

UNIVERSIDAD DE BARCELONA. FACULTAD DE ECONOMÍA Y EMPRESA

TRABAJO FINAL DE GRADO

**Impacto de la inversión en I+D en el crecimiento económico:
estudio econométrico para las regiones europeas**

Estudiante: Alfred Ollè Fernández.

Tutora: Dra. Esther Vayá Valcarce

Barcelona, 16 de junio de 2017.

*El progreso sólo viene a través de la practica constante. Acumula y permanece fiel a ti mismo.
No esperes enseñanzas secretas, no te llevarán a ninguna parte.*

MORIHEI UESHIBA.

Resumen

Los modelos de crecimiento endógeno predicen que para que exista crecimiento económico constante tiene que existir progreso tecnológico continuo, ya que es a través del progreso tecnológico cómo se mejoran los factores productivos una vez llegamos al capital de estado estacionario.

En el presente trabajo se analizará la importancia del progreso tecnológico a partir de cómo la inversión en Investigación y Desarrollo (I+D) de las regiones europeas ha afectado a su crecimiento. Para este análisis primero se explicará de manera teórica a partir de los modelos de crecimiento exógeno y endógeno la importancia del progreso tecnológico.

Seguidamente se plantearán varios modelos de regresión lineal múltiple que nos servirán para contestar a las siguientes preguntas:

1. ¿Existe una correlación positiva entre inversión en I+D y crecimiento económico?
2. ¿Afecta de igual manera al crecimiento económico la inversión en I+D que realiza el sector privado, el gobierno y las universidades?
3. ¿Ha existido convergencia en las regiones europeas para el período 2005-2015?
4. ¿El comportamiento de las regiones ricas ha sido el mismo que el de las regiones pobres en Europa?
5. ¿La inversión en I+D que hacen unas regiones afecta al crecimiento de sus regiones vecinas? Es decir ¿existe una externalidad espacial del I+D?

Una vez estudiados los resultados de dichas regresiones se terminará concluyendo que sí existe una relación positiva entre inversión en I+D y crecimiento económico, así como una externalidad espacial en términos de la inversión en I+D.

El último apartado de este trabajo tratará, pues, de cómo la administración puede usar sus herramientas de política económica e industrial para fomentar la inversión del sector privado, ya sea mediante subvenciones o creando un clima que favorezca los proyectos de innovación.

Palabras clave:

Crecimiento económico, progreso tecnológico, modelo de crecimiento exógeno, modelo de crecimiento endógeno, inversión en Investigación y Desarrollo (I+D), Convergencia, externalidades de la I+D, políticas económicas.

Abstract

The models of endogenous growth predict that for there to be constant economic growth there must be continuous technological progress, since it is through technological progress that productive factors are improved once we reach steady state capital.

In this paper, the importance of technological progress will be analyzed, based on how R&D investment of European regions has affected its economic growth.

For this analysis, the importance of technological progress will first be explained theoretically from the exogenous and endogenous growth models. Then, several linear regression models will be conducted in order to answer the following questions:

1. Is there a positive correlation between R&D investment and economic growth?
2. Does the private sector, government and universities invest in R&D in the same way as economic growth?
3. Has there been convergence in the European regions for the period 2005-2015?
4. Has the behavior of rich regions been the same as the behavior of poor regions in Europe?
5. Does R&D investment made by some regions affect the economic growth of its neighboring regions? In other words, is there R&D spatial externality?

Once the results of these regressions have been analyzed, the conclusive results will confirm that there is a positive relationship between R&D investment and economic growth.

The final section of this paper will focus on how the administration can use economic and industrial policy tools to encourage private sector investment, either through subsidies or by creating an environment that favors innovation projects.

Keywords:

Economic growth, technological progress, exogenous growth model, endogenous growth model, investment in research and development (R & D), convergence, R & D externalities, economic policies.

Introducción	9
1. La importancia del progreso tecnológico.....	11
1.1 La productividad y los factores de producción.	11
1.2 El modelo neoclásico.....	12
1.3 La tasa de crecimiento a lo largo del tiempo.	14
1.4 El progreso tecnológico en el modelo de crecimiento exógeno.....	15
1.5 Modelos de crecimiento endógeno	16
1.6 Crecimiento económico y esfuerzo tecnológico.	17
1.7 Learning by doing & Knowledge spillovers (Externalidades de la I+D).	18
2. Convergencia.....	20
2.1 Convergencia condicional.	21
3. Análisis estadístico y econométrico.	22
3.1 Descripción de las variables.	22
3.2 Análisis de la distribución espacial de las variables principales.....	24
3.3 Análisis de la existencia de β -convergencia	27
3.4 Primera regresión.....	28
3.5 Inversión en I+D desagregada por sectores.	31
3.6 Análisis de cambio estructural.	34
4. Externalidades de la I+D.....	40
4.1Análisis Exploratorio.....	40
4.2Análisis confirmatorio.	47
5. Políticas económicas para promover la I+D+i.	54
5.1 Subvenciones.....	55
5.2 Políticas a favor del capital-riesgo.....	58
5.3 Políticas de capital humano.	58
5.4 Protección a de la propiedad intelectual: las patentes.....	59
6.Conclusiones.	61
7. Bibliografía	63
8. Anexo: Análisis de la externalidad de la I+D usando una matriz de distancia.	64
8.1 Análisis exploratorio.....	64
8.2 Análisis confirmatorio	71

Introducción.

El crecimiento económico ha sido uno de los principales tópicos de interés en la historia del pensamiento económico. Ya los primeros autores de la “ciencia” económica, los mercantilistas (con permiso de los escolásticos), mostraban su preocupación de cómo podían aumentar la riqueza nacional. Así pues ha sido un tema de debate y de estudio en todas las épocas de la historia económica y de sus autores, empezando por los mercantilistas, seguido de los fisiócratas con su idea principal del *laissez faire, laissez passer* como base para el crecimiento de la productividad de la agricultura, las teorías de crecimiento económico de Adam Smith, las visiones pesimistas sobre el crecimiento a largo plazo de Malthus y Ricardo, Incluso en el libro El Capital, de Karl Marx se habla de cómo el sistema capitalista, a través de la acumulación de capital y el progreso tecnológico, llevará a la sociedad a alcanzar el nivel de productividad suficiente para la transición a través de una revolución social donde se socializarán los sistemas de producción para llegar a un sistema comunista.

En el pasado y presente siglo, aunque el tema ha pasado en algunos momentos a segundo plano, no se ha dejado de presentar nuevas teorías y aportaciones, desde las aportaciones de corte keynesiano de Harrod y Domar hasta las más recientes teorías de crecimiento exógeno que han aportado autores como Robert Solow y Trevor Swan y las teorías de crecimiento endógeno con principales autores como Ramsey, Lucas o Barro, entre los más importantes.

Una de las ventajas del pasado y del presente siglo frente a los autores clásicos ha sido la evolución y el desarrollo de nuevas herramientas para el análisis económico, como las matemáticas, la estadística y recientemente los nuevos sistemas de procesamiento de información. Dichas herramientas han permitido a los nuevos autores la creación de modelos que permitían explicar el crecimiento de la productividad, y consecuentemente el crecimiento económico, a partir de análisis empíricos. A partir de estos modelos se han podido realizar estudios sobre el crecimiento en diversos países y una de las principales conclusiones a las que se ha llegado es que las aportaciones del factor de trabajo y de capital no llegan a explicar el 50% del crecimiento. El *resto* ha resultado ser un enigma, aunque las primeras ideas o intuiciones que se le atribuyen son debidos a cambios organizativos y cambios técnicos o tecnológicos.

Las nuevas aportaciones a las teorías de crecimiento parecen apuntar a los factores que permiten que los rendimientos del factor capital sean crecientes para explicar el crecimiento económico. El conocimiento parece ser un factor decisivo y es lo que permite que algunos países crezcan más que otros. Este conocimiento puede traducirse en capital humano, definido como los años de formación o el tipo de formación de una persona, y las ideas, que tienen su expresión en forma de patentes y progreso tecnológico. Pero lo más importante acerca del conocimiento es que es acumulativo, es decir, que la inversión del pasado afecta a la del presente, creándose así un círculo virtuoso en el que la inversión estimula el conocimiento y la mejora de los conocimientos estimula la inversión, lo que nos lleva a un proceso de crecimiento acumulativo.

Un aspecto importante a resaltar es que, las nuevas teorías de crecimiento parecen apuntar a que los gobiernos pueden equivocarse al centrar sus esfuerzos en el crecimiento a corto plazo. Estas teorías resaltan la importancia de la educación y de la inversión en I+D y sus efectos no se verán en el corto plazo, sino en el largo plazo.

En el presente trabajo no analizaremos el comportamiento de la variable educación a fondo, aunque sí incorporaremos en el modelo de regresión una variable que la definiremos como porcentaje de población con estudios superiores para analizar su comportamiento como explicativa del crecimiento económico, Sin embargo, nos centraremos en la variable de inversión en I+D desde diferentes puntos de vista.

El principal interés de la Inversión, Desarrollo e Innovación (I+D+i) es el análisis sobre los efectos en la productividad y el crecimiento. Cuando analizamos estas variables podemos hacerlo desde dos puntos de vista, la macroeconómica y la microeconómica.

Los enfoques macroeconómicos se han centrado en cómo el progreso tecnológico ha afectado al crecimiento económico, aunque también se han tenido en cuenta otras variables como el comercio exterior o el empleo. Las teorías de crecimiento endógeno han destacado la importancia del progreso tecnológico como factor fundamental en el crecimiento económico. En estas teorías se incorpora en los modelos de crecimiento exógeno el análisis del esfuerzo tecnológico como variable explicativa del aumento de la productividad y del crecimiento, apoyado por los estudios empíricos realizados.

En los enfoques microeconómicos, propios de la Economía Industrial, se analizan las decisiones de los agentes individuales sobre la asignación de los recursos a la innovación y sobre los efectos de la introducción de estos nuevos productos o procesos sobre distintas variables como la productividad o la competitividad. Al final del trabajo se incorpora un pequeño análisis de cómo las políticas económicas e industriales pueden afectar positivamente a la inversión en I+D de las empresas, analizado desde un punto de vista microeconómico.

Aunque la inversión en I+D es importante y es una vía fundamental para la generación de nuevos conocimientos existen otras maneras de adquisición de los mismos como la importación y exportación de tecnología, la formación o los procesos de aprendizaje (learning by doing o learning by using). Estas externalidades de la I+D, conocidas como Knowledge Spillovers, también son un factor clave en el análisis de la inversión en I+D como factor explicativo del crecimiento económico. Es por esta razón que se añade en este trabajo un apartado donde se analiza lo que Romer llamaba aprendizaje por la práctica y el desbordamiento de conocimiento. Para esto se realiza un análisis espacial para analizar si la inversión en I+D que hacen las regiones europeas está afectando al crecimiento económico de sus regiones vecinas.

1. La importancia del progreso tecnológico.

1.1 La productividad y los factores de producción.

La productividad, que se define como la cantidad y bienes y servicios que se obtienen por una unidad de factor productivo, ha sido un elemento crucial en el estudio del nivel de vida de los países a largo plazo. Un trabajador puede ser muy productivo por dos factores fundamentales. El primero es su nivel de dotación de conocimientos o habilidades que le permiten sacar más rendimiento a los factores productivos. El segundo factor es el capital del que dispone, es decir, el conjunto de máquinas y herramientas que le permiten ser más productivo. En los dos factores mencionados, que se podrían resumir como capital humano y capital físico, el nivel tecnológico juega un papel fundamental, ya que, en su sentido más amplio, es la forma en la que combinamos los factores productivos. Al analizar el nivel de producción de los países hay que estudiar el nivel de progreso tecnológico de los mismos, ya que es la variable que nos indica su nivel de producción potencial. Los países que tienen un nivel tecnológico más elevado obtendrán más cantidad de producción por factor productivo que los países cuya tecnología es más anticuada.

La función que nos muestra cómo se relaciona la producción y los factores productivos es la función de producción.

$$Y = AF(L, K, H, R)$$

donde Y representa la producción; L la cantidad de trabajo; K la cantidad de capital físico; H el capital humano; R la cantidad de recursos naturales y A es una medida del nivel de tecnología.

Una característica que presenta la función de producción es que en caso de rendimientos constantes a escala si multiplicamos o dividimos cada uno de los factores productivos por una misma cantidad, el resultado final de la producción se multiplicará o se dividirá por el mismo valor. Así, si dividimos todos los factores productivos entre L obtendremos la función de producción en términos por trabajador. La función resultante queda así:

$$\frac{Y}{L} = AF\left(1, \frac{K}{L}, \frac{H}{L}, \frac{R}{L}\right)$$

1.2 El modelo neoclásico.

El desarrollo del modelo neoclásico ha sido obtenido del capítulo uno del libro *Apuntes de crecimiento económico* de SALA I MARTIN, XAVIER.

Los economistas clásicos pensaban que el elemento diferenciador que determinaba el crecimiento económico, partiendo de un nivel de factor trabajo y capital, viene determinado por la intensidad en el uso del factor capital. Se define capital físico como aquellos bienes que se producen para ayudar a producir otros bienes y servicios.

El modelo neoclásico, desarrollado por Robert Solow y Trevor Swan, relaciona las variables de producción total con el uso del factor trabajo y el factor capital. El crecimiento en el modelo de Solow-Swan viene determinado por fuerzas ajenas a la economía. En su forma más básica la función de producción del modelo neoclásico puede definirse por:

$$Y = AF(L, K)$$

donde Y es la producción de la economía en términos reales y K y L son las cantidades de capital y trabajo empleadas en el proceso de producción. Lo importante para nuestro análisis es el factor A , que corresponde al aumento de producción no explicado por los otros dos factores, es un factor residual, que según Solow podría definirse como el nivel de progreso tecnológico de los países. Así pues, la función de producción neoclásica depende del trabajo, del capital y de la situación de la tecnología. Sin embargo, los primeros autores neoclásicos descartaban la idea de que el cambio tecnológico o la tecnología tuvieran efectos sobre la producción, a efectos de modelo. Ellos suponían que el uso de una mayor cantidad de capital por persona empleada aumentaba la producción.

Podemos analizar esta hipótesis a partir de la forma más extendida de la función de producción, la Cobb Douglas:

$$Y = AK^bL^{1-b}$$

Los términos b y $(1-b)$, representan las ponderaciones que corresponden a la contribución de cada factor a la producción total. Es importante mencionar que para que haya rendimientos constantes debe cumplirse:

$$b + (1 - b) = 1; b \geq 0$$

En las estimaciones que hicieron Solow y otros autores se llegó a determinar que el valor de b está alrededor de 0,25, así pues, el uso del factor capital representaría un cuarto del total de la función de producción mientras el uso del factor trabajo las tres cuartas partes restantes. Debido a esto la función de producción neoclásica presenta rendimientos constantes a escala.

En el modelo de Solow, el producto final de la economía se distribuye entre consumo e inversión.

$$F(K, L, A) = C + I$$

Otro supuesto del modelo es que las familias consumen una fracción constante de su renta, por lo tanto, el consumo agregado C se puede escribir como:

$$C = (1 - s)Y$$

donde el término s es la tasa de ahorro, es decir, la fracción de renta que deciden ahorrar los consumidores.

La tasa de ahorro, en el modelo de Solow-Swan es también la tasa de inversión y se puede reescribir la ecuación anterior como:

$$sY = I$$

La inversión se usa para aumentar el stock de maquinaria disponible para una futura producción, lo que se llama inversión neta, y también para sustituir el capital que se deteriora en el proceso productivo, fenómeno que se conoce como depreciación. Visto que la inversión puede dividirse entre aumento del capital y como el proceso de sustitución del capital que se deprecia se puede escribir la siguiente ecuación:

$$I = \dot{K} + D$$

donde \dot{K} es el aumento del capital y D es la depreciación. En el modelo de Solow se simplifica el análisis suponiendo que los bienes de capital se deprecian a una tasa constante δ , por lo que el parámetro D es igual a la tasa de depreciación multiplicado por la cantidad de máquinas existentes, pudiéndose reescribir la ecuación de Inversión como:

$$I = \dot{K} + \delta K$$

Usando estas ecuaciones podemos reescribir la ecuación de producción neoclásica como:

$$F(K, L, A) = C + I = (1 - s)F(K, L, A) + \dot{K} + \delta K$$

Si aislamos el término que describe la tasa de aumento de capital la ecuación queda de la siguiente manera:

$$\dot{K} = sF(K, L, A) - \delta K$$

A partir de aquí hay que hacer mención a que el interés de los determinantes del crecimiento económico no es explicar la tasa de crecimiento del Producto Interior Bruto(PIB) agregado, sino la tasa de crecimiento del PIB per cápita. Es por esta razón que modificaremos la ecuación de arriba para transformarla en términos per cápita usando el supuesto de que el total de la población es también igual al total de trabajadores. Usaremos letras minúsculas para referirnos a variables que han sido divididas por L .

$$\frac{\dot{K}}{L} = \frac{sF(K, L, A)}{L} - \frac{\delta K}{L}$$

Por lo tanto, la ecuación de producción per cápita neoclásica queda:

$$y \equiv f(k, A)$$

O en el caso de la función de producción Cobb Douglas:

$$y \equiv Ak^\alpha$$

Un supuesto adicional es que la población crece a una tasa exógena y constante n , usando este supuesto podemos calcular la tasa de crecimiento del capital por persona como:

$$\frac{\dot{K}}{L} \equiv \frac{d(\frac{K}{L})}{dt} \equiv \dot{k} = \frac{\dot{K}}{L} - nk$$

Y si sustituimos el término $\frac{\dot{K}}{L}$ en de $\frac{\dot{K}}{L} = \frac{sF(K,L,A)}{L} - \frac{\delta K}{L}$ en la ecuación de arriba obtenemos:

$$\dot{k} = sf(k, A) - \delta k - nk$$

Suponiendo un nivel tecnológico constante $A_t = A$ obtenemos la ecuación fundamental del modelo de Solow-Swan:

$$\dot{k} = sf(k, A) - (\delta + n)k$$

O usando la función Cobb Douglas:

$$\dot{k} = sAk^\alpha - (\delta + n)k$$

La importancia de esta ecuación radica en el hecho de que nos describe cómo evolucionará el stock de capital per cápita desde hoy hasta $t = \infty$.

1.3 La tasa de crecimiento a lo largo del tiempo.

Para empezar, señalemos que la producción es una función creciente del capital. Con la función Cobb Douglas como función de producción, la tasa de crecimiento del PIB per cápita es proporcional a la tasa de crecimiento del capital per cápita;

$$\gamma_y \equiv \frac{\dot{y}}{y} = \alpha \frac{\dot{k}}{k} \equiv \alpha \gamma_k$$

También se tiene en cuenta que como el consumo per cápita es proporcional al producto per cápita, tenemos que la tasa de crecimiento del consumo es igual a la tasa de crecimiento de la producción: $\gamma_y = \gamma_c$.

Si dividimos la ecuación fundamental de Solow-Swan por el stock de capital per cápita, k , nos da la tasa de crecimiento del capital:

$$\gamma_k \equiv \frac{\dot{k}}{k} = s \frac{f(k, A)}{k} - (\delta + n)$$

Esta versión de la ecuación fundamental de Solow-Swan nos dice que la tasa de crecimiento del capital per cápita es igual a la diferencia entre el ahorro (e inversión) por unidad de capital y la tasa de depreciación. Cuanto mayor sea la tasa de ahorro, s , mayor será la tasa de crecimiento de la economía. Cuanto mayor sea el nivel tecnológico, A , mayor será el producto, y por lo tanto, mayor será la cantidad de producto ahorrado e invertido. Cuanto mayor sea la tasa de depreciación, menor será la tasa de crecimiento y, por último, cuanto mayor sea la tasa de crecimiento de la población, más reducido será el crecimiento del capital per cápita.

1.4 El progreso tecnológico en el modelo de crecimiento exógeno.

Las conclusiones que se sacan de la ecuación fundamental de Solow-Swan es que la economía tenderá a un estado estacionario k^* . Este estado estacionario estará definido por las diferencias en el tiempo de ahorro y tasa de depreciación. Así países con una mayor tasa de ahorro tendrán k^* más elevados que países con menores tasas de ahorro. La misma analogía, pero a la inversa se puede hacer con la tasa de depreciación. Pero el modelo de Solow-Swan no está explicando el crecimiento a largo plazo ya que un supuesto simplificador del modelo es que el nivel de tecnología es constante para todos los períodos. Pero si nos fijamos en la ecuación fundamental de Solow-Swan, un aumento del parámetro tecnológico A conlleva un aumento del producto obtenido. Al aumentar A , también lo hace la tasa de crecimiento y a su vez la aumenta el capital. En el largo plazo, si no existe un nuevo aumento de A , la economía volverá a converger a un estado estacionario con un stock de capital y de PIB per cápita superior, pero con crecimiento nulo.

Pero a diferencia de la tasa de ahorro, los aumentos de A se pueden repetir indefinidamente, ya que la imaginación humana permitirá mejorar la tecnología una y otra vez, sin límite. El modelo neoclásico es compatible con el crecimiento continuado, pero sólo si existe progreso tecnológico continuo. Si el nivel de la tecnología, A , tuviera una tasa de crecimiento constante pero positiva x , el stock de capital estacionario estaría a cada período aumentando también a una tasa x , de este modo, la tasa de crecimiento de la economía en el estado estacionario es positiva e igual a la tasa de crecimiento de la tecnología, x .

Pero el problema del modelo neoclásico es que el progreso tecnológico debe ser exógeno, es decir, no surge de la inversión en I+D de las empresas o del esfuerzo investigador de nadie, simplemente, aumentaba porque sí, un supuesto simplificador, pero no acorde con la realidad.

El gran fallo del modelo es que dice que la única fuente de crecimiento a largo plazo debe ser el progreso tecnológico, pero el modelo no explica de dónde surge dicho progreso.

1.5 Modelos de crecimiento endógeno

El desarrollo del modelo de crecimiento endógeno ha sido obtenido del capítulo dos del libro *Apuntes de crecimiento económico* de SALA I MARTIN, XAVIER.

Las nuevas teorías de crecimiento le dan importancia a la pregunta de si realmente son decrecientes los rendimientos del capital. La idea que hay detrás de estas nuevas investigaciones es que la inversión en capital, ya sea en bienes de equipo o en personas, permite obtener rendimientos mayores que los que la teoría asignaba a este factor. La razón de esto es que las inversiones no sólo dan lugar a unos rendimientos internos más elevados del capital, sino que al mismo tiempo generan externalidades positivas. Las inversiones mejoran la capacidad productiva de la empresa que las realiza y del trabajador que las emplea, pero además permiten mejorar también la capacidad productiva de otras empresas y trabajadores relacionados.

Existen tres tipos de efectos externos asociados a la incorporación de más capital y más capital por trabajador:

1. Mejoras en la eficiencia del trabajo. En lo que Arrow definió como *learning by doing*. Los avances tecnológicos que incorporan bienes de capital exigen unos niveles de adiestramiento cada vez mayores, pero a su vez, sus introducciones en los procesos de producción favorecen dicho adiestramiento y la formación cualitativa.
2. Las constantes inversiones incrementan el nivel general de conocimientos técnicos de la economía. Cada avance tecnológico exige una capacidad tecnológica más elevada todo lo cual favorece el desarrollo de dicha capacidad.
3. La inversión genera y pone al descubierto nuevas oportunidades para expandir la producción y/o llevar a cabo nuevas inversiones.

Este conjunto de externalidades nos está diciendo que la intensificación del capital impulsa el progreso técnico, o lo que es lo mismo, el progreso tecnológico depende del propio proceso de inversión, lo que la convierte a ésta en un elemento básico para acelerar el aumento de la producción por trabajador. En consecuencia, el progreso tecnológico, no es un factor exógeno respecto al crecimiento como sugieren los primeros modelos de crecimiento exógeno, sino que está ligado al propio crecimiento, es decir, es una variable endógena dentro del modelo.

En las nuevas teorías de crecimiento endógeno se incorporan, a parte del capital y el trabajo, como variables explicativas el capital humano y el progreso tecnológico, de modo que las interrelaciones entre algunos de ellos formen parte de la explicación del crecimiento. La tasa de crecimiento de la economía quedaría así determinada dentro de la propia teoría.

En líneas generales, este tipo de modelos tiene tres peculiaridades:

1. El cambio tecnológico juega un papel importante como motor del crecimiento económico.
2. El stock de capital humano es la fuente impulsora del proceso de progreso tecnológico.
3. La política económica debe influir en el crecimiento a largo plazo.

Al formular una ecuación de producción en el modelo de crecimiento endógeno tenemos que desviarnos de algunos supuestos del modelo neoclásico. El primero es abandonar la función de producción neoclásica. La ecuación más simple pero que introduce un mundo de nuevos cambios es la función de *tecnología AK* y tiene la siguiente forma:

$$Y = AK$$

Si introducimos la nueva función de producción en la ecuación fundamental de Solow-Swan obtenemos:

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

Y si dividimos ambos lados de la ecuación entre k obtenemos que la tasa de crecimiento de k por persona es igual a:

$$\frac{\dot{k}}{k} \equiv \gamma_k = sA - (\delta + n)$$

Esta tasa de crecimiento es constante e igual a la diferencia de dos constantes, en concreto de la tasa de ahorro y de la tasa de depreciación del capital. En el caso que la economía sea suficientemente productiva la tasa de crecimiento será constante y positiva $\gamma_k = \gamma^* = sA - (\delta + n)$. Dado que el PIB per cápita es proporcional a k ($y = Ak$) la tasa de crecimiento será igual a γ^* .

1.6 Crecimiento económico y esfuerzo tecnológico.

El progreso tecnológico que se suele medir como residuo contable, pero empíricamente puede aproximarse por la Productividad Total de los Factores, depende entonces de cinco factores:

1. El esfuerzo tecnológico, que se puede definir cómo el número de investigadores o la inversión realizada en I+D.
2. El avance tecnológico del exterior, que permite imitar sus tecnologías y resulta más importante cuanto más atrasada se encuentra una economía.
3. El coste de la tecnología producida o importada a través de la imitación, medido por el esfuerzo en término de investigadores o de gasto en I+D necesario para mantener un ritmo de crecimiento tecnológico.
4. El nivel de capital humano. Cuanto más elevado mayor es el grado de difusión de las nuevas tecnologías.
5. El marco institucional de protección de la innovación y de estímulo de la difusión de nuevos conocimientos y aplicaciones.

En el equilibrio a largo plazo, si limitamos el análisis a las economías desarrolladas a las que se le supone muy limitada su posibilidad de imitar tecnologías foráneas, la relación entre su esfuerzo tecnológico y progreso tecnológico debería ser mayor.

Sin embargo, en las economías con un bajo nivel de desarrollo el progreso tecnológico debería estar más fundamentado en la imitación tecnológica que en el propio esfuerzo tecnológico, de forma que sus niveles de progreso tecnológico deberían ser superiores a los de su esfuerzo tecnológico.

A partir de estas hipótesis puede esperarse que exista una convergencia de progreso tecnológico entre economías desarrolladas y economías en auge, mientras que las primeras consiguen más progreso tecnológico a partir de su esfuerzo las segundas consiguen lo mismo, pero, mayoritariamente, a partir de la imitación.

1.7 Learning by doing & Knowledge spillovers (Externalidades de la I+D).

Este apartado ha sido desarrollado a partir del capítulo siete del libro *Apuntes de crecimiento económico* de SALA I MARTIN, XAVIER.

Arrow expuso que la adquisición de conocimientos, el aprendizaje, estaba vinculada a la experiencia. Es decir, cuánto más veces se repite una tarea, mejor se hace. Este suceso se llama aprendizaje por la práctica (*learning by doing*). Con esto se consigue que el coste marginal disminuya cuando aumenta la experiencia acumulada. La curva de aprendizaje muestra una relación negativa existente entre los costes y la experiencia acumulada en la producción. Uno de los factores determinantes de esta curva se refiere a las invenciones y a las mejoras en los equipos y procesos de información. Arrow también defendía el hecho de que una buena medida del aumento de la experiencia es la inversión ya que a cada máquina nueva que es producida y puesta en funcionamiento es capaz de modificar el entorno en el que tiene lugar la producción, por lo que el aprendizaje recibe continuamente nuevos estímulos.

Para entender el efecto que puede tener las externalidades en la inversión en I+D vamos a suponer que la función de producción de una empresa depende de tres factores: capital K , trabajo L y tecnología A , además supondremos que la tecnología es potenciadora del trabajo:

$$Y_{jt} = f(K_{jt}, A_{jt} L_{jt})$$

Para introducir los supuestos de que hace Arrow vamos a suponer que la tecnología crece de forma paralela a la inversión, lo que implica que la experiencia puede medirse como el stock de capital para simular el efecto del aprendizaje por la práctica.

Para calcular el efecto del desbordamiento tecnológico vamos a suponer que una vez se inventa una tecnología se esparce por toda la economía sin que su inventor, ya sea una empresa o una persona, pueda hacer nada para remediarlo. Es decir, que si una empresa ha

aumentado su nivel de conocimientos todas las empresas tienen acceso a los mismos. Por lo que $A_{jt} = A_t$, donde A_t es el nivel de conocimiento agregado de la economía.

Juntando estos dos supuestos el stock de conocimientos de la economía crecerá de forma paralela a la cantidad total de inversión, de modo que $\dot{A}_t = \kappa_t$, donde κ_t es el capital agregado. Si integramos la inversión y el incremento experimentado por el conocimiento desde el principio de los tiempos hasta el presente tenemos:

$$A_t = \int_{-\infty}^t I(s) ds = \kappa_t$$

Si incorporamos esta expresión en la función de producción de una empresa que usa una tecnología Cobb-Douglas la función de producción queda como:

$$Y_{jt} = f(K_{jt}, \kappa_t L_{jt}) = K_{jt}^\alpha (\kappa_t L_{jt})^{1-\alpha}$$

Esta función de producción presenta rendimientos constantes a escala cuando κ_t permanece constante, pero si cada empresa aumenta su capital K , entonces el capital agregado κ_t también aumentará en la misma medida dado que κ_t es la suma de todas las K individuales desde $t = -\infty$ hasta t . De esto se concluye que existen rendimientos constantes de capital a nivel agregado, lo cual permite generar crecimiento endógeno. La suma de los efectos del aprendizaje por la práctica y el efecto desborde de conocimiento ha permitido pasar de un modelo neoclásico a un modelo AK de crecimiento endógeno.

2. Convergencia

El desarrollo del presente apartado ha sido desarrollado a partir del capítulo diez del libro *Apuntes de crecimiento económico* de SALA I MARTIN, XAVIER.

Una de las diferencias entre los modelos de crecimiento exógeno y endógeno es que predicen diferentes consecuencias en lo que se refiere a la convergencia. Los teóricos del crecimiento endógeno predicen que el supuesto de los rendimientos decrecientes del capital lleva al modelo de crecimiento exógeno a predecir la convergencia entre las regiones. Por el contrario, en el modelo de crecimiento endógeno, al usar como hipótesis los rendimientos constantes del capital, se predice que las economías no convergerán entre sí. El estudio de la convergencia se convirtió, pues, en la manera de selección entre los dos tipos de modelo. Si las economías convergían entre sí el modelo de crecimiento exógeno parecía adaptarse más a la realidad, sin embargo, si las economías no convergían entre sí, el modelo de crecimiento endógeno podía parecer más fiable.

Cuando se habla de convergencia se puede hacer mediante el uso de los conceptos

σ -convergencia y β -convergencia. Hablamos de σ -convergencia cuando nos referimos al hecho de que la dispersión de la renta real per cápita entre grupos de economías tiende a reducirse en el tiempo y de β -convergencia cuando en un conjunto de economías existe una relación inversa entre tasa de crecimiento y nivel inicial de la renta per cápita.

Para el estudio de la **β -convergencia** se puede usar la siguiente ecuación:

$$\log(y_{i,t}) - \log(y_{i,t-1}) = a - \beta \log(y_{i,t-1}) + u_{it}$$

donde u_{it} es el término de perturbación y β es una constante positiva restringida entre $0 < \beta < 1$. Cuanto mayor es el coeficiente β mayor es la tendencia a la convergencia.

El modelo neoclásico predice una relación inversa entre crecimiento y nivel inicial de renta, con $\beta > 0$, mientras en el modelo más simple de crecimiento endógeno, el modelo AK, se predice que $\beta = 0$.

σ -convergencia

El término u_{it} recoge las perturbaciones del modelo y suponemos que tiene media cero y la misma varianza para todas las economías, σ_u^2 , y que es independiente en el tiempo y entre economías.

Como medida de dispersión de la renta se toma la varianza muestral del logaritmo de la renta.

$$\sigma_t^2 = \left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N [\log(y_{i,t}) - \mu_t]^2$$

Donde μ_t es la media muestral de $\log(y_{i,t})$. Cuando N aumenta, la varianza muestral tiende a acercarse al verdadero valor poblacional.

El resultado de utilizar $\log(y_{i,t}) = a + (1 - \beta)\log(y_{i,t-1}) + u_{it}$ para derivar la evolución de σ_t^2 en el tiempo es:

$$\sigma_t^2 \cong (1 - \beta)^2 \sigma_{t-1}^2 + \sigma_u^2$$

Si no existe β -convergencia, tal que $\beta \leq 0$, no puede haber σ -convergencia. De modo que β -convergencia es condición necesaria para la existencia de σ -convergencia. En términos económicos, esto significa que para que las economías se acerquen entre sí, las regiones pobres tienen que crecer más que las regiones ricas.

Para ver si es condición suficiente expresamos la ecuación como función del tiempo resuelta en diferencias:

$$\sigma_t^2 = (\sigma^2 + [\sigma_0^2 - (\sigma^2)^*](1 - \beta)^{2t})$$

Como estamos suponiendo $0 < \beta < 1$ entonces σ_t^2 tenderá a su valor de estado estacionario $(\sigma^2)^*$. El término que multiplica a esta exponencial puede ser positivo o negativo, por lo que el valor de σ_t^2 puede aumentar o disminuir dependiendo de si el valor inicial de σ está por debajo o por encima de $(\sigma^2)^*$. Si la varianza inicial muestra un valor inferior a la final, entonces σ_t^2 aumenta a lo largo del tiempo, incluso si $\beta > 0$. De esto se puede deducir que el hecho de que exista β -convergencia no es condición suficiente para que exista σ -convergencia.

2.1 Convergencia condicional.

Los nuevos autores a partir la década de los noventa desarrollaron el concepto de convergencia condicional para contraponerlo al concepto de convergencia absoluta utilizada hasta entonces.

La convergencia condicional, pues, se trata de cómo hacemos las estimaciones de las regresiones de crecimiento. En primer lugar, usaremos el término de convergencia condicional, cuando limitamos el estudio para una muestra de regiones parecidas en sentidos económicos. Si las regiones son parecidas entre sí entonces se debería encontrar convergencia.

Una segunda manera de hablar de convergencia condicional es cuando usamos regresiones múltiples. Existirá β -convergencia en un conjunto de economías si la correlación parcial entre la tasa de crecimiento (variable endógena) y la renta inicial (en nuestro modelo de regresión, el logaritmo del PIB per cápita) es negativa. Es decir, si en un modelo de regresión múltiple donde la variable endógena es la tasa de crecimiento y una de nuestras variables exógenas es el PIB per cápita inicial y encontramos que el coeficiente asociado a la variable PIB per cápita es negativo, entonces concluimos que las economías de nuestra muestra presentan β -convergencia condicional.

3. Análisis estadístico y econométrico.

3.1 Descripción de las variables.

A lo largo del estudio se usarán diferentes modelos de regresión, cada uno de ellos con diferentes objetivos para tratar de explicar las preguntas que se plantean en este trabajo. A continuación, se muestra el conjunto de las diferentes variables que se utilizarán a lo largo de este análisis con una pequeña descripción de cada una de ellas, así como la fuente de los datos.

1. **Tasa de crecimiento del PIB per cápita.** Calculada como $\log PIBpc_{2015} - \log PIBpc_{2005}$. Será la variable endógena de todas las regresiones que se usarán para ver la influencia que tienen el resto de variables en ella. Los datos del $PIBpc$ para 2005 y 2015 se han obtenido de la base de datos de Eurostat.
2. **$PIBpc_{2005}$.** Se usará esta variable en logaritmos como variable que nos diga la situación inicial, en términos de $PIBpc$, de las regiones. El coeficiente β asociado a esta variable será la que se analizará a la hora de ver si existe convergencia condicional entre las regiones. Los datos del $PIBpc$ para 2005 se han obtenido de la base de datos de Eurostat.
3. **Inversión en I+D per cápita.** Se utilizará esta variable en logaritmos. Es la principal variable para el objetivo de este trabajo, ya que se intenta demostrar la relación directa que existe entre el crecimiento económico y la inversión en I+D, como predicen las teorías de crecimiento endógeno. Para saber la contribución de los diferentes sectores que hacen I+D en el crecimiento económico se va a desagregar la inversión en I+D per cápita total en los tres sectores que la practican, sector privado, sector público y universidades.
 - a. **Inversión en I+D per cápita del sector privado.** Variable en logaritmos. Esta variable está midiendo la contribución de la inversión en I+D privado de cada región, en términos per cápita.
 - b. **Inversión en I+D per cápita del sector público.** Variable en logaritmos. Esta variable está midiendo la contribución de la inversión en I+D que hace el gobierno de cada región, en términos per cápita.
 - c. **Inversión en I+D per cápita de las universidades.** Variable en logaritmos. Esta variable está midiendo la contribución de la inversión en I+D que hacen las universidades de cada región, en términos per cápita.

La suma de las tres variables desagregadas, sector privado, sector público y universidades, es igual a la inversión en I+D per cápita, que pasará a llamarse Inversión en **I+D per cápita total**. Los datos han sido obtenidos de la base de datos del Eurostat, para las observaciones para las cuales no había ningún dato de alguna de las variables se han usado métodos estadísticos y económicos para tratar de sacar una estimación del mismo.

- 4. Educación Superior.** Esta variable, medida en porcentaje, muestra para cada región el peso sobre la población de personas con estudios superiores. El objetivo de esta variable es ver si existe una influencia del capital humano en el crecimiento económico. Los datos han sido obtenidos de la base de datos del Eurostat
- 5. Estructura de la ocupación por sectores.** Variable medida en porcentaje. Las últimas variables que se usarán son las referidas a cómo está distribuida la ocupación de las regiones en diferentes sectores. En concreto se mide el peso sobre la ocupación de las regiones en los sectores de la industria, la agricultura, la construcción, en actividades referidas a las tecnologías de la información y la comunicación y en actividades de carácter científico. El objetivo de medir la relación entre estas variables y el crecimiento económico es que se usa como hipótesis que hay sectores que debido a sus altas tasas de innovación y formación de sus trabajadores, así como las características del propio sector, tienen una mayor influencia en el crecimiento económico que otros sectores.
Los datos han sido calculados a partir de los datos de ocupación por sectores obtenidos del Eurostat.

De estas variables disponemos de una muestra de 276 observaciones, correspondientes a las regiones europeas con un nivel de desagregación NUTS 2. Cada variable ha sido sincronizada con su correspondiente región para poder efectuar el análisis de este trabajo.

3.2 Análisis de la distribución espacial de las variables principales

A continuación, se hará un análisis visual de las principales variables, crecimiento del PIB per cápita, PIB per cápita en 2005 e inversión total en I+D, de esta manera podemos tener una primera impresión de la situación en Europa sin necesidad de estimar ninguna regresión.

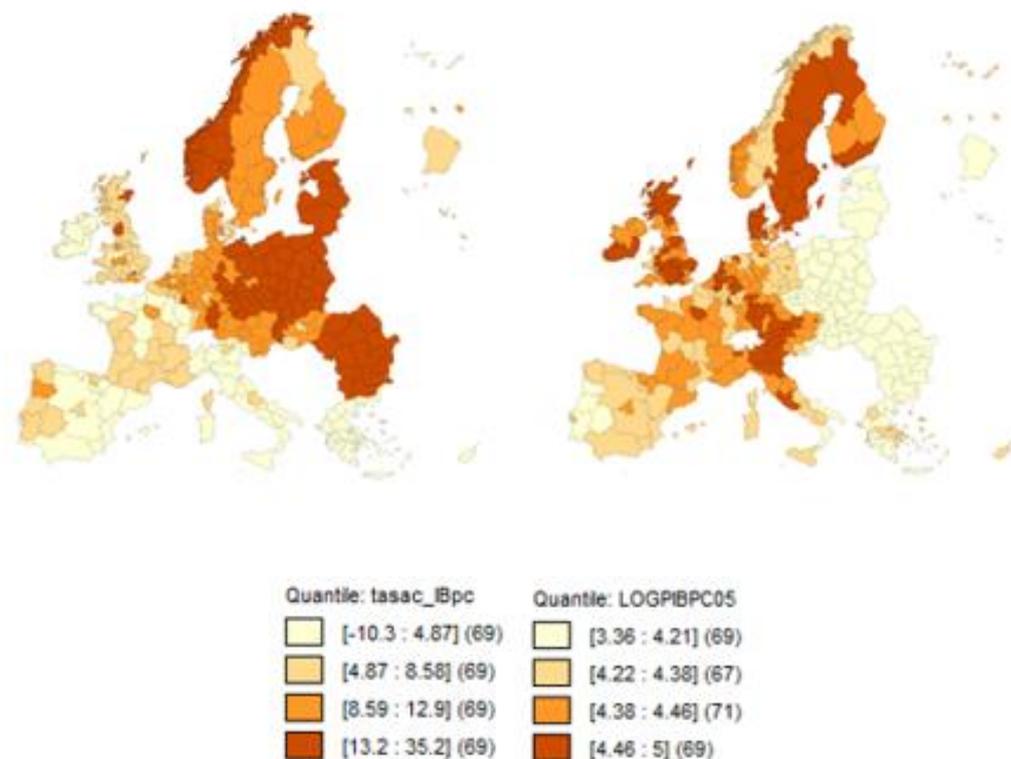


Figura 1
Elaboración propia a partir de datos del Eurostat

Con rendimientos decrecientes en la acumulación de capital físico, debe esperarse una convergencia en renta per cápita y en productividad del trabajo entre las regiones, pues las más pobres poseen una mayor capacidad de crecimiento. La integración económica acelera la convergencia, pues incentiva la eficiencia de las economías más atrasadas, al someter a sus empresas a una mayor competencia exterior a la vez que hace más semejantes las políticas económicas aplicadas.

Los mapas mostrados en la figura 1 corresponden a la distribución espacial de las variables tasa de crecimiento del PIBpc, y PIB per cápita en 2005 respectivamente, para las regiones

Europeas. Los colores más claros significan tasas de crecimiento y PIB per cápita en 2005 bajos y a medida que se oscurecen los valores de ambas variables se van elevando. El objetivo es tener una primera idea de cómo ha sido el crecimiento europeo entre los periodos 2005 y 2015.

Se puede observar que las regiones que más han crecido corresponden a los países de Finlandia, Suecia, Bulgaria, Rumanía, Polonia, Chequia, Eslovaquia, Letonia, Lituania y Estonia, con tasas de crecimiento de entre el 20% y el 35% del PIB per cápita. Así mismo, las regiones que menos han crecido o incluso han tenido un crecimiento negativo, corresponden a los países de Grecia, Italia, Portugal, España, así como algunas regiones francesas e inglesas.

También se puede observar que parece haber una relación inversa entre ambos mapas. Las regiones que más crecimiento han experimentado partían de una situación inicial en 2005 de un PIB per cápita menor que las regiones que menos han crecido. Esta correlación que se puede ver en los mapas parece tener una tendencia general en todas las regiones europeas, menos en los casos de Finlandia, Suecia y Noruega, que partiendo de un PIB per cápita alto han conseguido tener unas tasas de crecimiento también muy elevadas. Que exista esta correlación inversa en las regiones europeas parece indicar que existe convergencia en Europa entre los países que partían con un nivel de PIB per cápita muy alto frente a los que partían con un nivel bajo. Es importante mencionar que en el periodo analizado se ha dado lugar una crisis económica que ha golpeado fuertemente a las economías europeas, así pues, se puede presumir que la convergencia entre los países europeos se ha ralentizado ya que ha afectado de manera diversa la situación política y económica de los países, dando lugar a respuestas en política económica dispares.

Este es simplemente un análisis visual y no se pueden sacar conclusiones a partir de los mapas, pero es útil tener una primera idea de cómo se distribuyen las variables que serán objeto de estudio.

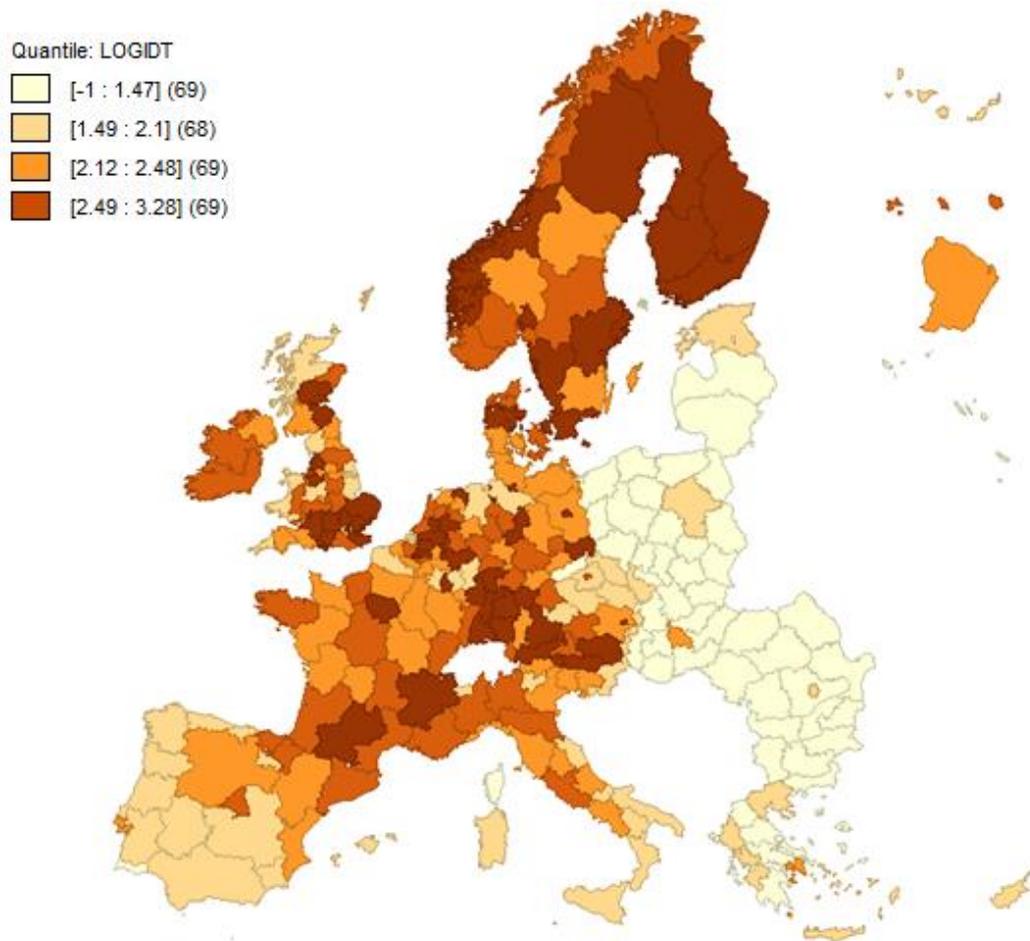


Figura 2: Mapa de cuartiles de la inversión en I+D total
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Eurostat

En el documento presentado por la Comisión Europea, *Innovation Union Scoreboard (2014)*, se diferencian cuatro grupos de países diferenciados a través de un indicador de esfuerzo en progreso tecnológico. Esta clasificación es la siguiente:

1. Países que lideran la innovación: Alemania, Dinamarca, Finlandia y Suecia.
2. Países seguidores: Austria, Bélgica, Chipre, Eslovenia, Estonia, Francia, Holanda, Irlanda, Luxemburgo y Reino Unido.
3. Países innovadores moderados: Croacia, República Checa, Eslovaquia, España, Grecia, Hungría, Italia, Lituania, Malta, Polonia y Portugal.
4. Países innovadores modestos: Bulgaria, Letonia y Rumania.

El mapa de la figura 2 muestra la distribución espacial de la variable I+D per cápita total de la variable inversión en I+D. Como se observa, el resultado obtenido en cuanto a esfuerzo en progreso tecnológico es una distribución que corresponde con el nivel de esfuerzo que identifica la Comisión Europea en el documento, *Innovation Union Scoreboard (2014)*.

3.3 Análisis de la existencia de β -convergencia

Para el análisis de la existencia de **β -convergencia** se procede a estimar la siguiente regresión:

$$\log(y_i, 2015) - \log(y_i, 2005) = a - \beta \log(y_i, 2005) + u_{it}$$

El resultado está mostrado en el siguiente gráfico Scatter Plot, correspondiente a la figura 3.

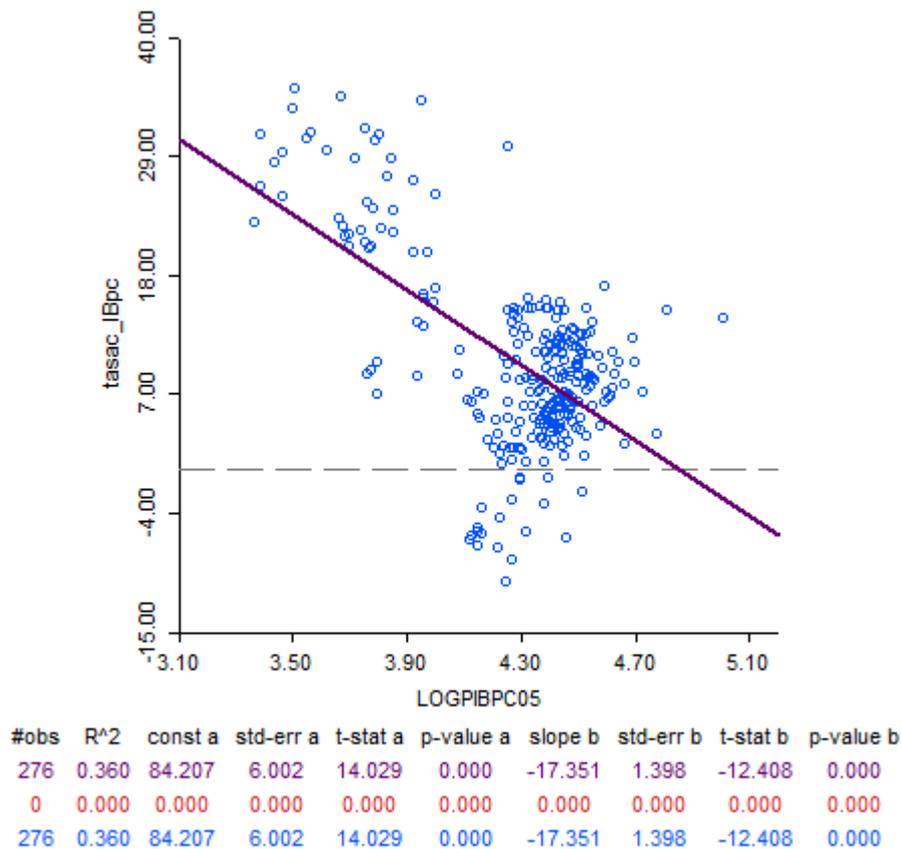


Figura 3: Scatter-Plot logaritmo del PIB per cápita 2005 y la tasa de crecimiento
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Eurostat

Se puede observar que la recta que se ajusta a la nube de puntos tiene una pendiente negativa. Esto significa lo mismo que se veía en los mapas de cuartiles de las variables de crecimiento económico y PIB per cápita en 2005. Los países que partían con un bajo PIB per cápita en 2005 han tenido una tasa de crecimiento que ronda entre el 20 y 35% mientras que los países que partían de un PIB per cápita en 2005 más alto han tenido una tasa de crecimiento más moderada, situándose entre el 3% y el 15%.

El coeficiente β asociado a esta regresión es de -17.351, con un p-valor asociado de 0,000, lo que indica que es claramente significativo al 5%. Que el coeficiente sea negativo nos está confirmando lo que se ve en el gráfico y en los mapas antes mostrados, es decir, que durante el período 2005-2015 ha existido convergencia en las regiones europeas.

3.4 Primera regresión.

A continuación, se estima una primera regresión con la siguiente estructura:

$$\begin{aligned}
 \text{TasadecrecimientoPIBpc}_{05} &= B_0 + B_1 \log \text{PIBpc}_i + B_2 \log I + D \text{ total pc}_i + B_3 \text{Educación}_i \\
 &+ B_4 \text{Industria}_i + B_5 \text{Agricultura}_i + B_6 \text{Construcción}_i + B_7 \text{TICs}_i \\
 &+ B_8 \text{Actividades Científicas}_i + u_i
 \end{aligned}$$

Modelo 1: MCO, usando las observaciones 1-276

Variable dependiente: tasacrecimientoPIBpc

Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HC1

	Coefficiente	Desv. Típica	Estadístico t	valor p	
const	108.197	14.6445	7.388	1.91e-012	***
logPIBpc	-27.0275	3.74342	-7.220	5.42e-012	***
logIDtotal	2.29160	1.38492	1.655	0.0992	*
EducaciAnsuperior	0.271193	0.0529051	5.126	5.69e-07	***
agricultura	-0.0217738	0.0857009	-0.2541	0.7996	
industria	0.343791	0.0595569	5.772	2.16e-08	***
construccion	-0.589985	0.175630	-3.359	0.0009	***
TICs	1.03599	0.339292	3.053	0.0025	***
actcientAficas	0.266805	0.103920	2.567	0.0108	**
Media de la vble. dep.	9.903513	D.T. de la vble. dep.	8.502181		
Suma de cuad. residuos	7550.996	D.T. de la regresión	5.317977		
R-cuadrado	0.620151	R-cuadrado corregido	0.608770		
F(8, 267)	40.16889	Valor p (de F)	1.07e-41		
Log-verosimilitud	-848.2737	Criterio de Akaike	1714.547		
Criterio de Schwarz	1747.131	Crit. de Hannan-Quinn	1727.623		

El resultado de la regresión es globalmente significativo al ser el p-valor del estadístico F menor a 0,05, lo que nos dice que las variables están explicando la tasa de crecimiento del PIB per cápita.

El R cuadrado asociado a la regresión es de 0,62. Es un resultado relativamente elevado por lo que las variables del modelo explican el 62% de la variabilidad observada en términos de tasas de crecimiento del PIB per cápita en las regiones europeas.

Análisis de las variables:

- **LogPIBpc:** Es una variable significativa al 5% de significación. El coeficiente asociado es de -27,0275. El coeficiente negativo y significativo confirmaría la existencia de convergencia regional entre los años 2005 y 2015 dado que las regiones con menor PIB per cápita en el año inicial han mostrado mayores tasas de crecimiento.
- **LogIDtotal:** Logaritmo de la inversión en I+D per cápita total. Es una variable significativa al 10% de significación. El coeficiente asociado es de 2,2916. Es un coeficiente con signo positivo lo que nos dice que regiones con una mayor inversión en

I+D total (la suma de la inversión en I+D desagregada por sectores) han tenido una tasa de **crecimiento más elevada que regiones con menor inversión en I+D total.**

- **Educación Superior:** Esta variable es el porcentaje de personas con estudios superiores en las regiones europeas. Es significativa al 5% de significación. Tiene un coeficiente de 0,271193, es un coeficiente positivo. Que el coeficiente sea positivo nos dice que regiones con un porcentaje mayor de población con estudios superiores en 2005 han tenido una tasa de crecimiento del PIB per cápita mayor que regiones con un porcentaje de población con estudios superiores menor.
- **Agricultura:** Porcentaje de ocupados en el sector de la agricultura sobre el total. Es una variable no significativa por lo que se entiende que estadísticamente no está explicando la tasa de crecimiento económico.
- **Industria:** Porcentaje de ocupados en el sector de la industria sobre el total. Es una variable significativa al 5% de significación. El coeficiente asociado a la variable es de 0,343791 con signo positivo. Que el signo sea positivo nos dice que regiones con un mayor peso de sus ocupados en el sector de la industria sobre el total de ocupados han tenido un nivel de crecimiento mayor que regiones que mostraban un peso menor de ocupados en el sector de la industria. Económicamente puede interpretarse como que el sector de la industria, al ser el sector que presenta la mayor tasa de productividad de sus factores, es el sector que más peso tiene en el crecimiento económico. Interpretamos que regiones con una tasa de ocupación mayor en el sector de la industria tienen también una estructura productiva donde este sector es más elevado. Al tener un peso mayor en la estructura productiva y tener una mayor tasa de productividad que los otros sectores hace que el crecimiento de estas regiones sea más elevado que en las regiones con un peso menor de la industria en su estructura productiva.
- **Construcción:** Porcentaje de ocupados en el sector de la construcción sobre el total. Es una variable significativa al 0,01 de nivel de significación. El coeficiente asociado es de -0,589985, con signo negativo. Que el coeficiente sea negativo significa que aquellas regiones con un mayor peso en la construcción han crecido comparativamente menos que el resto.
- **Tecnologías de la información y la comunicación:** Porcentaje de ocupados en el sector de las tecnologías de la información y la comunicación sobre el total. Variable significativa al 0,01 de nivel de significación. El coeficiente asociado es de 1,03599 con signo positivo. Que el signo sea positivo significa que regiones con un mayor peso sobre los ocupados en los sectores asociados a las tecnologías de la información y la comunicación han tenido una tasa de crecimiento mayor que regiones con un menor porcentaje de ocupados en dicho sector.
- **Actividades científicas.** Porcentaje de ocupados el sector asociado a las actividades científicas sobre el total. La variable es significativa al 0,05 de nivel de significación. El coeficiente asociado a la variable es de 0,266805 con signo positivo. Que el coeficiente sea positivo significa que regiones con un mayor peso de sus ocupados en dicho sector han tenido un crecimiento mayor que regiones con un peso menor.

Los datos de la regresión estimada parecen coincidir con lo que predice la teoría económica. Por un lado, ha existido convergencia condicional entre las regiones europeas en el período 2005 al 2015. Por otro lado, la inversión en I+D ha tenido una influencia directa y positiva en el crecimiento económico, así pues, regiones con una mayor inversión en I+D total han crecido más que regiones con una menor inversión en I+D, tal y como predice el modelo endógeno de crecimiento económico. Así mismo, en cuanto al capital humano, como era de esperar, regiones con un peso mayor de su población con estudios terciarios han tenido un crecimiento económico mayor (así, se entiende que personas más formadas son más productivas que personas con un nivel de estudios menor). Por último, observando la estructura productiva por diferentes sectores, se ve que el sector de la industria, junto a los asociados a tecnologías de la información y la comunicación y a las actividades científicas han sido los que han tenido una influencia positiva en el crecimiento económico, mientras que el sector de la construcción ha tenido una influencia negativa.

3.5 Inversión en I+D desagregada por sectores.

Hemos visto que la inversión en I+D tiene una clara influencia positiva en el crecimiento económico. En la siguiente regresión pondremos como variables exógenas la inversión en I+D desagregadas por sectores: sector privado, sector público y universidades. Con esta desagregación se analiza si la inversión realizada en dichos sectores tiene la misma relevancia en cuanto a crecimiento económico se refiere.

La regresión estimada es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 \text{Tasa de crecimiento PIBpc}_{05} &= B_0 + B_1 \log \text{PIBpc}_i + B_2 \log I + D \text{ privado } pc_i \\
 &+ B_3 \log I + D \text{ público } pc_i + B_4 \log I + D \text{ universidades } pc_i \\
 &+ B_5 \text{Educación}_i + B_6 \text{Industria}_i + B_7 \text{Agricultura}_i \\
 &+ B_8 \text{Construcción}_i + B_9 \text{TICs}_i + B_{10} \text{Actividades Científicas}_i + u_i
 \end{aligned}$$

Modelo 3: MCO, usando las observaciones 1-276 (n = 272)

Se han quitado las observaciones ausentes o incompletas: 4

Variable dependiente: tasacrecimientoPIBpc

Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HC1

	Coefficiente	Desv. Típica	Estadístico t	valor p	
const	110.663	13.9472	7.934	6.25e-014	***
logPIBpc	-26.3543	3.28793	-8.015	3.69e-014	***
EducaciAnsuperior	0.240472	0.0547729	4.390	1.65e-05	***
agricultura	-0.0131815	0.0767926	-0.1717	0.8638	
industria	0.225312	0.0625611	3.601	0.0004	***
construccion	-0.567357	0.177400	-3.198	0.0016	***
TICs	0.790937	0.338251	2.338	0.0201	**
actcientAficas	0.218505	0.101245	2.158	0.0318	**
logIDpriv	3.42966	0.857441	4.000	8.26e-05	***
logIDgobierno	0.406240	0.660348	0.6152	0.5390	
LogIDEduc	-2.21539	0.891094	-2.486	0.0135	**
Media de la vble. dep.	9.823285	D.T. de la vble. dep.	8.443586		
Suma de cuad. residuos	6831.409	D.T. de la regresión	5.116051		
R-cuadrado	0.646420	R-cuadrado corregido	0.632873		
F(10, 261)	33.08313	Valor p (de F)	5.19e-41		
Log-verosimilitud	-824.3451	Criterio de Akaike	1670.690		
Criterio de Schwarz	1710.354	Crit. de Hannan-Quinn	1686.614		

A partir de la estimación se puede observar que:

- **Logaritmo de la inversión en I+D en el sector privado:** Variable significativa al 5% de significación. El coeficiente asociado a la variable es de 3.42966 con signo positivo. Que el coeficiente sea positivo significa que a mayor inversión en I+D en el sector privado mayor es la tasa de crecimiento de las regiones. Por lo tanto, las regiones con una mayor inversión en I+D del sector privado han crecido más que regiones con menos inversión en I+D en el sector privado.
- **Logaritmo de la inversión en I+D del gobierno:** La variable no llega a ser significativa al 10% de significación, por lo que concluimos que estadísticamente la inversión realizada por los gobiernos en 2005 no ha tenido influencia en el crecimiento económico para el período 2005-2015.

- **Logaritmo de la inversión en I+D que hacen las universidades:** La variable es significativa al 5% de significación. El coeficiente asociado es de -2,21539, con signo negativo. Que el coeficiente tenga un signo negativo significa que a mayor inversión en I+D realizado por las universidades, menor ha sido el crecimiento económico. Económicamente este resultado parece no tener sentido. Tendría sentido incluso si la influencia hubiera sido nula, o estadísticamente no significativa, como en el caso de la inversión en I+D realizada por el gobierno, pero que exista una relación inversa entre gasto en I+D realizado por las universidades y crecimiento económico es algo que contradice la teoría económica. Para poder explicar este signo contra intuitivo de la variable de inversión en I+D realizado en las universidades se hará un análisis estadístico de la relación entre inversión en I+D de las universidades y crecimiento económico.

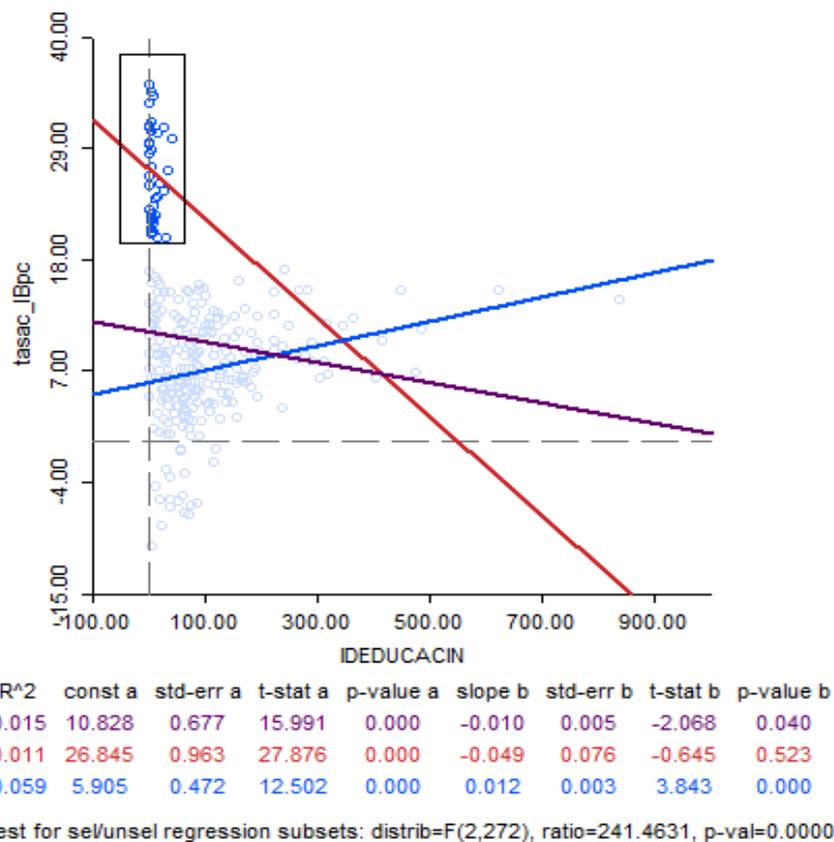


Figura 4: Scatter-Plot logaritmo de la inversión en educación y la tasa de crecimiento
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Eurostat

En el gráfico Scatter-Plot de la figura 4 se relacionan las variables de Inversión en I+D que realizan las universidades y la tasa de crecimiento económico. Se han seleccionado las observaciones con una escasa inversión en I+D realizada por las universidades y una alta tasa de crecimiento económico. Las observaciones corresponden a las regiones que se muestran en el siguiente mapa:

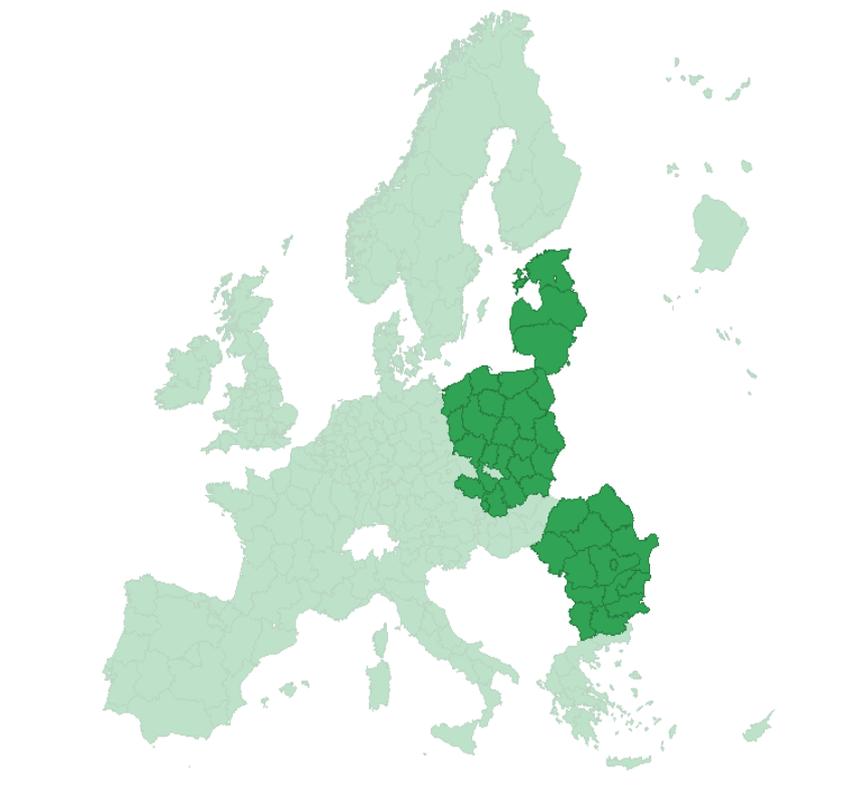


Figura 5: Distribución espacial de las observaciones "conflictivas"
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Eurostat

El programa usado para este trabajo, el Geoda, es muy útil para darle una explicación estadística al coeficiente asociado a la inversión en I+D que realizan las universidades, ya que construyendo un gráfico Scatter-Plot de dos variables y seleccionando las observaciones que se deseen se construye una regresión lineal simple para dichas observaciones seleccionadas (resultados en rojo) y para las no seleccionadas (resultados en azul), además de que ajusta una recta para cada nube de puntos, tanto la seleccionada (línea roja) como la no seleccionada (línea azul).

El resultado de este análisis nos lleva a pensar que hay un conjunto de 39 observaciones con un comportamiento anómalo que nos está *contaminando* la muestra y, por ende, el resultado de la regresión. Las 39 observaciones seleccionadas son regiones correspondientes a los países de Estonia, Letonia, Lituania, Polonia, Rumanía y Bulgaria, caracterizadas por una alta tasa de crecimiento y una inversión en I+D realizada por las universidades cercana a cero. El resultado de hacer una regresión únicamente con estas observaciones nos da que el coeficiente beta asociado a la inversión en I+D de las universidades es no significativo, con un p-valor de 0,523. Por lo que, estadísticamente, la muestra seleccionada no es relevante en la relación a crecimiento económico e inversión en I+D realizado por las universidades.

Sin embargo, si nos fijamos en la regresión del resto de observaciones no seleccionadas, se observa que la significación individual de la inversión realizada por las universidades sí que es significativa. Además, el coeficiente beta asociado a la variable es positivo (también se puede

apreciar esta relación positiva en la recta azul que se ajusta a la nube de puntos), por lo que se deduce que para las observaciones no seleccionadas sí que existe una relación positiva y significativa entre la inversión realizada en I+D en las universidades y el crecimiento económico.

La conclusión de este análisis es que, excluyendo el comportamiento de una submuestra de regiones ubicadas en los países de Estonia, Letonia, Lituania, Polonia, Rumanía y Bulgaria, la inversión en I+D de las Universidades también habría tenido un efecto positivo sobre el crecimiento económico.

3.6 Análisis de cambio estructural.

Se ha visto que la inversión en I+D que realizan los diferentes sectores afectan de diferente manera al crecimiento económico. En este apartado se analizará si las variables que afectan a nuestra variable endógena afectan de igual manera cuando diferenciamos entre regiones ricas y regiones pobres.

Para realizar este estudio primero hay que empezar con el contraste de Chow que nos dirá si existe cambio estructural entre regiones ricas y regiones pobres, es decir, si las variables se comportan de igual manera cuando diferenciamos entre ambos tipos de regiones. El contraste lo hemos aplicado a la regresión lineal múltiple donde desagregamos la inversión en I+D. La hipótesis nula y alternativa son las siguientes:

H_0 : *Permanencia estructural*

H_1 : *Cambio estructural*

El resultado del contraste es que rechazamos la hipótesis nula de permanencia estructural, ya que el estadístico tiene un p-valor asociado a 0,0000, inferior al 5% de significación.

```
Contraste de Chow de diferencia estructural con respecto a ricos
Chi-cuadrado(11) = 80.8787 con valor p 0.0000
forma F: F(11, 250) = 7.35261 con valor p 0.0000
```

Una vez confirmada la existencia de cambio estructural procedemos a estimar el mismo modelo de regresión que en el apartado anterior pero con dos muestras distintas. Para la primera regresión se usará la muestra definida como regiones ricas $PIBpc_{05} > \overline{PIBpc_{05}}$, y para la segunda muestra se usará la muestra definida como regiones pobres $PIBpc_{05} < \overline{PIBpc_{05}}$, siendo $\overline{PIBpc_{05}}$ la media del $PIBpc_{05}$.

Regresión para las regiones ricas

Modelo 4: MCO, usando las observaciones 1-153

Variable dependiente: $\text{tasacrecimientoPIBpc}$

Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HC1

	Coeficiente	Desv. Típica	Estadístico t	valor p	
const	-10.2806	23.4122	-0.4391	0.6612	
logPIBpc	4.02940	5.14407	0.7833	0.4347	
EducaciAnsuperior	0.165592	0.0589080	2.811	0.0056	***
agricultura	0.00238041	0.150578	0.01581	0.9874	
industria	0.140729	0.0718059	1.960	0.0520	*
construccion	-0.912425	0.229715	-3.972	0.0001	***
TICs	-0.440300	0.274644	-1.603	0.1111	
actcientAficas	-0.134774	0.0672542	-2.004	0.0470	**
logIDpriv	2.24053	1.00988	2.219	0.0281	**
logIDgobierno	-0.561805	0.603948	-0.9302	0.3538	
LogIDEduc	-0.947420	0.605317	-1.565	0.1198	
Media de la vble. dep.	7.917479	D.T. de la vble. dep.	4.042729		
Suma de cuad. residuos	1592.296	D.T. de la regresión	3.348634		
R-cuadrado	0.359040	R-cuadrado corregido	0.313902		
F(10, 142)	7.666512	Valor p (de F)	9.95e-10		
Log-verosimilitud	-396.2984	Criterio de Akaike	814.5968		
Criterio de Schwarz	847.9316	Crit. de Hannan-Quinn	828.1379		

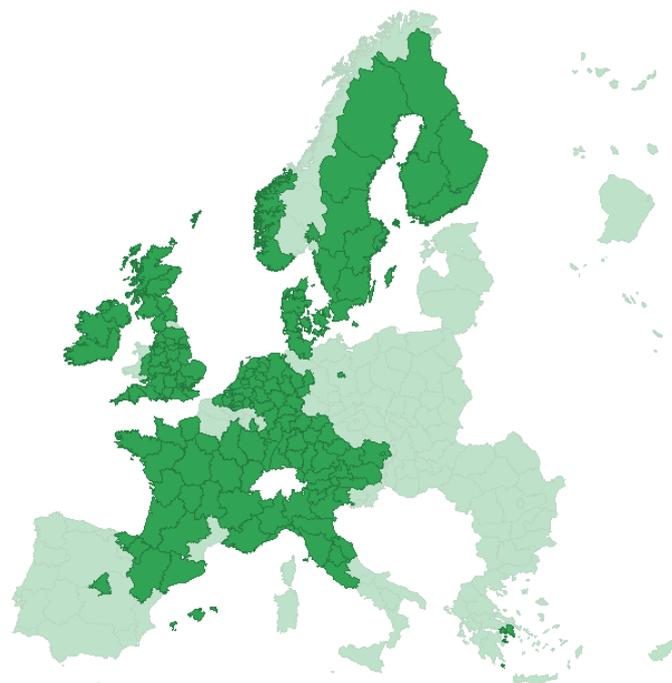


Figura 6: Distribución espacial de las regiones ricas.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Eurostat

En el mapa se muestran las regiones que se corresponden a las observaciones que cumplen $\text{PIBpc}_{05} > \overline{\text{PIBpc}_{05}}$. En la regresión se pueden observar dos cosas:

1. No ha existido convergencia condicional entre las regiones ricas de Europa ya que el coeficiente asociado a la variable PIBpc_{05} ha resultado ser no significativo.
2. Únicamente la inversión en I+D realizada por el sector privado es significativo, por lo que podemos deducir, que estadísticamente, la inversión en I+D realizada por el

gobierno y las universidades en las regiones ricas no ha afectado al crecimiento económico de las mismas.

Regresión para las regiones pobres.

Modelo 6: MCO, usando las observaciones 1-123 (n = 119)

Se han quitado las observaciones ausentes o incompletas: 4

Variable dependiente: *tasacrecimientoPIBpc*

Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HC1

	Coeficiente	Desv. Típica	Estadístico t	valor p	
const	160.683	22.8405	7.035	1.91e-010	***
logPIBpc	-41.1468	5.64813	-7.285	5.54e-011	***
EducaciAnsuperior	0.223896	0.0825580	2.712	0.0078	***
agricultura	-0.0374193	0.0897380	-0.4170	0.6775	
industria	0.142998	0.0888182	1.610	0.1103	
construccion	0.214271	0.263834	0.8121	0.4185	
TICs	2.11117	0.583273	3.620	0.0005	***
actcientAficas	0.470221	0.333173	1.411	0.1610	
logIDpriv	3.72339	1.04195	3.573	0.0005	***
logIDgobierno	-0.346243	1.06431	-0.3253	0.7456	
LogIDEduc	-0.943138	1.93934	-0.4863	0.6277	
Media de la vble. dep.	12.27361	D.T. de la vble. dep.	11.48554		
Suma de cuad. residuos	3531.993	D.T. de la regresión	5.718709		
R-cuadrado	0.773100	R-cuadrado corregido	0.752091		
F(10, 108)	39.11871	Valor p (de F)	2.05e-31		
Log-verosimilitud	-370.5881	Criterio de Akaike	763.1762		
Criterio de Schwarz	793.7465	Crit. de Hannan-Quinn	775.5898		

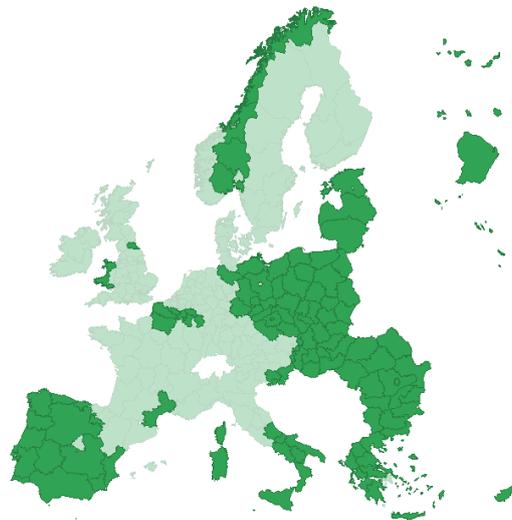


Figura 7: Distribución espacial de las regiones pobres.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Eurostat

En el mapa se muestran las regiones que se corresponden a las observaciones que cumplen $PIBpc_{05} < \overline{PIBpc_{05}}$. En la regresión se pueden observar dos cosas:

1. Sí que ha existido convergencia condicional entre las regiones pobres dado que, la variable $PIBpc_{05}$ es significativa al 5% de significación y el coeficiente asociado a dicha variable es -41, 1468, con signo negativo. Que el signo sea negativo nos indica precisamente la existencia de convergencia condicional entre las regiones pobres europeas.

2. Al igual que con las regiones ricas, la única I+D que ha resultado ser significativa ha sido la realizada por el sector privado. Las realizadas por el gobierno y las universidades, al no ser significativas, se deduce que estadísticamente no han sido relevantes para explicar el crecimiento económico. Si nos fijamos en el coeficiente asociado a la inversión privada de cada subgrupo de muestras (regiones ricas vs regiones pobres) vemos que el coeficiente es más elevado en el caso de la inversión en I+D realizada por el sector privado de las regiones pobres (3,72 en las regiones pobres contra 2,24 en las regiones ricas). Esto significa que la inversión en I+D realizada por el sector privado en las regiones pobres ha tenido una contribución mayor en el crecimiento económico de las mismas que la inversión en I+D realizada en las regiones ricas.

Análisis gráfico de la convergencia entre ambos grupos de submuestras.

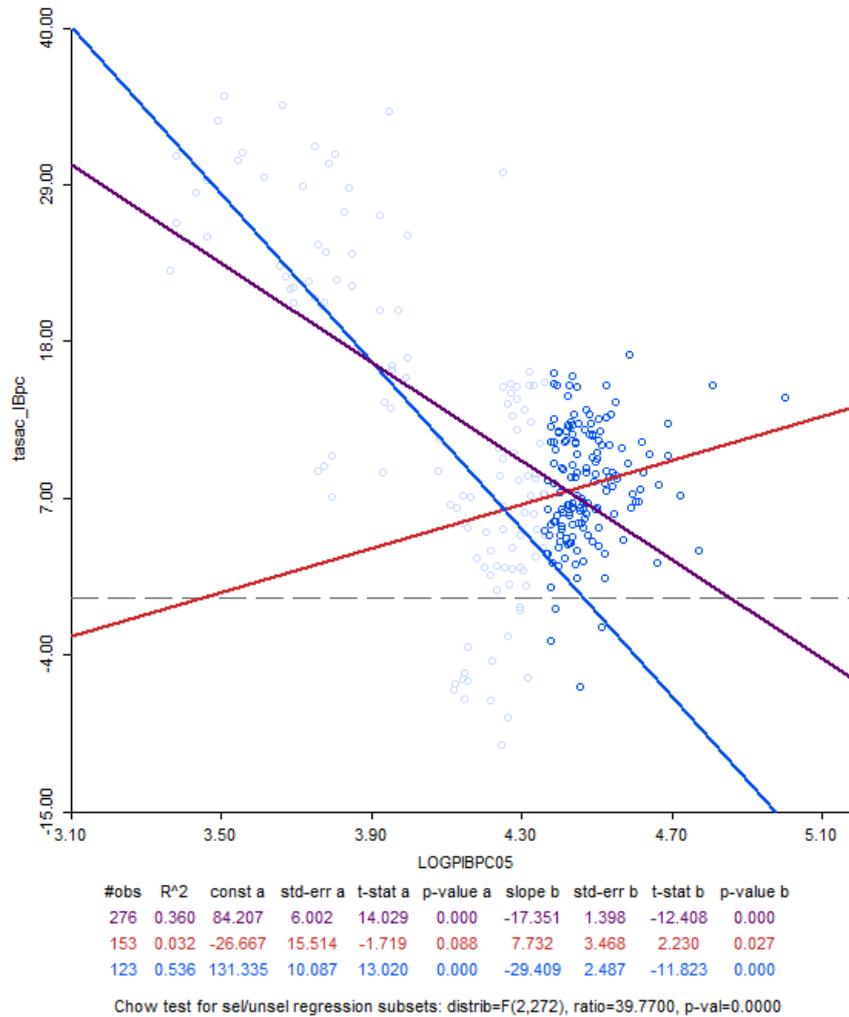


Figura 8: Scatter-Plot logaritmo del PIB per cápita 2005 y tasa de crecimiento
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Eurostat

En el gráfico Scatter-Plot de la figura 8 se vuelve a ver la relación que hay entre el logaritmo del $PIBpc_{05}$ y la tasa de crecimiento económico entre 2005 y 2015 pero ahora con las dos submuestras diferenciadas. El resultado de la regresión en rojo y la recta que se asocia a la nube de puntos corresponde a la submuestra de las regiones ricas, mientras que el resultado de la regresión en azul y la recta que se ajusta a la nube de puntos corresponde a las regiones pobres. Las conclusiones que se extraen de este sencillo mapa son las siguientes:

1. Para las regiones ricas no ha existido β convergencia entre los períodos 2005-2015, es más, la variable $PIBpc_{05}$ es significativa al 5% de significación con un coeficiente asociado de 7,732 con signo positivo. Que el signo sea positivo significa que ha habido divergencia entre las regiones ricas, es decir, que regiones que partían con un $PIBpc_{05}$ superior han crecido más que regiones que partían con un $PIBpc_{05}$ menor. Nota: La observación que está a la derecha del todo en el gráfico Scatter-Plot corresponde a la región de *Inner London*. Si eliminásemos esa observación de la submuestra obtendríamos que la variable $PIBpc_{05}$ no sería significativa ni al 10% de

significación, por lo que no habría habido, estadísticamente, divergencia entre las regiones ricas. La diferencia entre este resultado de divergencia mostrado en el Scatter-plot y el de no significación en la estimación de las regiones ricas es debido a que la estimación del Scatter-Plot es una regresión lineal simple, mientras que en la regresión donde analizamos el crecimiento de las regiones ricas es una regresión lineal múltiple donde la variable logaritmo del PIB per cápita no es la única variable exógena y la variable endógena es afectada por el comportamiento de diversos factores.

2. Para las regiones pobres sí ha existido β convergencia entre los períodos 2005-2015. Al analizar el nivel de significación de la variable $PIBpc_{05}$ se ve que es significativa al 5% significación con un coeficiente asociado de -29,408, con signo negativo. Que el signo sea negativo nos está indicando precisamente la convergencia de las regiones pobres. Es decir, que regiones que partían con un menor $PIBpc_{05}$ han tenido una tasa de crecimiento mayor que regiones que partían con un mayor $PIBpc_{05}$.

4. Externalidades de la I+D.

4.1 Análisis Exploratorio.

Seguidamente se presenta el análisis exploratorio espacial aplicado a las variables de crecimiento del PIB per cápita, logaritmo del PIB per cápita y logaritmo de la inversión total en I+D con el objetivo de analizar si dichas variables presentan un esquema de autocorrelación espacial: Para ello se calculan dos contrastes:

1. **I de Moran global.** El contraste de la I de Moran Global sirve para detectar, en valores medios, cuál es el patrón de comportamiento general de la variable. Es decir, si la variable se está distribuyendo de manera aleatoria en términos globales o si existe un esquema de dependencia espacial para la variable que es objeto de estudio.
2. **I de Moran local.** El contraste de la I de Moran local permite detectar la existencia de clusters u outliers espaciales para cada región. Un cluster espacial en una región significa que esta región y sus vecinas concentran valores significativamente más elevados o bajos de lo que sucedería en caso de existir una distribución aleatoria de la variable en el espacio. Un outlier espacial es la situación que se da cuando una región i muestra un valor significativamente diferente a sus regiones vecinas, es decir, un outlier high-low ocurre cuando una región i presenta un valor elevado de la variable y sus regiones vecinas presentan valores bajos, mientras que un outlier low-high ocurre cuando una región i presenta valores bajos de la variable y sus regiones vecinas presentan valores altos de la misma.

I de Moran Global de la variable *Tasa de crecimiento del PIB*_{*i*}

H_0 : Ausencia de autocorrelación espacial (distribución aleatoria de la variable)

H_A : Presencia de autocorrelación espacial

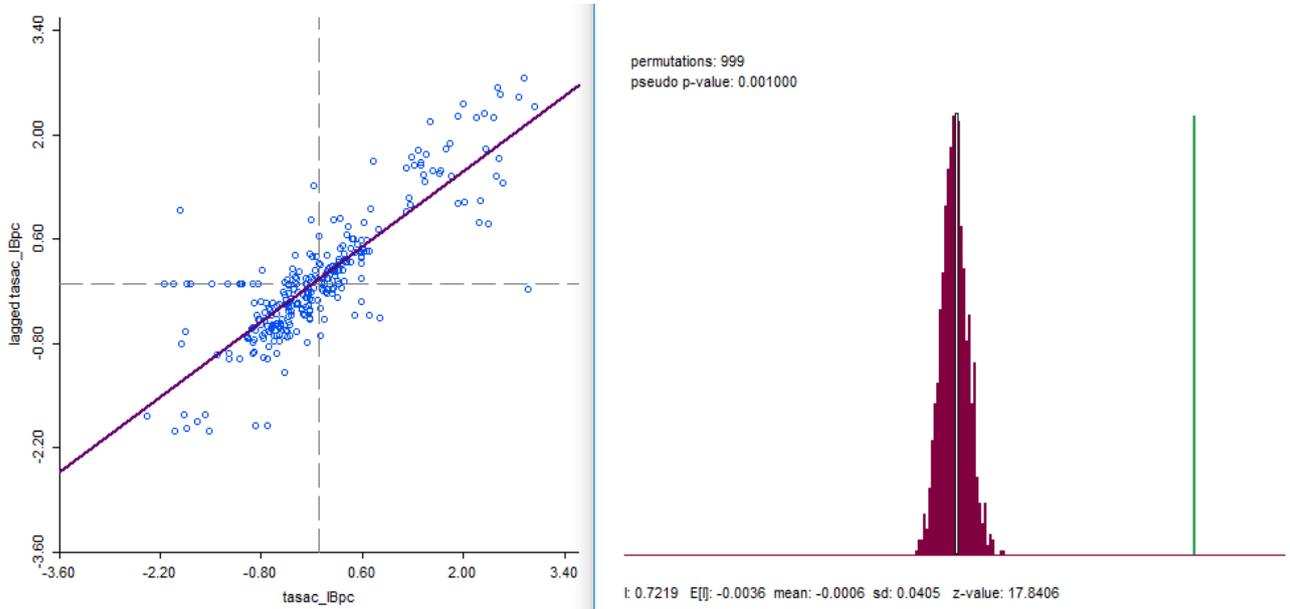


Figura 9: Contraste de la I de Moran global para la variable tasa de crecimiento
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Eurostat

El gráfico Scatter-Plot relaciona las variables tasa de crecimiento del PIB per cápita y su retardo espacial. El retardo espacial de una variable es el valor que presentan, de promedio, las regiones vecinas de una región sub *i* para la variable que es objeto de estudio, en este caso la tasa de crecimiento del PIB per cápita.

Las observaciones de la muestra se encuentran agrupadas en el primer y tercer cuadrante. Esto significa que regiones con una baja tasa de crecimiento del PIB per cápita están rodeadas de regiones, que, en promedio, también han tenido una baja tasa de crecimiento del PIB per cápita (cuadrante 1) mientras que regiones que han tenido una alta tasa de crecimiento económico están rodeadas de regiones que, en promedio, también han tenido una alta tasa de crecimiento económico (cuadrante 3).

Para confirmar la presencia de autocorrelación espacial nos fijamos en el p-valor asociado al estadístico del contraste de la I de Moran global, que es igual a 0,001, menor al 5% de significación. Por lo tanto, se concluye la existencia de autocorrelación espacial.

La pendiente de la recta que se asocia a la nube de puntos nos indica el tipo de autocorrelación de la que se trata, en este caso; **autocorrelación espacial positiva**: valores bajos están agrupados con valores bajos y valores altos están agrupados con valores altos de la variable.

I de Moran local variable *Tasa de crecimiento del PIBpc_i*

H_0 : Ausencia de autocorrelación espacial alrededor de i

H_A : Presencia de autocorrelación espacial alrededor de i

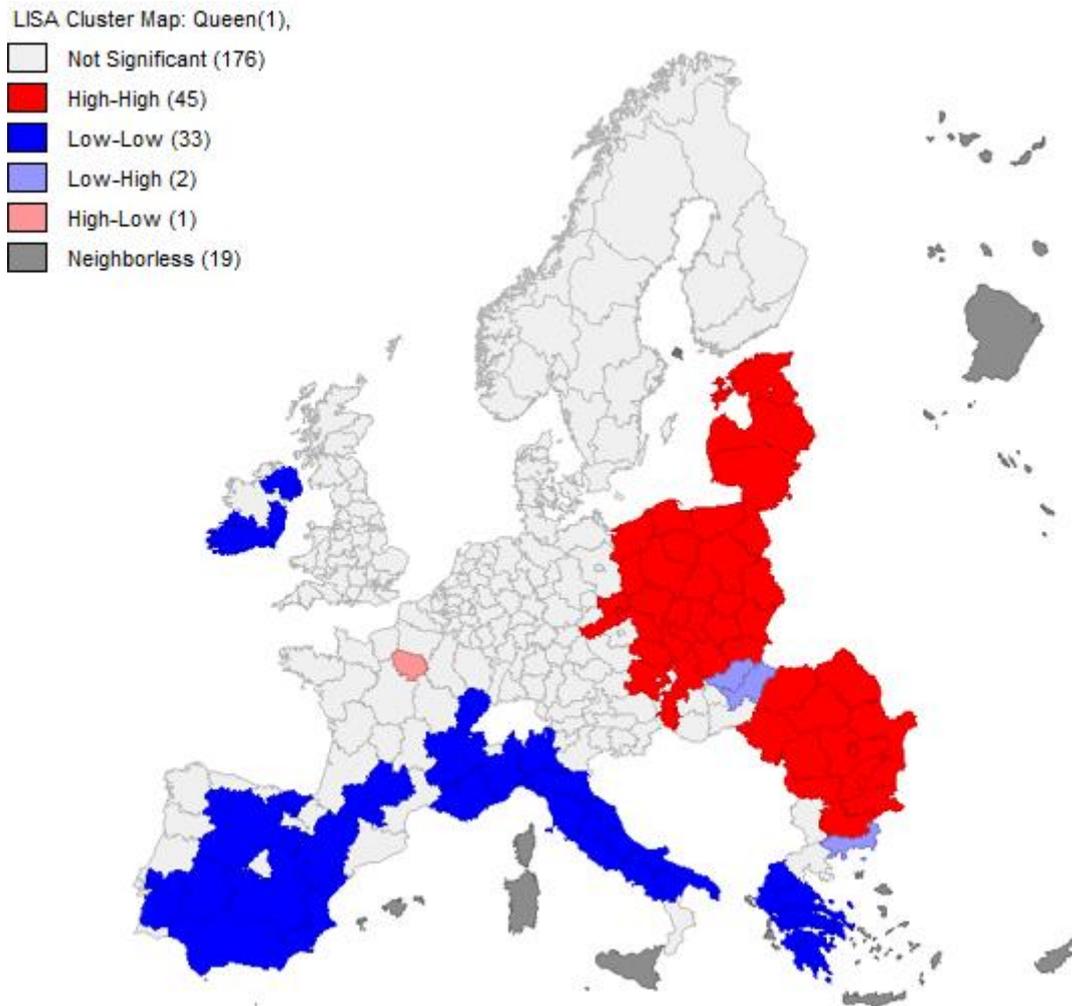


Figura 10: Contraste de la I de Moran local para la variable tasa de crecimiento

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Eurostat

A diferencia del contraste anterior, que era general, con el contraste de la I de Moran local estamos analizando la presencia de algún tipo de dependencia espacial región por región. Los resultados de los contrastes pueden apreciarse en el mapa de la figura 10. Las regiones sin color son las que han resultado ser no significativas, es decir, el contraste no ha detectado ningún patrón de comportamiento para éstas, en total tenemos 178 observaciones no significativas. Las regiones de color gris son las resultantes de ser islas, al ser islas y estar trabajando con una matriz de pesos de contigüidad física Queen de orden uno, el contraste no puede interpretar si existe algún patrón de comportamiento espacial.

- **Clusters:**
 - **High-High:** En total tenemos 45 observaciones que han resultado ser significativas, las regiones que son clusters high-high son las que están coloreadas de color rojo. Un cluster High-High se da cuando existe una región sub i con un alto valor de la variable que está rodeada de regiones que presentan también un alto valor de la variable. En nuestro caso tenemos una agrupación de clusters en el este de Europa, que son las regiones que más han crecido en términos de PIB per cápita de 2005 a 2015.
 - **Low-Low:** En total tenemos 33 observaciones que han resultado ser significativas, las regiones que con clusters low-low son las que están coloreadas de color azul oscuro. Un cluster low-low ocurre cuando una región sub i presenta un bajo valor de la variable y está rodeada de regiones que presentan, también, un bajo valor de la variable. En el mapa se observa una agrupación de clusters low-low en el sur de Europa: España, Italia y Grecia.
- **Outliers:**
 - **High-Low:** El contraste de la I de Moran local únicamente identifica un outlier High-Low, que se corresponde a la región de la Ile de France (coloreada de color rosa). Esta región se caracteriza por haber tenido una alta tasa de crecimiento económico, 10%, mientras que sus regiones vecinas se sitúan entre el 2% y el 3%.
 - **Low-High:** El contraste de la I de Moran local identifica dos outliers Low-High, que se corresponden a las regiones de Hungría Septentrional y Gran Llanura Septentrional (que son regiones estadísticas, para desagregar las regiones europeas a nivel de NUTS 2 y están coloreadas de color azul claro). Éstas se caracterizan por haber tenido una baja tasa de crecimiento, 9% y 8% respectivamente y de estar rodeadas de regiones con una alta tasa de crecimiento que se sitúan entre el 25% y el 35%.

I de Moran Global de la variable $\log I + D \text{ total } pc_{05}$

H_0 : Ausencia de autocorrelación espacial (distribución aleatoria de la variable)

H_A : Presencia de autocorrelación espacial

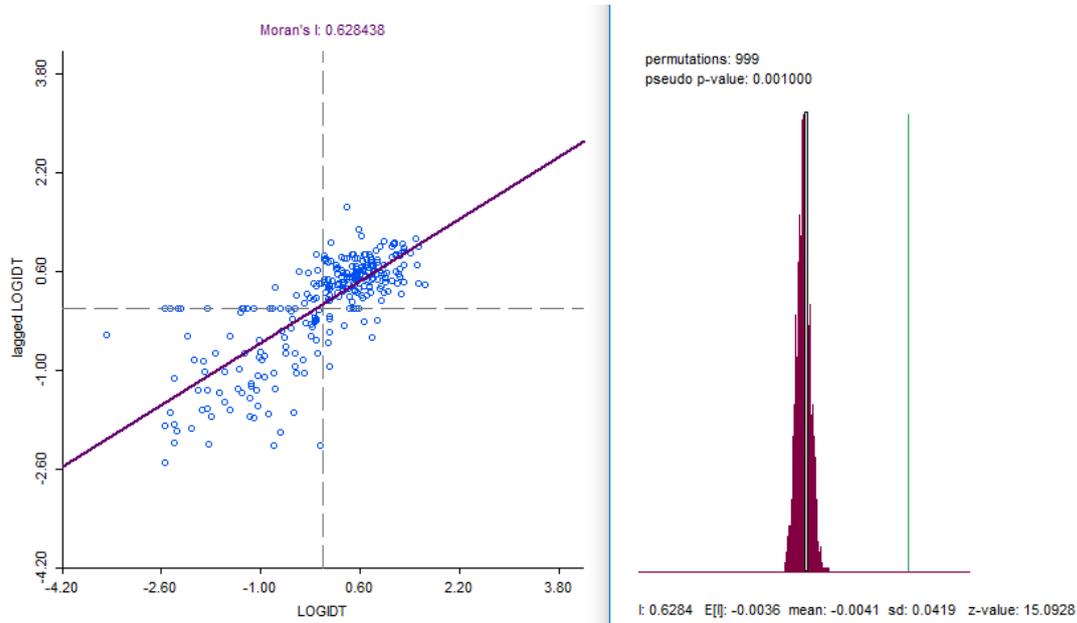


Figura 11: Contraste de la I de Moran global para la variable logaritmo de la inversión en I+D
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Eurostat

Al igual que se ha hecho con la variable de la Tasa de Crecimiento del PIB per cápita, se procede a usar el contraste de la I de Moran global para analizar la presencia de autocorrelación espacial de la variable Inversión del I+D total.

En el Scatter-Plot se observa que las observaciones parecen distribuirse entre los cuadrantes uno y tres. Las observaciones del cuadrante uno son aquellas que presentan una baja inversión per cápita en I+D y están rodeadas de regiones que, en promedio, también han tenido una baja inversión en I+D per cápita, mientras que las observaciones que se sitúan en el cuadrante tres, son aquellas con una alta inversión en I+D per cápita que están rodeadas de regiones que también tienen una alta inversión en I+D per cápita, en promedio.

Para confirmar la presencia de autocorrelación espacial nos fijamos en el p-valor del estadístico del contraste, que es igual a 0,001, inferior a 0,05, por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula de ausencia de autocorrelación espacial y concluimos que existe presencia de **autocorrelación espacial positiva** (la pendiente de la recta nos marca el signo de la autocorrelación, al ser una pendiente positiva, la autocorrelación también lo es).

I de Moran local variable $\log I + Dpc_{05}$

H_0 : Ausencia de autocorrelación espacial alrededor de i

H_A : Presencia de autocorrelación espacial alrededor de i

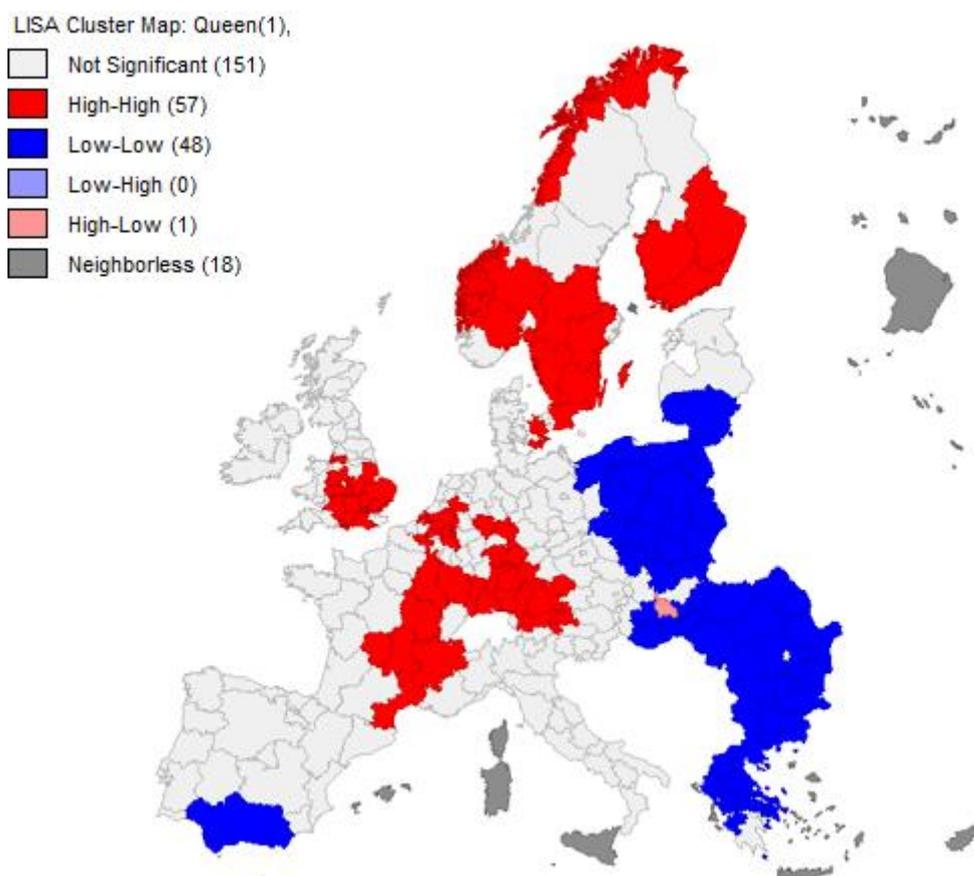


Figura 12: Contraste de la I de Moran local para la variable logaritmo de la inversión en I+D

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Eurostat

El resultado del contraste de la I de Moran local para la variable logaritmo de la I+D total per cápita es el siguiente:

se confirman la existencia de 153 regiones no significativas y, al igual que antes, 18 regiones sin vecinos.

- Clusters

- **High-High:** El contraste ha identificado un total de 57 regiones que presentan un cluster high-high. Las regiones definidas por el color rojo presentan una alta tasa de inversión en I+D total per cápita y se caracterizan por estar rodeadas de regiones que también han tenido, en promedio, una alta tasa de inversión en I+D per cápita.
- **Low-Low:** El contraste ha identificado un total de 48 observaciones que presentan un cluster low-low. Las regiones definidas por el color azul oscuro se

caracterizan por haber presentado una baja inversión en I+D per cápita y de estar rodeadas de regiones que también han tenido una baja inversión en I+D per cápita. En concreto, se forma una agrupación de clusters en el este de Europa.

- **Outliers:**

- **High-Low:** En cuanto a outliers espaciales, el contraste únicamente ha identificado un outlier en total, se trata de un outlier high-low que corresponde a la región de Hungría Central (región estadística, coloreada de color rosa). Esta región ha tenido una alta inversión en I+D total per cápita mientras que sus regiones vecinas han tenido una baja inversión de la misma variable.

4.2 Análisis confirmatorio.

A continuación, se planteará una regresión que incluya un retardo espacial de la variable logaritmo de la inversión en I+D total per cápita para analizar si la inversión que está haciendo una región afecta al crecimiento de sus regiones vecinas. La hipótesis económica que hay detrás del retardo espacial de esta variable es la que se explicaba al inicio del capítulo referente a los conceptos de *Learning By doing* y *Knowledge Spillovers*. El término W de la regresión hace referencia a la matriz de pesos utilizada. En concreto se usará una matriz de pesos de contigüidad física Queen de orden uno. La regresión la estimaremos por mínimos cuadrados ordinarios y tiene la siguiente estructura:

$$\begin{aligned}
 &Tasa\ de\ crecimiento\ PIB\ pc_i \\
 &= B_0 + B_1 \log PIBpc_i + B_2 \log I + D\ total\ pc_i \\
 &+ B_3 W_log\ I + D\ total\ pc_i + B_4 Educación_i + B_5 Industria_i \\
 &+ B_6 Agricultura_i + B_7 Construcción_i + B_8 TICs_i \\
 &+ B_9 Actividades\ Científicas_i + u_i
 \end{aligned}$$

SUMMARY OF OUTPUT: ORDINARY LEAST SQUARES ESTIMATION

```

Data set           : new
Dependent Variable : tasac_IBpc  Number of Observations: 257
Mean dependent var : 10.4947    Number of Variables   : 10
S.D. dependent var : 8.35461    Degrees of Freedom    : 247

R-squared          : 0.647770    F-statistic           : 50.4719
Adjusted R-squared : 0.634936    Prob(F-statistic)    : 0
Sum squared residual: 6318.47    Log likelihood        : -776.144
Sigma-square       : 25.5808    Akaike info criterion : 1572.29
S.E. of regression : 5.05775    Schwarz criterion     : 1607.78
Sigma-square ML    : 24.5855
S.E of regression ML: 4.95837
  
```

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Probability
CONSTANT	133.854	11.536	11.6031	0.00000
LOGPIBPC05	-33.0571	2.66089	-12.4233	0.00000
LOGIDT	3.2932	0.885737	3.71803	0.00025
RETLOGIDT	1.94061	0.890456	2.17935	0.03025
Educa_rior	0.236688	0.0566222	4.18012	0.00004
agric_tura	0.0112024	0.0729009	0.153666	0.87799
industria	0.189022	0.0726781	2.60081	0.00986
const_cion	-0.631023	0.173035	-3.6468	0.00032
TICs	0.766907	0.302683	2.5337	0.01191
actci_icas	0.223689	0.105584	2.11859	0.03512

Del resultado de la regresión se pueden decir las siguientes cosas (de nuevo, obviaremos el comentario asociado a las variables de educación superior y las referidas a la ocupación por sectores y nos centraremos en las que son relevantes para la pregunta que se plantea en este apartado):

1. La variable del logaritmo de la inversión en I+D per cápita ha resultado ser significativa al 5% de significación con un coeficiente asociado de 3,2932 con signo positivo. Que el coeficiente sea positivo es algo que predice el modelo de crecimiento endógeno, es decir, que, a mayor esfuerzo tecnológico, mayor es la tasa de crecimiento que experimentarán los países.
2. La variable referente al retardo espacial de la inversión en I+D ha resultado ser significativa al 5% de significación con coeficiente igual a 1,94061 con signo positivo. Este resultado nos está indicando que sí existe una externalidad espacial en la inversión en I+D que hacen las regiones. Así, se puede concluir que el crecimiento económico de una región será mayor cuanto mayor sea su esfuerzo innovador y mayor sea el esfuerzo innovador de sus regiones vecinas. En el extremo, una región sin inversión en I+D podría crecer si sus vecinas sí que invirtiesen en I+D.

A continuación, se analizarán los contrastes de autocorrelación espacial para identificar si en el modelo propuesto, con un retardo espacial de una de las variables exógenas, existe todavía un esquema de dependencia espacial no modelizado.

Los contrastes que se usarán son el contraste *LM-Lag* y *LM-Error* (contrastos de multiplicadores de Lagrange).

El primero nos contrasta si al modelo propuesto es necesario añadirle un retardo espacial de la variable endógena. El segundo nos contrasta si al modelo propuesto es necesario añadirle un retardo espacial en los residuos. Si alguno de los contrastes saliera significativo implicaría que el modelo estimado no sería correcto, ya sea por un problema de omisión de variables relevantes (llevando a estimaciones inconsistentes) o por un problema de correlación en el término de error (llevando a una estimación ineficiente).

El resultado de ambos contrastes se muestra a continuación:

```

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
FOR WEIGHT MATRIX : new
(row-standardized weights)
TEST                MI/DF        VALUE        PROB
Moran's I (error)   0.3724       8.9729       0.00000
Lagrange Multiplier (lag)    1        101.7469     0.00000
Robust LM (lag)      1          33.9732     0.00000
Lagrange Multiplier (error)  1         67.7873     0.00000
Robust LM (error)   1          0.0136     0.90725
Lagrange Multiplier (SARMA)  2        101.7605     0.00000

```

1. Con el **LM-Lag** estamos haciendo el siguiente contraste:

$$H_0: \rho = 0$$

$$H_A: \rho \neq 0$$

Este contraste nos permite seleccionar entre el modelo restringido:

$$\begin{aligned}
 &TasadecrecimientoPIBpc_i \\
 &= B_0 + B_1 \log PIBpc_i + B_2 \log I + D \text{ total } pc_i \\
 &+ \mathbf{B_3W} \log I + \mathbf{D \text{ total } pc_i} + B_4 \text{Educación}_i + B_5 \text{Industria}_i \\
 &+ B_6 \text{Agricultura}_i + B_7 \text{Construcción}_i + B_8 \text{TICS}_i \\
 &+ B_9 \text{Actividades Científicas}_i + u_i
 \end{aligned}$$

y el ampliado:

$$\begin{aligned}
 &TasadecrecimientoPIBpc_i \\
 &= B_0 + B_1 \log PIBpc_i + B_2 \log I + D \text{ total } pc_i + \mathbf{B_3W} \log I + \mathbf{D \text{ total } pc_i} \\
 &+ B_4 \text{Educación}_i + B_5 \text{Industria}_i + B_6 \text{Agricultura}_i \\
 &+ B_7 \text{Construcción}_i + B_8 \text{TICS}_i + B_9 \text{Actividades Científicas}_i \\
 &+ \rho \mathbf{W} TasadecrecimientoPIBpc_i + u_i
 \end{aligned}$$

A partir del contraste se concluye que se rechaza H_0 y concluimos que el modelo necesita de un retardo espacial de la variable endógena, es decir, el contraste parece indicar que el hecho de que unas regiones crezcan está afectando al crecimiento de sus regiones vecinas.

2. Con el **LM-Error** estamos haciendo el siguiente contraste:

$$H_0: \lambda = 0$$

$$H_A: \lambda \neq 0$$

Este contraste nos permite seleccionar entre el modelo restringido:

$$\begin{aligned} \text{TasadecrecimientoPIBpc}_i &= B_0 + B_1 \log \text{PIBpc}_i + B_2 \log I + D \text{ total pc}_i \\ &+ \mathbf{B}_3 \mathbf{W} \cdot \log I + \mathbf{D} \text{ total pc}_i + B_4 \text{Educación}_i + B_5 \text{Industria}_i \\ &+ B_6 \text{Agricultura}_i + B_7 \text{Construcción}_i + B_8 \text{TICs}_i \\ &+ B_9 \text{ActividadesCientíficas}_i + u_i \end{aligned}$$

y el ampliado:

$$\begin{aligned} \text{TasadecrecimientoPIBpc}_i &= B_0 + B_1 \log \text{PIBpc}_i + B_2 \log I + D \text{ total pc}_i \\ &+ \mathbf{B}_3 \mathbf{W} \cdot \log I + \mathbf{D} \text{ total pc}_i + B_4 \text{Educación}_i + B_5 \text{Industria}_i \\ &+ B_6 \text{Agricultura}_i + B_7 \text{Construcción}_i + B_8 \text{TICs}_i \\ &+ B_9 \text{ActividadesCientíficas}_i + u_i \end{aligned}$$

$$\mathbf{u}_i = \lambda \mathbf{W} \mathbf{u}_i + \boldsymbol{\varepsilon}_i \boldsymbol{\varepsilon}_i \sim N(\mathbf{0}, \sigma^2 \mathbf{I}_0)$$

A partir del p-valor del estadístico del contraste vemos que se rechaza H_0 y concluimos que el modelo también precisa de un retardo espacial en el término de error.

¿Qué ocurre si ambos son significativos?

Cuando ambos contrastes son significativos con un alto grado de significación se utilizan los robustos de dichos contrastes.

El Test Robusto del retardo espacial LM-LE corrige el *LM-Lag* para ajustarlo a un desplazamiento de χ^2 causado por la dependencia espacial en la perturbación. Es equivalente asintóticamente a la I de Moran.

El Test Robusto del error espacial LM-EL corrige el LM-Error para ajustarlo al desplazamiento de χ^2 causado por el retardo espacial de la endógena.

Los test robustos de ambos contrastes suelen ir en dirección contraria que el otro, es decir, uno suele ser significativo mientras que el otro no (o más significativo que el otro).

Este será el criterio de decisión para escoger el modelo. El test robusto del retardo espacial es significativo, mientras que el test robusto del error no lo es. Por lo que usaremos un retardo espacial de la variable endógena en la siguiente regresión.

A continuación, se estima por máxima verosimilitud la siguiente regresión:

$$\begin{aligned}
 &TasadecrecimientoPIBpc_i \\
 &= B_0 + B_1 \log PIBpc_i + B_2 \log I + D \text{ total } pc_i + B_3 W_{\log I + D \text{ total } pc_i} \\
 &+ B_4 \text{Educación}_i + B_5 \text{Industria}_i + B_6 \text{Agricultura}_i \\
 &+ B_7 \text{Construcción}_i + B_8 \text{TICs}_i + B_9 \text{Actividades Científicas}_i \\
 &+ \rho W_{TasadecrecimientoPIBpc_i} + u_i
 \end{aligned}$$

SUMMARY OF OUTPUT: SPATIAL LAG MODEL - MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION

```

Data set          : new
Spatial Weight    : new
Dependent Variable : tasac_IBpc  Number of Observations: 257
Mean dependent var : 10.4947   Number of Variables   : 11
S.D. dependent var : 8.35461   Degrees of Freedom    : 246
Lag coeff. (Rho)  : 0.577313

R-squared         : 0.786992   Log likelihood        : -724.063
Sq. Correlation   : -         Akaike info criterion : 1470.13
Sigma-square      : 14.8678   Schwarz criterion     : 1509.17
S.E of regression : 3.85588
  
```

Variable	Coefficient	Std. Error	z-value	Probability
W_tasac_IBpc	0.577313	0.0483988	11.9282	0.00000
CONSTANT	61.3309	10.2092	6.0074	0.00000
LOGPIBPC05	-16.0003	2.37989	-6.72314	0.00000
LOGIDT	1.438	0.681563	2.10986	0.03487
RETLOGIDT	0.902875	0.681265	1.32529	0.18507
Educa_rior	0.150865	0.0442691	3.4079	0.00065
agric_tura	-0.000938053	0.0556189	-0.0168657	0.98654
industria	0.12746	0.055889	2.2806	0.02257
const_cion	-0.186728	0.134058	-1.39289	0.16365
TICs	0.511814	0.233948	2.18773	0.02869
actci_icas	0.168168	0.0810225	2.07558	0.03793

La siguiente salida es la resultante de estimar el modelo con un retardo de la endógena.

La nueva variable, el retardo espacial de la variable endógena, ha resultado ser significativa, con un coeficiente asociado de 0,577313 con signo positivo. Que el signo sea positivo indica que el hecho de que una región esté creciendo, afecta al crecimiento de manera positiva a sus regiones vecinas.

Sin embargo, en esta regresión, la variable del retardo espacial de la exógena resulta ser no significativa. Esto es debido a que el retardo espacial de la variable endógena ya está recogiendo el efecto que tiene la inversión en I+D total per cápita en el crecimiento económico de sus vecinas.

A continuación, se estimará una última regresión donde se elimina el retardo espacial de la variable exógena y las variables que han resultado ser no significativas.

TasadecrecimientoPIBpc_i

$$= B_0 + B_1 \log PIBpc_i + B_2 \log I + D \text{ total } pc_i + B_3 \text{Educación}_i + B_4 \text{Industria}_i + B_6 \text{TICs}_i + B_7 \text{Actividades Científicas}_i + \rho W_TasadecrecimientoPIBpc_i + u_i$$

SUMMARY OF OUTPUT: SPATIAL LAG MODEL - MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION

```
Data set          : new
Spatial Weight    : new
Dependent Variable : tasac_IBpc  Number of Observations: 257
Mean dependent var : 10.4947  Number of Variables : 8
S.D. dependent var : 8.35461  Degrees of Freedom : 249
Lag coeff. (Rho)  : 0.602122

R-squared         : 0.785980  Log likelihood : -725.997
Sq. Correlation   : -        Akaike info criterion : 1467.99
Sigma-square      : 14.9385  Schwarz criterion : 1496.39
S.E of regression : 3.86504
```

Variable	Coefficient	Std. Error	z-value	Probability
W_tasac_IBpc	0.602122	0.0470798	12.7894	0.00000
CONSTANT	54.7	8.3071	6.58473	0.00000
LOGPIBPC05	-14.6542	2.03657	-7.19554	0.00000
LOGIDT	1.75338	0.628067	2.79172	0.00524
Educa_rior	0.140976	0.0437668	3.22108	0.00128
industria	0.140718	0.0502659	2.79947	0.00512
TICs	0.605363	0.198986	3.04224	0.00235
actci_icas	0.175378	0.074992	2.33862	0.01935

Esta regresión presenta unos criterios de información menores que la regresión anterior (Akaike y Schwarz), así pues, la pérdida de información del modelo es menor que el anterior, por lo que concluimos que es un modelo que se ajusta mejor a la realidad.

Resultados de la regresión:

Todas las variables del modelo han resultado ser significativas, aunque a diferentes niveles de significación.

- El retardo espacial de la variable endógena está indicando que el hecho de que unas regiones crezcan, afecta positivamente al crecimiento de sus regiones vecinas.
- El logaritmo del PIB per cápita tiene, como era de esperar, un signo negativo, con lo que confirmamos que aún con un retardo espacial de la variable endógena, las regiones europeas presentan convergencia condicional.
- La inversión en I+D tiene un signo positivo, y como predice el modelo de crecimiento endógeno, a mayor esfuerzo tecnológico, mayor crecimiento económico.
- El peso en ocupación para los sectores de la industria, los relacionados a las actividades de la información y la comunicación y las actividades financieras también tienen un efecto positivo sobre el crecimiento económico.

¿Cómo influye en la regresión tener la endógena retardada espacialmente?

Para comprobar la influencia de un retardo espacial de la variable endógena vamos a transformar la ecuación del modelo que estamos estimando. Para facilitar el análisis supondremos que sólo tenemos tres variables exógenas: el logaritmo del PIB per cápita, el logaritmo de la inversión en I+D total per cápita y el retardo espacial de la variable endógena.

Partimos de la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{TasadecrecimientoPIBpc}_i & \\ &= B_0 + B_1 \log \text{PIBpc}_i + B_2 \log I + D \text{ total pc}_i \\ &+ \rho W \text{TasadecrecimientoPIBpc}_i + u_i \end{aligned}$$

Simplificando las expresiones:

$$TCPIBpc_i = B_0 + B_1 \text{PIBpc}_i + B_2 IDpc_i + \rho W TCPIBpc_i + u_i$$

Esta ecuación se puede transformar de la siguiente manera:

$$TCPIBpc_i - \rho W TCPIBpc_i = B_0 + B_1 \text{PIBpc}_i + B_2 IDpc_i + u_i$$

$$(I - \rho W) TCPIBpc_i = B_0 + B_1 \text{PIBpc}_i + B_2 IDpc_i + u_i$$

$$TCPIBpc_i = B_0 + (I - \rho W)^{-1} B_1 \text{PIBpc}_i + (I - \rho W)^{-1} B_2 IDpc_i + (I - \rho W)^{-1} u_i$$

$$TCPIBpc_i = B_0 + (I + \rho W + \rho^2 W^2 + \rho^3 W^3 + \rho^4 W^4 + \dots) B_1 \text{PIBpc}_i + (I + \rho W + \rho^2 W^2 + \rho^3 W^3 + \rho^4 W^4 + \dots) B_2 IDpc_i + (I + \rho W + \rho^2 W^2 + \rho^3 W^3 + \rho^4 W^4 + \dots) u_i$$

$$TCPIBpc_i = B_0 + B_1 \text{PIBpc}_i + \rho W B_1 \text{PIBpc}_i + \rho^2 W^2 B_1 \text{PIBpc}_i + \rho^3 W^3 B_1 \text{PIBpc}_i + B_2 IDpc_i + \rho W B_2 IDpc_i + \rho^2 W^2 B_2 IDpc_i + \rho^3 W^3 B_2 IDpc_i + u_i + \rho W u_i + \rho^2 W^2 u_i + \rho^3 W^3 u_i$$

A partir de la expresión anterior se muestra que cuando estimamos una regresión con la variable endógena retardada espacialmente, el retardo espacial de la endógena está recogiendo el efecto que tienen las variables exógenas de las vecinas (W , contigüidad de primer orden) en la variable endógena, así como el efecto que tienen las exógenas de las vecinas de las vecinas (W^2 , contigüidad de segundo orden), etcétera.

5. Políticas económicas para promover la I+D+i.

El enfoque teórico de este apartado ha sido obtenido del capítulo ocho del libro *Política Económica, elaboración, objetivos e instrumentos*, R. Cuadrado, Juan.

En la política económica o industrial, el análisis de la innovación se centra en cómo puede promover el Estado la mejora de la eficiencia dinámica, es decir, que el desarrollo y la adaptación de las nuevas innovaciones tecnológicas se produzcan al mejor ritmo posible. Las políticas de innovación tecnológica son políticas de índole microeconómica, ya que la intervención que hace el Estado modifica los incentivos microeconómicos de las empresas buscando potenciar la práctica en esta actividad.

Las innovaciones tienen un problema y es que, si no se protegen, cuando un inventor quiere vender su idea y la revela, el comprador potencial ya no tendrá incentivos a comprarla porque ya la conoce. Debido a este hecho se puede deducir que las innovaciones tecnológicas se tratan de un bien público, ya que una vez que se han producido, los agentes económicos pueden beneficiarse de las externalidades positivas derivadas de la innovación. Por si fuera poco, el coste marginal de su reproducción a otro agente económico es cercano a cero.

En un entorno de competencia perfecta, las empresas no compiten en el uso de la tecnología, es por eso que los agentes económicos generan un nivel de innovaciones tecnológicas por debajo del socialmente óptimo. Para corregir este suceso interviene el Estado y se encarga, o lo intenta a través de políticas económicas e industriales, asegurar una provisión óptima de la innovación tecnológica.

Es necesario que haya políticas que apoyen a determinados sectores económicos, puesto que el sector privado puede estar realizando una inversión menor a la socialmente deseable, a pesar que la inversión en I+D genera importantes externalidades positivas. Teniendo en cuenta la arriesgada naturaleza de la innovación, no cabe esperar una tasa de éxito elevada en relación con las subvenciones concedidas a la I+D+i, pero el Estado debe apoyar estas iniciativas favoreciendo la investigación y la difusión del conocimiento, sobre todo en los sectores de vanguardia.

El Estado dispone de varias herramientas de intervención para incentivar la innovación tecnológica, cada una de ellas con diferente grado de intrusión en los mercados.

5.1 Subvenciones.

Como hemos dicho, el hecho de que las empresas compitan, mayoritariamente, en un entorno de competencia perfecta puede llevarlas a no tener los incentivos suficientes para producir la cantidad de inversión en I+D socialmente óptimas. La tecnología, al generar externalidades positivas, el beneficio marginal social es superior al beneficio marginal privado. Es por esta razón por la cual una intervención del Estado puede modificar el comportamiento de las empresas para que éstas produzcan el nivel socialmente óptimo. Veremos esto con un sencillo ejemplo de análisis microeconómico.

Supongamos que en una economía el Beneficio marginal de los proyectos de I+D vienen dados por la función $B'_{social} = 80 - 0.5x$, donde x es el número de proyectos que se pueden llevar a cabo. El coste de cada proyecto, es decir, el coste marginal, es $C' = 20$. La probabilidad de éxito asociada a los proyectos de I+D es del 50%, por lo que la función de los beneficios marginales de la empresa viene dada por la siguiente función $B'_{empresa} = 40 - 0.25x$.

Con estos datos la situación inicial para una empresa sub i es la siguiente:

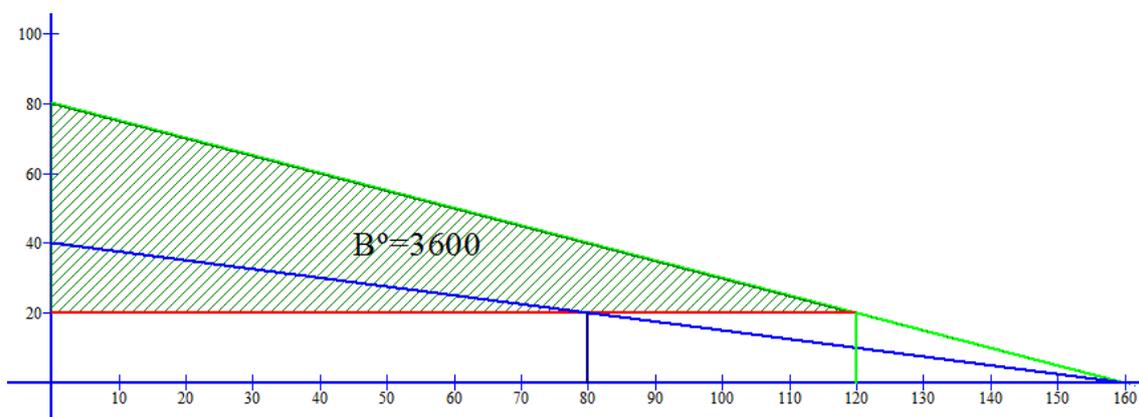


Figura 13
Fuente: Elaboración propia

Donde la recta verde representa los beneficios marginales sociales, la azul los beneficios marginales de la empresa y la recta roja son los costes marginales de producir un proyecto.

El área verde representa la situación en la que no existe incertidumbre en los proyectos de I+D, por lo tanto, la probabilidad asociada a su éxito es del 100%. Si esto fuera así, el beneficio social sería igual a 3600 y se llevarían a cabo 120 proyectos de investigación con éxito.

Vista la situación inicial, vemos qué ocurre cuando introducimos en el análisis una probabilidad de éxito asociada a los proyectos de I+D del 50%. Como hemos dicho anteriormente esto nos cambia la función de beneficios marginales, representada por la recta azul. La situación resultante viene definida por el siguiente gráfico:

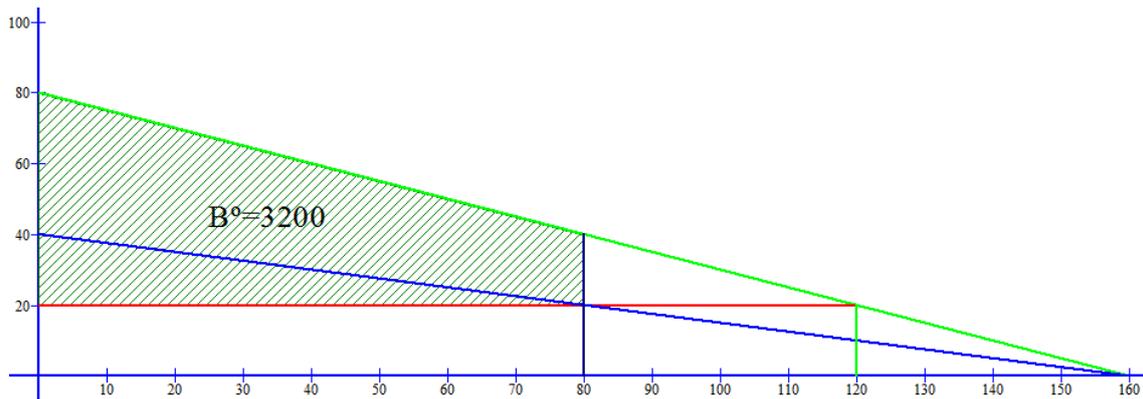


Figura 14
Fuente: Elaboración propia

Al reducirse la probabilidad asociada al éxito de los proyectos en I+D el resultado final es que el número de proyectos se reduce a 80, reduciéndose el beneficio social a 3200. Lo que nos lleva a un resultado ineficiente desde el punto de vista social. Aquí estaría justificada la intervención del Estado ya que se provoca un fallo de mercado.

Una solución para que la empresa vuelva a producir 120 proyectos de investigación, el número socialmente óptimo, sería una subvención tal que a la empresa le fuera rentable producir 120 proyectos. Se puede analizar esta situación en el siguiente gráfico:

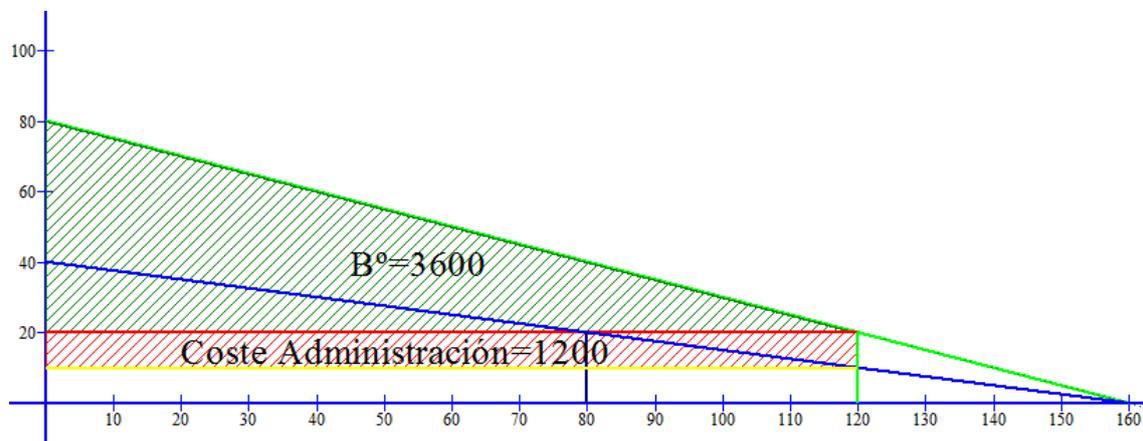


Figura 15
Fuente: Elaboración propia

La subvención realizada es igual a 10 um por proyecto realizado. Esta subvención reduce los costes marginales de cada proyecto a 10 um. Por lo que, ahora, el número de proyectos que realizará la empresa será de 120, al cruzarse la recta de beneficios marginales de la empresa con la recta de coste marginal. Al producirse de nuevo 120 proyectos en I+D, el resultado socialmente óptimo vuelve a ser de 3600, sin embargo, llegar a este resultado conlleva un

coste para la Administración equivalente a 1200 por lo que el coste de la subvención es mayor a la ganancia social (400), por lo que hay una pérdida de eficiencia de 800.

La pregunta que se nos plantea, pues, es cómo conseguir incentivar a las empresas a producir 120 proyectos de I+D sin que el coste de las subvenciones sea tan elevado. Se puede ver en el gráfico que la empresa, con un coste marginal de 20 um por proyecto, tiene beneficios hasta llegar al proyecto 80, donde la función de costes marginales cruza con la de beneficios marginales de la empresa. La solución puede radicar en una subvención selectiva a partir del proyecto 80, que incentive a seguir investigando hasta el proyecto socialmente óptimo, es decir, el proyecto número 120. El resultado de la subvención selectiva se muestra en el siguiente gráfico:

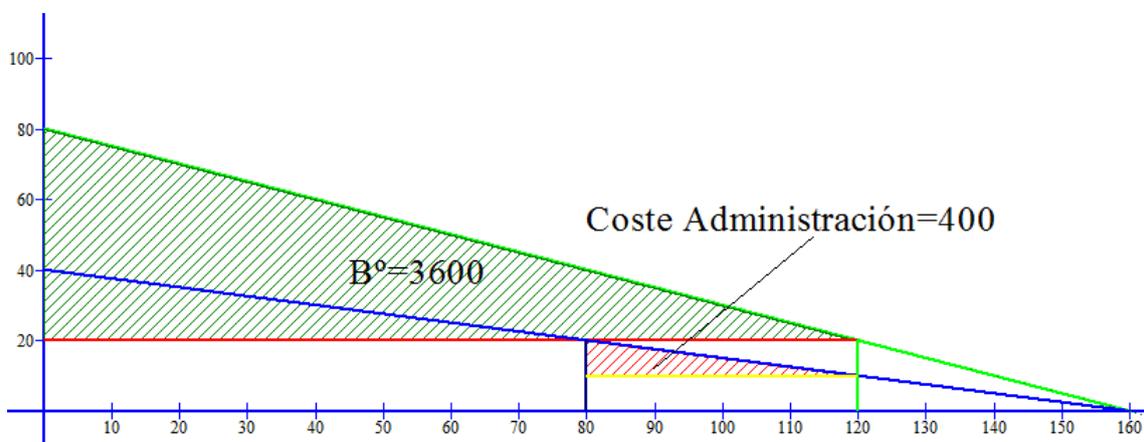


Figura 16
Fuente: Elaboración propia

El resultado final de aplicar esta subvención selectiva a partir del proyecto número 80 es un incremento del número de proyectos realizados hasta 120, alcanzando el socialmente óptimo.

Para la Administración tiene un coste de 400, igual que el beneficio social que se gana, por lo que la subvención selectiva termina con éxito al incrementar el beneficio social hasta el deseado sin que el coste para la administración sea superior a éste.

5.2 Políticas a favor del capital-riesgo.

Las inversiones en I+D suelen caracterizarse por su elevado riesgo, ya que existe incertidumbre acerca del resultado de esa inversión, es por esto que las entidades financieras suelen ser bastante reticentes a conceder préstamos para este tipo de inversiones

Las empresas ya consolidadas en sus respectivos sectores donde tienen competencia limitada no suelen tener problemas para autofinanciar sus actividades en I+D. Sin embargo, las pequeñas y medianas empresas o aquellas que actúan en entornos muy competitivos sí que tienen dificultades para financiar sus proyectos. Normalmente se financian a través de empresas de capital-riesgo, entendiendo cómo capital-riesgo la actividad financiera que trata de proporcionar recursos a empresas con actividades con mucha incertidumbre con dificultades para obtener financiación. Las empresas de capital-riesgo, como contrapartida, suelen pedir una proporción significativa de los beneficios y un seguimiento bastante exhaustivo de la evolución del proyecto.

Dado que el capital-riesgo tiene efectos positivos sobre la innovación tecnológica, proporcionando recursos a aquellas empresas que de otro modo no la conseguirían, el Estado debe realizar políticas públicas a favor de esta forma de financiación, mejorando el funcionamiento de los mercados de capital-riesgo.

5.3 Políticas de capital humano.

Cómo se ha visto en el resultado de las regresiones, el coeficiente β asociado a la variable de porcentaje de personas con estudios superiores era claramente significativo y positivo, lo que nos indica que a mayor porcentaje de personas con estudios superiores más alto es el crecimiento económico. Esto es debido a que las nuevas tecnologías generalmente necesitan de una mano de obra cada vez más cualificada para poder utilizarse. A su vez, la disponibilidad de trabajadores con elevada cualificación puede permitir el desarrollo de nuevas tecnologías, lo que influirá sobre los procesos de cambio técnico de las empresas y como consecuencia en la productividad y como resultado final habrá un aumento del crecimiento en el PIB per cápita.

Un país que quiera desarrollarse tecnológicamente debe contar con un capital humano suficientemente cualificado. Las nuevas políticas tecnológicas incluyen recomendaciones relativas al desarrollo del capital humano, promoviendo, por ejemplo, inversiones en educación y en la formación de los trabajadores.

Para impulsar un desarrollo del capital humano acorde con los procesos de innovación tecnológica, el Estado puede subvencionar programas de capacitación y formación de trabajadores de elevada cualificación y crear un marco adecuado para favorecer la movilidad del capital humano.

5.4 Protección a de la propiedad intelectual: las patentes.

Una patente es un derecho de uso exclusivo de un determinado método de producción o de comercialización de un producto concreto, durante un período de tiempo determinado. El Estado puede proteger los resultados de la investigación efectuada por una empresa de su apropiación por parte de otras empresas mediante una política rigurosa de patentes, que permite a la empresa disfrutar temporalmente de parte de los rendimientos derivados de su actividad innovadora, al poder fijar los precios del producto que incorpora la innovación por encima del coste o comercializando la patente. Es importante que se proteja mediante patentes las nuevas innovaciones, en el caso de que no fuera así, las empresas, tanto las que actúan en monopolio como las que actúan en competencia perfecta, no tendrían incentivos a innovar, puesto que, al hacerlo, todas las demás empresas podrían disfrutar de su innovación. Si esto ocurre, el coste marginal de producción de todas las empresas caerá, llevando al mercado a un nuevo equilibrio, pero al mismo tiempo, la empresa que ha innovado, ha acarreado un coste, este coste (que es la inversión), no se verá recompensando por beneficios potenciales, al haberse distribuido la innovación por todas las empresas. Sin el sistema de patentes, las empresas no tienen incentivo a innovar, ya que, al no estar protegidas, el resto de empresas pueden beneficiarse de su inversión, provocando así que ésta haya sido inútil al no poder conseguir una situación de ventaja en el mercado, que es la que le habría dado la innovación en el caso de haber estado protegida.

Para analizar el efecto que puede tener en el mercado que una empresa posea una patente, se hará a partir del siguiente gráfico:

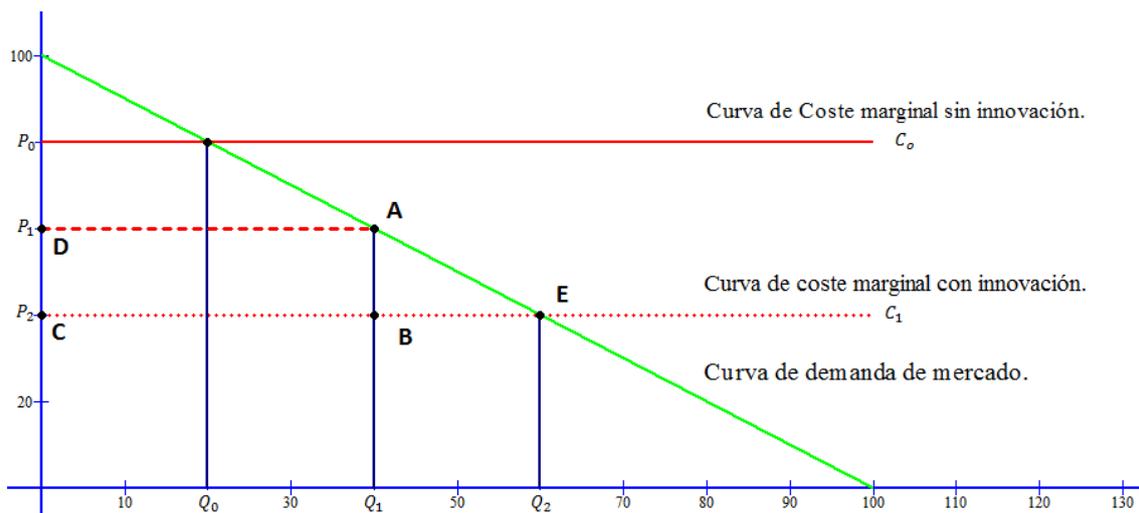


Figura 17
Fuente: Elaboración propia

Donde la recta verde representa la función de demanda del mercado, la roja, la función de costes marginales sin innovación y la roja con puntitos la función de costes marginales con innovación.

Antes de la innovación, todos los productores se enfrentaban a unos costes marginales de C_0 , suponiendo que estamos en un mercado de competencia perfecta, el precio de equilibrio es P_0 , igualándose al coste marginal C_0 .

Si una empresa introduce una innovación en el proceso productivo, los costes marginales de dicha empresa caerán a C_1 . Gracias a la protección que le proporciona la patente, la empresa innovadora podrá vender la cantidad Q_1 a un precio P_1 , inferior a P_0 . Esto provocará que las demás empresas tengan que abandonar el mercado ya que no podrán competir con la empresa innovadora, al tener unos costes más elevados, lo que llevará a la empresa innovadora a tener una situación de ventaja en el mercado, convirtiéndose en un monopolio.

Cuando la patente expira, el resto de empresas pueden beneficiarse de la innovación realizada, por lo que el coste marginal de ese mercado cae a C_1 , lo que provoca una caída de precios hasta P_1 y ahora, al volver a encontrarnos en una situación de competencia perfecta, los beneficios extraordinarios de todas las empresas vuelven a ser iguales a cero. En el nuevo equilibrio (E) los consumidores salen claramente beneficiados, al aumentar la producción hasta Q_2 e incrementarse la eficiencia económica al bajar el precio P_2 hasta igualarse con el coste marginal C_1 .

6. Conclusiones.

A lo largo de este trabajo se ha explicado, a través de los modelos de crecimiento exógeno y endógeno, la importancia del progreso tecnológico y de la inversión en Investigación y Desarrollo como mecanismo fundamental de crecimiento económico. Además, se ha explicado como la inversión en I+D puede generar externalidades positivas en el entorno usando una ampliación del modelo de crecimiento neoclásico que nos ha terminado llevando a un modelo de crecimiento endógeno.

Partiendo de estas hipótesis teóricas iniciales se han presentado unas variables y se ha procedido a estimar una serie de modelos de regresión lineal múltiple que nos ha permitido analizar si estas hipótesis se cumplen.

La primera regresión ha permitido analizar si existe una relación directa entre inversión en I+D total y crecimiento económico. Se ha visto que sí existe esta relación y que además es positiva. Regiones con una mayor tasa de inversión en I+D han crecido más que regiones con una tasa de inversión en I+D menor. Además de esto, se ha podido comprobar que también ha existido convergencia condicional en las regiones europeas entre el período de 2005 y 2015. Por último, en esta primera regresión, hemos comprobado que regiones con un porcentaje mayor de su población con estudios superiores han crecido más que regiones con un porcentaje menor. También hemos visto cómo afecta la estructura productiva de las regiones en su crecimiento económico, viendo que las regiones con un peso mayor en industria, actividades relacionadas con las tecnologías de la información y la comunicación y en actividades de carácter científico han crecido más que regiones con un peso mayor en sectores como la agricultura y la industria.

La segunda regresión realizada nos ha permitido diferenciar cómo afectaba la inversión en I+D desagregada por sectores, en concreto, sector privado, gobierno y universidades. Se ha visto que, para el periodo 2005-2015, la inversión en I+D realizada por el sector privado ha contribuido positivamente al crecimiento económico, la inversión en I+D realizada por el gobierno ha resultado ser una variable no significativa, es decir, estadísticamente no relevante y la inversión en I+D realizada por las universidades ha resultado ser significativa, pero con signo negativo, es decir, la inversión en I+D realizada por las universidades ha ralentizado el crecimiento económico. El porqué de este signo se analiza en el apartado 3.5.

A partir del contraste de Chow se ha visto que existe cambio estructural en el comportamiento de las variables cuando diferenciamos regiones ricas y regiones pobres. Se han realizado dos regresiones lineales múltiples iguales que la realizada en el apartado 3.5 pero diferenciando entre ambos grupos de regiones. El resultado ha sido que las regiones ricas no han convergido entre ellas mientras que las regiones pobres sí lo han hecho (esto con un modelo de regresión lineal múltiple, con un modelo de regresión lineal simple el resultado ha sido que las regiones ricas han divergido entre ellas). También se ha analizado el comportamiento de la inversión en I+D realizada por los distintos sectores, llegándose a la conclusión que para el período 2005-2015 únicamente la inversión realizada por el sector privado ha tenido influencia en el crecimiento económico.

Por último, se ha analizado, a través de técnicas pioneras de econometría espacial, si existe una externalidad de la inversión en I+D, tal y como predice la teoría económica. Se han realizado los contrastes globales y locales de la I de Moran para analizar la autocorrelación espacial de las variables crecimiento del PIB per cápita y de la inversión en I+D total, concluyéndose que sí existe un esquema de autocorrelación espacial general para ambas variables (es decir, que su comportamiento espacial no es aleatorio) y que existen regiones que presentan, también, patrones de comportamiento espacial. La regresión estimada ha sido la regresión inicial, pero incorporando un retardo espacial de la inversión en I+D total. El resultado de dicha regresión ha sido que sí que existe una externalidad espacial de la I+D y a través de los contrastes *LM-Lag* y *LM-Error* se ha concluido que añadiéndose un retardo espacial de la variable endógena se explica mejor la tasa de crecimiento del PIB per cápita, ya que al incorporar dicha exógena ésta recoge el efecto que tienen el resto de las variables exógenas de las regiones vecinas en el modelo, por lo que se explica de manera más precisa el crecimiento económico para el período 2005-2015 en las regiones europeas.

7. Bibliografía

Libros:

- Sala i Martin, Xavier. *Apuntes de crecimiento económico*. Segunda edición. Traducción: Elsa Vila Artadi, Editorial: Antoni Borsch. 245 páginas.
- R. Cuadrado, Juan. *Política Económica, elaboración, objetivos e instrumentos*. Cuarta edición. Editorial: McGraw-Hill. 479 páginas.
- W. Stock, James & Watson, Mark. *Introducción a la econometría*. Tercera edición. Editorial: Prentice-Hall. 624 páginas.
- Costa-Campi, María Teresa. *Economía europea, crecimiento, competitividad y mercados*. Primera edición. Editorial: Alianza Editorial. 356 páginas.
- Gracia Delgado, José Luís & Myro, Rafael. *Economía española, una introducción*. Primera edición. Editorial: Civitas. 214 páginas.
- Gracia Delgado, José Luís & Myro, Rafael. *Lecciones de economía española*. 11ª Edición. Editorial: Civitas. 401 páginas.

Artículos:

- Myro, Rafael. *CRECIMIENTO ECONÓMICO E INNOVACIÓN: UN BREVE APUNTE ACERCA DE LA EVIDENCIA EMPÍRICA*. Revista Galega de Economía, vol. 19, núm. extraord. (2010)

Base de datos:

- Los datos para la realización de este trabajo han sido obtenidos de la base de datos del Eurostat.

8. Anexo: Análisis de la externalidad de la I+D usando una matriz de distancia.

En el apartado cuarto de este trabajo se ha analizado la existencia de la presencia de una externalidad espacial de la inversión en I+D total usando una matriz de contigüidad física Queen de orden uno. En este anexo se realizará el mismo análisis, pero con una matriz de distancia para comprobar si varían los resultados.

8.1 Análisis exploratorio.

I de Moran Global de la variable *Tasa de crecimiento del PIB* p_{c_i}

H_0 : Ausencia de autocorrelación espacial (distribución aleatoria de la variable)

H_A : Presencia de autocorrelación espacial

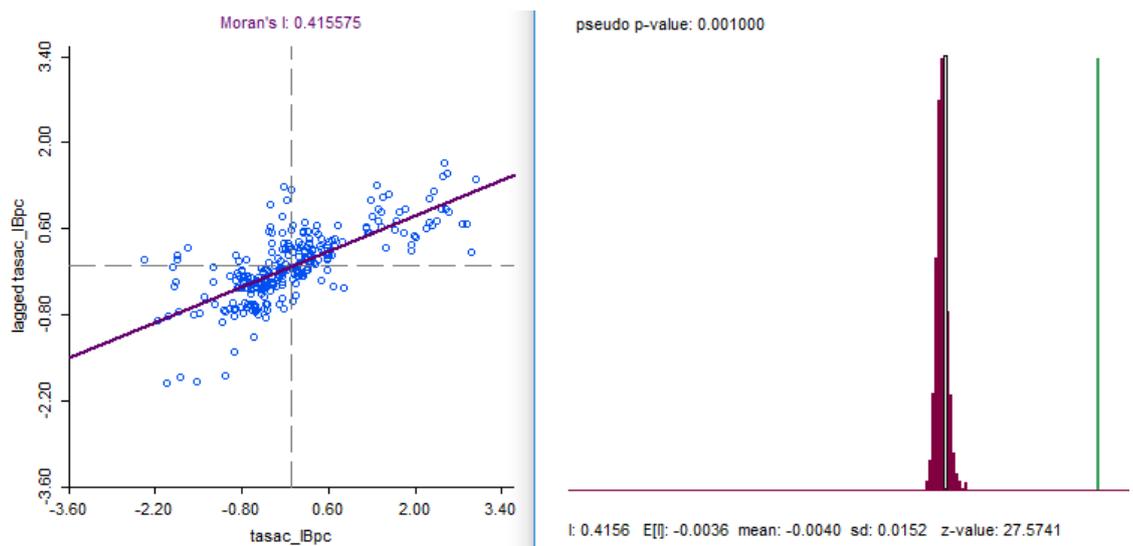


Figura 18: Contraste de la I de Moran global para la variable tasa de crecimiento del PIB per cápita
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Eurostat.

El gráfico Scatter-Plot relaciona las variables tasa de crecimiento del PIB per cápita y su retardo espacial, esta vez, el promedio del retardo espacial es equivalente a las regiones vecinas que se encuentran a la distancia mínima que permite el Geoda (626040 unidades de distancia) de la observación en cuestión.

Las observaciones de la muestra se encuentran agrupadas en el primer y tercer cuadrante y la pendiente de la recta que se asocia a la nube de puntos tiene pendiente positiva, por lo tanto, en caso de existir autocorrelación espacial sería autocorrelación espacial sería con signo positivo.

Para confirmar la presencia de autocorrelación espacial nos fijamos en el p-valor asociado al estadístico del contraste de la I de Moran global, que es igual a 0,001, menor al 5% de significación. Por lo tanto, se concluye la existencia de autocorrelación espacial.

Así pues, concluimos que con una matriz de distancia también existe la presencia de **autocorrelación espacial positiva**: valores bajos están agrupados con valores bajos y valores altos están agrupados con valores altos de la variable.

I de Moran local variable *Tasa de crecimiento del PIBpc_i*

H_0 : Ausencia de autocorrelación espacial alrededor de i

H_A : Presencia de autocorrelación espacial alrededor de i

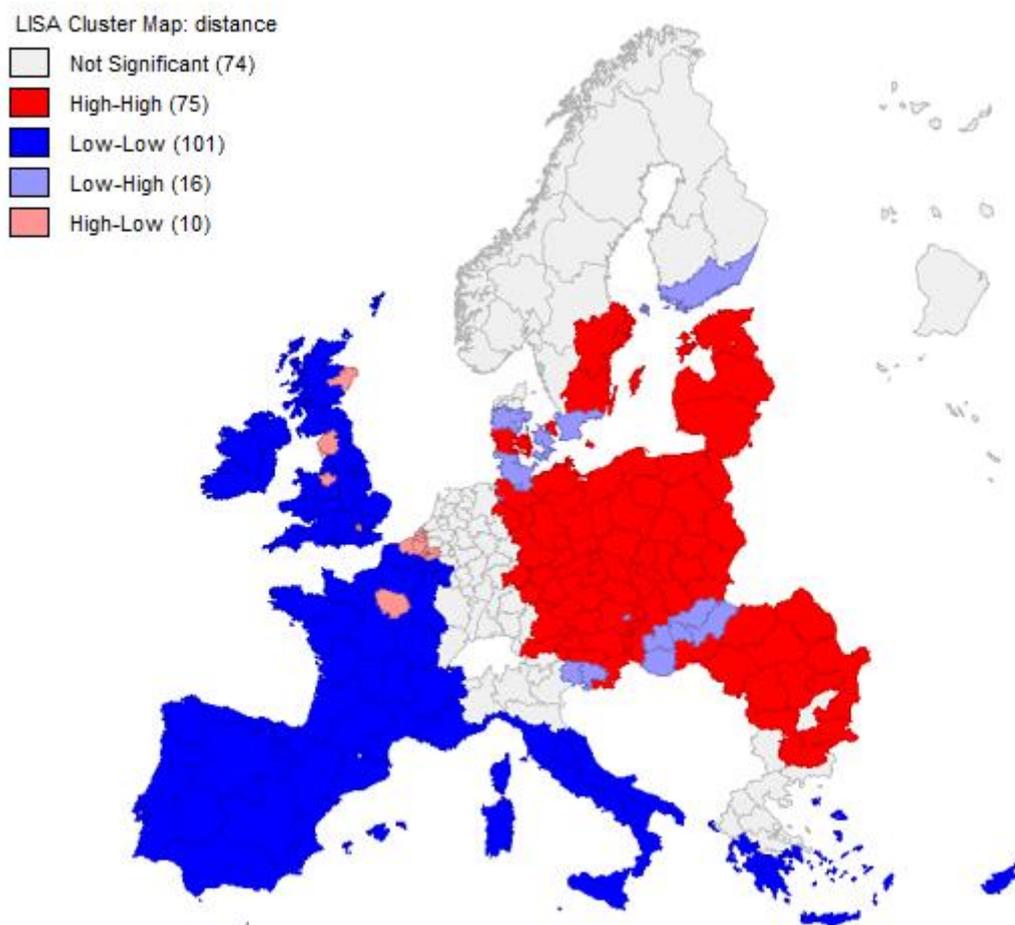


Figura 19: Contraste de la I de Moran local para la variable tasa de crecimiento del PIB per cápita
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Eurostat

Con el contraste de la I de Moran local estamos analizando la presencia de algún tipo de dependencia espacial región por región. Usando la matriz de distancias, el contraste de la I de Moran local detecta más regiones significativas. Esto es debido a que la matriz de distancias tiene en cuenta a más regiones para una región *sub i* que con la matriz de contigüidad física.

y sus vecinas concentran valores significativamente más elevados o bajos de lo que sucedería en caso de existir una distribución aleatoria de la variable en el espacio

- **Clusters:**

- **High-High:** En total tenemos 75 observaciones que han resultado ser significativas, las regiones que son clusters high-high son las que están coloreadas de color rojo. Éstas se caracterizan por haber presentado valores altos de crecimiento y de estar rodeadas a 626040 unidades de distancia de regiones que también han crecido significativamente más que en el caso de existir una distribución aleatoria en el espacio.
- **Low-Low:** En total tenemos 101 observaciones que han resultado ser significativas, las regiones que con clusters low-low son las que están coloreadas de color azul oscuro. Éstas se caracterizan por haber presentado valores bajos de crecimiento y de estar rodeadas a 626040 unidades de distancia de regiones que también han crecido significativamente menos que en el caso de existir una distribución aleatoria en el espacio.

- **Outliers:**

- **High-Low:** El contraste de la I de Moran local ha identificado a 10 regiones que se caracterizan por haber tenido una alta tasa de crecimiento económico mientras que las regiones que se sitúan a 626040 unidades de distancia han tenido una tasa de crecimiento baja respecto a la que existiría en el caso de existir una distribución aleatoria en el espacio.
- **Low-High:** El contraste de la I de Moran local ha identificado a 16 regiones que se caracterizan por haber tenido una baja tasa de crecimiento económico mientras que las regiones que se sitúan a 626040 unidades de distancia han tenido una tasa de crecimiento alta respecto a la que existiría en el caso de existir una distribución aleatoria en el espacio.

I de Moran Global de la variable $\log I + D \text{ total } pc_{05}$

H_0 : Ausencia de autocorrelación espacial (distribución aleatoria de la variable)

H_A : Presencia de autocorrelación espacial

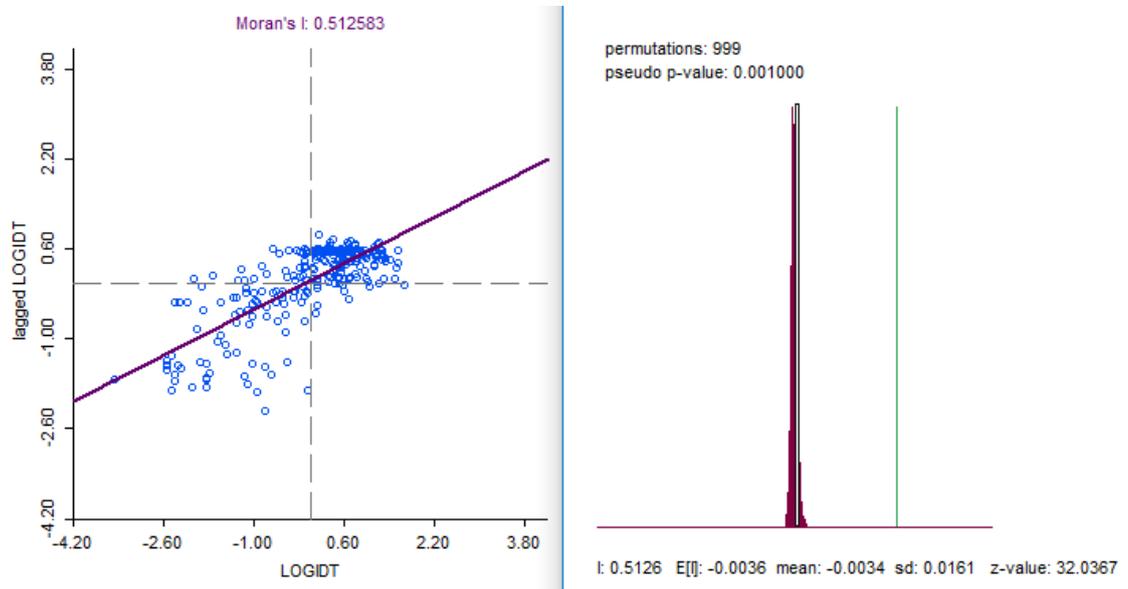


Figura 20: Contraste de la I de Moran global para la variable logaritmo de la inversión en I+D total per cápita. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Eurostat.

El contraste general de la I de Moran global también nos está detectando un esquema de autocorrelación espacial positiva para la variable logaritmo de la inversión en I+D total per cápita. El p-valor asociado al contraste es de 0,001, inferior al 5% de significación. Además, las observaciones parecen estar concentradas entre los cuadrantes 1 y 3, y la pendiente de la recta que se asocia a la nube de puntos es positiva, por lo que nos está indicando que la autocorrelación espacial es positiva.

I de Moran local variable $\log I + Dpc_{05}$

H_0 : Ausencia de autocorrelación espacial alrededor de i

H_A : Presencia de autocorrelación espacial alrededor de i

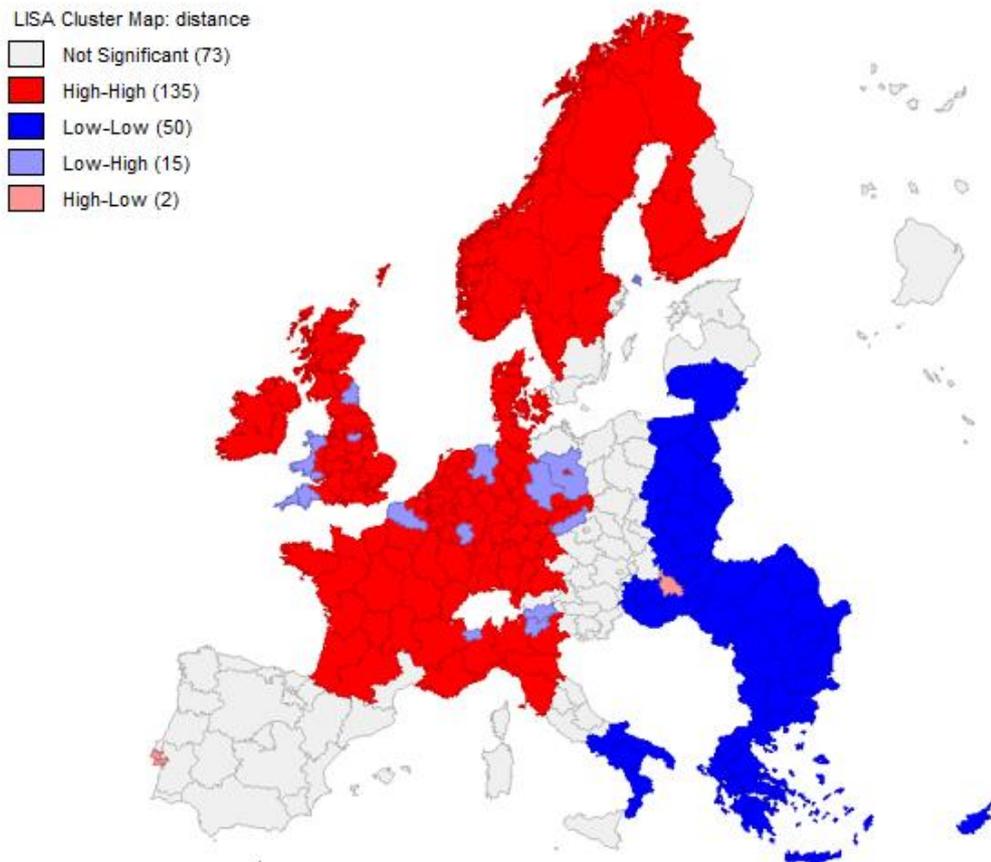


Figura 21: Contraste de la I de Moran local para la variable logaritmo de la I+D total per cápita. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Eurostat.

El contraste de la I de Moran local nos ha detectado 202 regiones significativas.

- **Clusters:**

- **High-High:** En total tenemos 135 observaciones que han resultado ser significativas, las regiones que son clusters high-high son las que están coloreadas de color rojo. Éstas se caracterizan por haber presentado valores altos en inversión en I+D per cápita y de estar rodeadas a 626040 unidades de distancia de regiones que también han tenido una inversión en I+D per cápita significativamente más elevada que en el caso de existir una distribución aleatoria en el espacio.
- **Low-Low:** En total tenemos 50 observaciones que han resultado ser significativas, las regiones que con clusters low-low son las que están

coloreadas de color azul oscuro. Éstas se caracterizan por haber presentado valores bajos en inversión en I+D per cápita y de estar rodeadas a 626040 unidades de distancia de regiones que también han una inversión en I+D per cápita significativamente más baja que en el caso de existir una distribución aleatoria en el espacio.

- **Outliers:**

- **High-Low:** El contraste de la I de Moran local ha identificado a 10 regiones que se caracterizan por haber tenido una alta tasa en inversión en I+D per cápita mientras que las regiones que se sitúan a 626040 unidades de distancia han tenido una tasa de inversión en I+D per cápita baja respecto a la que existiría en el caso de existir una distribución aleatoria en el espacio.

- **Low-High:** El contraste de la I de Moran local ha identificado a 16 regiones que se caracterizan por haber tenido una baja tasa en inversión en I+D per cápita mientras que las regiones que se sitúan a 626040 unidades de distancia han tenido una tasa de inversión en I+D per cápita alta respecto a la que existiría en el caso de existir una distribución aleatoria en el espacio.

8.2 Análisis confirmatorio

A continuación, se estimará por MCO la misma expresión que se ha estimado en el apartado 4.2. La variable exógena del retardo espacial de la I+D ha sido recalculada usando una matriz de distancias.

Tasa de crecimiento PIBpc_i

$$\begin{aligned}
 &= B_0 + B_1 \log \text{PIBpc}_i + B_2 \log I + D \text{ total pc}_i \\
 &+ B_3 W \log I + D \text{ total pc}_i + B_4 \text{Educación}_i + B_5 \text{Industria}_i \\
 &+ B_6 \text{Agricultura}_i + B_7 \text{Construcción}_i + B_8 \text{TICs}_i \\
 &+ B_9 \text{Actividades Científicas}_i + u_i
 \end{aligned}$$

SUMMARY OF OUTPUT: ORDINARY LEAST SQUARES ESTIMATION

```

Data set           : new
Dependent Variable : tasac_IBpc  Number of Observations: 265
Mean dependent var : 10.2124   Number of Variables   : 10
S.D. dependent var : 8.50862   Degrees of Freedom    : 255

R-squared          : 0.660188   F-statistic           : 55.0461
Adjusted R-squared : 0.648195   Prob(F-statistic)    : 0
Sum squared residual: 6519.32   Log likelihood       : -800.389
Sigma-square       : 25.566    Akaike info criterion : 1620.78
S.E. of regression : 5.05628   Schwarz criterion    : 1656.58
Sigma-square ML    : 24.6012
S.E of regression ML: 4.95996
  
```

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Probability
CONSTANT	117.869	10.1173	11.6502	0.00000
LOGPIBPC05	-30.6411	2.27739	-13.4545	0.00000
LOGIDT	2.54894	0.818723	3.11331	0.00206
RETLOGID2	3.54668	0.918263	3.86237	0.00014
Educa_rior	0.229837	0.0535338	4.2933	0.00003
agric_tura	0.108028	0.0726459	1.48705	0.13824
industria	0.238583	0.0631547	3.77775	0.00020
const_cion	-0.4278	0.181803	-2.3531	0.01938
TICs	0.989756	0.296707	3.33581	0.00098
actci_icas	0.273651	0.10205	2.68154	0.00781

En este resultado no hay diferencias significativas respecto al resultado del apartado 4.2. Ahora se procederá a analizar los contrastes de selección de modelos.

TEST	MI/DF	VALUE	PROB
Moran's I (error)	0.1117	9.0072	0.00000
Lagrange Multiplier (lag)	1	64.9384	0.00000
Robust LM (lag)	1	31.9094	0.00000
Lagrange Multiplier (error)	1	39.4459	0.00000
Robust LM (error)	1	6.4169	0.01130
Lagrange Multiplier (SARMA)	2	71.3553	0.00000

El resultado de los contrastes indica que el modelo necesita de un retardo espacial de la variable endógena, con lo cual se construye el mismo modelo que el del apartado 4.2:

TasadecrecimientoPIBpc_i

$$= B_0 + B_1 \log PIBpc_i + B_2 \log I + D \text{ total } pc_i + B_3 W_{\log I+D \text{ total } pc_i} + B_4 \text{Educación}_i + B_5 \text{Industria}_i + B_6 \text{Agricultura}_i + B_7 \text{Construcción}_i + B_8 \text{TICs}_i + B_9 \text{Actividades Científicas}_i + \rho W_{\text{TasadecrecimientoPIBpc}_i} + u_i$$

SUMMARY OF OUTPUT: SPATIAL LAG MODEL - MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION

```
Data set           : new
Spatial Weight     : distance m
Dependent Variable : tasac_IBpc   Number of Observations: 265
Mean dependent var : 10.2124   Number of Variables   : 11
S.D. dependent var : 8.50862   Degrees of Freedom    : 254
Lag coeff. (Rho)  : 0.690914

R-squared         : 0.748025   Log likelihood        : -763.982
Sq. Correlation   : -         Akaike info criterion : 1549.96
Sigma-square      : 18.2421   Schwarz criterion     : 1589.34
S.E of regression : 4.27108
```

Variable	Coefficient	Std. Error	z-value	Probability
W_tasac_IBpc	0.690914	0.0728087	9.48944	0.00000
CONSTANT	76.1131	9.51146	8.00225	0.00000
LOGPIBPC05	-20.5122	2.14069	-9.58204	0.00000
LOGIDT	1.56411	0.699838	2.23496	0.02542
RETLOGID2	1.59775	0.7766	2.05737	0.03965
Educa_rior	0.185603	0.045539	4.07569	0.00005
agric_tura	0.00980743	0.0622861	0.157458	0.87488
industria	0.12479	0.0542514	2.30022	0.02144
const_cion	-0.120982	0.155502	-0.778011	0.43656
TICs	0.726736	0.25236	2.87976	0.00398
actci_icas	0.159887	0.0866153	1.84595	0.06490

El resultado de esta regresión ya es distinto al del apartado 4.2, ya que ahora, usando una matriz de distancias, la variable del retardo espacial de la exógena logaritmo de la inversión en I+D total per cápita sigue siendo significativa al 5% de significación, a diferencia de antes, que al estimar este mismo modelo con una matriz de contigüidad física Queen de orden uno la variable dejaba de ser significativa. A continuación, se estimará una última regresión eliminando las variables no significativas, al igual que en el apartado 4.2.

$TasadecrecimientoPIBpc_i$

$$= B_0 + B_1 \log PIBpc_i + B_2 \log I + D \text{ total } pc_i + B_3 W_{\log I + D \text{ total } pc_i} \\ + B_4 \text{Educación}_i + B_5 \text{Actividades Científicas}_i \\ + \rho W_{TasadecrecimientoPIBpc_i} + u_i$$

SUMMARY OF OUTPUT: SPATIAL LAG MODEL - MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION

```
Data set           : new
Spatial Weight     : distance m
Dependent Variable : tasac_IBpc   Number of Observations: 265
Mean dependent var : 10.2124   Number of Variables   : 9
S.D. dependent var : 8.50862   Degrees of Freedom    : 256
Lag coeff. (Rho)   : 0.708365

R-squared          : 0.747727   Log likelihood         : -764.365
Sq. Correlation    : -          Akaike info criterion  : 1546.73
Sigma-square       : 18.2637   Schwarz criterion     : 1578.95
S.E of regression  : 4.27361
```

Variable	Coefficient	Std. Error	z-value	Probability
W_tasac_IBpc	0.708365	0.0690842	10.2536	0.00000
CONSTANT	76.0444	8.57142	8.87186	0.00000
LOGPIBPC05	-20.7258	2.07133	-10.0061	0.00000
LOGIDT	1.59453	0.6971	2.28738	0.02217
RETLOGID2	1.51624	0.737382	2.05624	0.03976
Educa_rior	0.182514	0.0454035	4.01982	0.00006
industria	0.122419	0.0513658	2.38328	0.01716
TICs	0.778859	0.215717	3.61056	0.00031
actci_icas	0.164261	0.0817904	2.00832	0.04461

Los criterios de información son menores que el resultado de la regresión anterior, por lo que se pierde menos información, es decir, este modelo se adapta mejor para explicar la tasa de crecimiento del PIB per cápita. Del resultado de esta regresión podemos sacar la siguiente conclusión:

La importancia de la externalidad de la inversión en I+D es mayor cuando se usa una matriz de distancia, ya que, aún con la endógena retardada (que ya está recogiendo el efecto de lo que ocurre a las regiones que están a 626040 unidades de distancia) la variable del retardo espacial de la inversión en I+D sigue siendo significativa. Esto puede ser debido a que los efectos externos de la inversión en I+D no se ven limitados por fronteras geográficas y quizá si se aumentara la distancia umbral de la matriz de distancias el efecto de la externalidad sería mayor.