944	6,9500
<b>Chipre</b>	0,0079	1,0590	0,3843	10,9045
<b>Colombia</b>	0,0075	1,1099	0,2090	7,0954
<b>Corea del Sur</b>	0,0218	1,0706	3,0913	11,2909
<b>Costa Rica</b>	0,0095	1,0987	0,4257	8,1863
<b>Croacia</b>	0,0090	1,0496	0,8560	10,0636
<b>Dinamarca</b>	0,0039	1,0339	2,6064	12,1227
<b>Ecuador</b>	-0,0020	1,1284	0,2097	7,6045
<b>Egipto</b>	0,0023	1,0265	0,3847	5,8409
<b>El Salvador</b>	0,0093	1,1283	0,0923	5,9636
<b>Emiratos Árabes Unidos</b>	-0,0338	0,9836	0,7596	9,2636
<b>Eslovaquia</b>	0,0203	1,0569	0,6926	11,3000
<b>Eslovenia</b>	0,1531	1,0530	1,7228	11,7772
<b>España</b>	0,0024	1,0339	1,1048	8,9636
<b>Estados Unidos</b>	0,0063	1,0000	2,6379	12,9909
<b>Estonia</b>	0,1232	1,0612	1,1963	12,0727
<b>Filipinas</b>	0,0113	1,1372	0,1225	8,4909
<b>Finlandia</b>	0,0057	1,0366	3,1905	11,1318
<b>Francia</b>	0,0028	1,0287	2,1548	10,4863
<b>Gabón</b>	-0,0169	1,0320	0,5021	7,0363
<b>Georgia</b>	0,0053	1,1529	0,2514	12,2500
<b>Ghana</b>	0,0483	1,1806	0,3040	6,4818
<b>Grecia</b>	0,0139	1,0303	0,6870	9,6727
<b>Guatemala</b>	0,0056	1,1072	0,0456	4,4590
<b>Honduras</b>	0,0079	1,2045	0,0372	5,0545
<b>Hungría</b>	0,0094	1,0341	1,0158	11,1363
<b>India</b>	0,0232	1,1819	0,7643	5,0590
<b>Indonesia</b>	0,0548	1,1494	0,1267	7,0863
<b>Irán</b>	-0,0016	1,0369	0,4574	7,9409
<b>Irlanda</b>	0,0107	1,0225	1,2794	11,5409
<b>Islandia</b>	0,0107	1,0225	1,2794	11,5409
<b>Israel</b>	0,0084	1,0362	3,9285	12,3954
<b>Italia</b>	0,0023	1,0088	1,1484	9,2954
<b>Jamaica</b>	-0,0009	1,1475	0,0550	8,3454
<b>Japón</b>	0,0097	1,0616	3,1131	11,4000
<b>Jordania</b>	0,0166	1,0600	0,4964	9,7909
<b>Kazajistán</b>	0,0181	1,0731	0,2042	11,1500
<b>Kenia</b>	-0,0058	1,1879	0,5704	5,7818
<b>Kirguistán</b>	0,0115	1,2217	0,1732	10,2318
<b>Kuwait</b>	-0,0328	0,9558	0,1509	6,4681
<b>Lesoto</b>	0,0054	1,2387	0,0378	5,45
<b>Letonia</b>	0,0141	1,0740	0,5057	11,4772
<b>Lituania</b>	0,0157	1,0392	0,7590	11,6045
<b>Luxemburgo</b>	0,0034	0,9559	1,4727	11,1863
<b>Macedonia del Norte</b>	-0,0066	1,0689	0,3102	8,5444
<b>Madagascar</b>	-0,0187	1,2159	0,1442	5,7888
<b>Malasia</b>	0,0194	1,0473	0,8506	8,9909

<b>Mali</b>	-0,0044	1,1929	0,3523	1,7136
<b>Malta</b>	0,0172	1,0178	0,5716	9,5409
<b>Marruecos</b>	0,0085	1,1388	0,5598	4,0590
<b>Mauricio</b>	0,0231	1,0995	0,3197	7,5818
<b>Méjico</b>	-0,0011	1,0719	0,4138	7,6636
<b>Moldavia</b>	0,0204	1,2070	0,4558	10,3818
<b>Mongolia</b>	0,0455	1,1220	0,2219	8,9909
<b>Montenegro</b>	-0,0097	1,0619	0,6866	10,9600
<b>Mozambique</b>	-0,0090	1,3325	0,3577	2,8272
<b>Myanmar</b>	0,0248	1,1847	0,0736	3,8227
<b>Namibia</b>	0,0011	1,1066	0,2408	6,1000
<b>Nepal</b>	-0,0096	1,2356	0,2052	3,2136
<b>Nicaragua</b>	0,0027	1,1900	0,0841	5,6954
<b>Níger</b>	0,0014	1,3541	0,2123	1,3772
<b>Nigeria</b>	0,0095	1,1077	0,2189	5,5333
<b>Noruega</b>	0,0009	1,0219	1,6698	12,3909
<b>Nueva Zelanda</b>	0,0033	1,0522	1,1414	11,8681
<b>Omán</b>	-0,0418	0,9680	0,2076	7,6777
<b>Países Bajos</b>	0,0047	1,0266	1,8381	11,5590
<b>Pakistán</b>	0,0110	1,0955	0,2705	4,2318
<b>Panamá</b>	0,0158	1,0988	0,2327	9,0954
<b>Paraguay</b>	0,0042	1,1335	0,0876	7,1681
<b>Perú</b>	0,0072	1,1291	0,1041	8,4227
<b>Polonia</b>	0,0143	1,0426	0,7110	11,5909
<b>Portugal</b>	0,0100	1,0474	1,0342	7,7318
<b>Qatar</b>	-0,0214	0,9672	0,4941	8,6409
<b>R.D. del Congo</b>	-0,0249	1,3312	0,1556	4,7045
<b>Reino Unido</b>	0,0042	1,0251	1,6250	12,3454
<b>República Checa</b>	0,0140	1,0558	1,3547	11,6863
<b>Rumania</b>	0,0204	1,0750	0,4576	10,3090
<b>Rusia</b>	0,0186	1,0531	1,0904	11,4227
<b>Senegal</b>	-0,0013	1,1443	0,5537	2,4136
<b>Serbia</b>	0,0144	1,0913	0,7102	10,1000
<b>Singapur</b>	0,0140	0,9824	2,0261	10,1318
<b>Sri Lanka</b>	0,0154	1,1131	0,1382	10,4272
<b>Sudáfrica</b>	-0,0001	1,0611	0,7850	9,2272
<b>Sudán</b>	-0,0050	1,1309	0,3969	2,9227
<b>Suecia</b>	0,0064	1,0390	3,3766	11,9863
<b>Suiza</b>	0,0081	1,0342	2,7866	12,3136
<b>Tailandia</b>	0,0288	1,1117	0,3028	6,8818
<b>Tanzania</b>	0,0053	1,2209	0,4164	4,8681
<b>Tayikistán</b>	0,0486	1,1695	0,0947	10,6272
<b>Togo</b>	-0,0099	1,2419	0,2495	4,2454
<b>Trinidad y Tobago</b>	0,0147	1,0740	0,0870	10,0409
<b>Túnez</b>	0,0106	1,0693	0,6640	5,9136
<b>Turquía</b>	0,0130	1,0548	0,6572	6,4045
<b>Ucrania</b>	0,0185	1,1360	0,8679	10,9545

<b>Uganda</b>	0,0156	1,2329	0,3113	4,7454
<b>Uruguay</b>	0,0168	1,0728	0,3240	8,1909
<b>Uzbekistán</b>	0,0000	1,1551	0,2345	10,3944
<b>Venezuela</b>	-0,0078	1,0826	0,2327	7,9954
<b>Vietnam</b>	0,0164	1,2162	0,3448	6,6727
<b>Zambia</b>	0,0000	1,2279	0,0510	6,4000

Fuente: Elaboración propia con datos del BM y Unesco.

#### A.8. Países de la muestra para la regresión de competencia y desigualdad (84)

Albania/ Alemania/ Argentina/ Armenia/ Australia/ Austria/ Bélgica/ Bolivia/ Brasil/ Bulgaria/ Burkina Faso/ Canadá/ Chile/ China/ Chipre/ Colombia/ Corea del Sur/ Costa Rica/ Croacia/ Dinamarca/ Ecuador/ Egipto/ El Salvador/ Eslovenia/ España/ Estados Unidos/ Estonia/ Filipinas/ Finlandia/ Francia/ Georgia/ Grecia/ Guatemala/ Honduras/ Hungría/ India/ Indonesia/ Irán/ Irlanda/ Islandia/ Israel/ Italia/ Japón/ Jordania/ Kazajistán/ Kirguistán/ Letonia/ Lituania/ Luxemburgo/ Malasia/ Malasia/ Malta/ Marruecos/ Méjico/ Mongolia/ Nicaragua/ Nigeria/ Noruega/ Países Bajos/ Pakistán/ Panamá/ Paraguay/ Perú/ Polonia/ Portugal/ Reino Unido/ República Checa/ Moldavia/ República Eslovaca/ Rumania/ Rusia/ Serbia/ Sri Lanka/ Sudáfrica/ Suecia/ Suiza/ Tailandia/ Togo/ Túnez/ Turquía/ Ucrania/ Uruguay/ Vietnam/ Zambia.

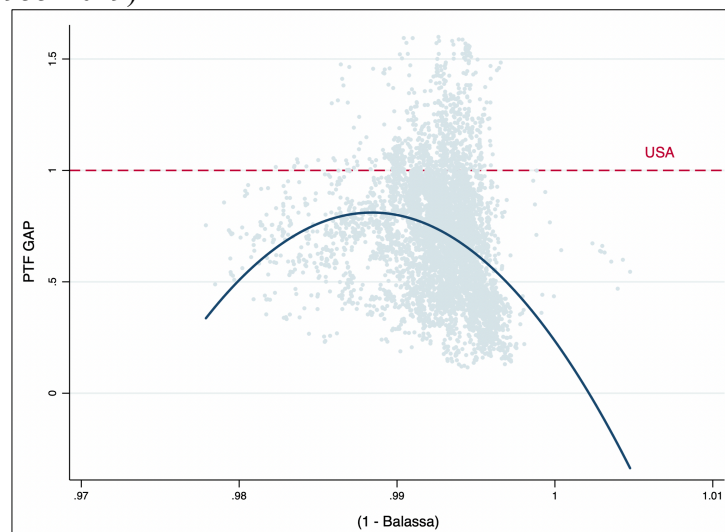
#### A.9. Resultados de la regresión de competencia y desigualdad por niveles de ingreso en los países

Var. Dep.	FEM		
	Ingreso Medio-Bajo	Ingreso Medio-Alto	Ingreso Alto
<b>(PTF GAP)</b>			
<b>Competencia</b>	0,294 ** (0,117)	1,88 *** (0,320)	0,685 ** (0,288)
<b>Competencia<sup>2</sup></b>	-0,015 ** (0,006)	-0,010 *** (0,001)	-0,004 ** (0,001)
<b>Gini</b>	-0,058 *** (0,008)	-0,077 *** (0,013)	-0,021 ** (0,010)
<b>Gini<sup>2</sup></b>	0,0006 *** (0,0001)	0,0007 *** (0,0001)	-0,0003 *** (0,0001)
<b>I+D<sub>t-1</sub></b>	0,091 *** (0,028)	-0,100 (0,063)	-0,049 (0,029)
<b>H<sub>t-1</sub></b>	0,043 ** 0,015	0,024 (0,021)	-0,012 (0,012)
<b>Apertura</b>	0,0009 (0,0006)	-0,0007 (0,0008)	-0,0008 (0,0005)

<b>Constante</b>	1,382 ** (0,106)	0,772 *** (0,014)	2,563 ** (1,092)
<b>Países</b>	15	24	38
<b>Observaciones</b>	94	220	407
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0,08	0,04	0,09

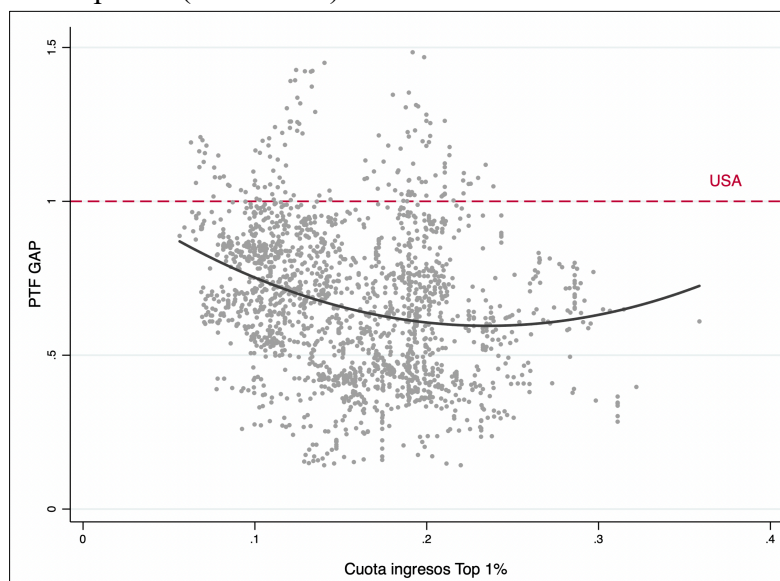
Nota: Coeficientes con significatividad estadística al [\*10%]; al [**\*\*5%**]; al [**\*\*\*1%**]. Error estándar robusto entre paréntesis. Elaboración propia.

#### A.10. Relación entre la distancia a la frontera tecnológica y el grado de competencia en los países (1955-2019)



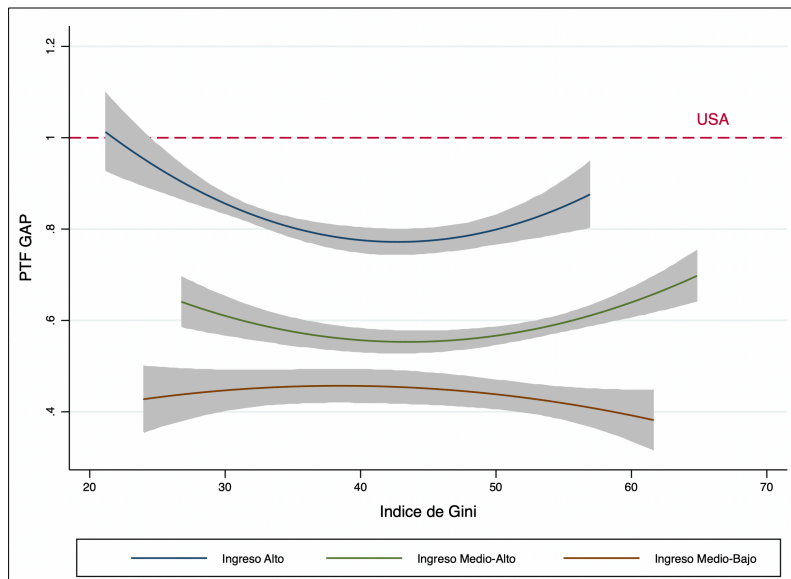
Nota: (1 - Balassa) es la resta de uno menos la proporción de exportaciones de cada país respecto a las exportaciones mundiales. Elaboración propia con datos de PWT.

#### A.11. Relación entre la distancia a la frontera tecnológica y la cuota de ingresos del 1 % más rico en los países (2000-2019)



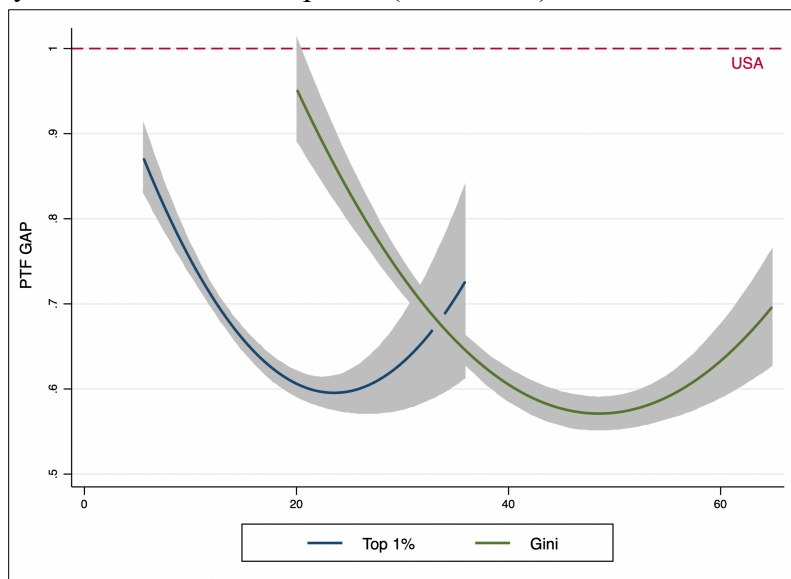
Fuente: Elaboración propia con datos de PWT y WID.

A.12. Relación entre la distancia a la frontera tecnológica y la desigualdad por niveles de ingreso en los países (2000-2019)



Nota: Las zonas grisáceas representan un intervalo estadístico de confianza del 95%. Elaboración propia con datos de PWT y Banco Mundial.

A.13. Relación entre la distancia a la frontera tecnológica, la cuota de ingresos del 1 % más rico y el índice Gini en los países (2000-2019)



Nota: Las zonas grisáceas representan un intervalo estadístico de confianza del 95%. Elaboración propia con datos de PWT, Banco Mundial y WID.



© Iván Escudero Sánchez  
escudero.sanchez.ivan@gmail.com