



Universidad de Valladolid

Facultad de Ciencias Económicas y
Empresariales

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Administración y Dirección de
Empresas

La influencia de la inversión en I+D en la
productividad de la economía.

Presentado por:

Mario Antonio Pérez Gutiérrez

Tutelado por:

Jorge Julio Mate García

Valladolid, 11 de julio de 2023

RESUMEN

En este trabajo, se busca resolver la incógnita sobre la relación que existe entre la inversión en investigación y desarrollo (I+D) y la productividad del trabajo, utilizando la bibliografía existente y bases de datos especializadas. Para ello, se procede a la realización de diferentes apartados siguiendo la siguiente estructura: Introducción, análisis descriptivo, modelo teórico, análisis empírico y resultados, y conclusiones finales. Previamente a todo ello, es necesario la recogida de datos de las diferentes fuentes para el tratamiento de los mismos. A lo largo del trabajo, se utilizan técnicas estadísticas y econométricas, con el fin de encontrar la relación entre inversión en I+D y productividad. Finalmente, se analizan los resultados observados y se exponen las conclusiones.

Palabras clave: Inversión, I+D, productividad y regresión.

Código JEL: C23, C52, C13

ABSTRACT

In this study, we aim to solve the unknown regarding the relationship between research and development (R&D) investment and labor productivity, using existing literature and specialized databases. To achieve this, we proceed with different sections following the next structure: Introduction, descriptive analysis, theoretical model, empirical analysis and results, and final conclusions. Prior to all of this, it is necessary to collect data from various sources for their treatment. Throughout the study, statistical and econometric techniques are employed in order to find the relationship between R&D investment and productivity. Finally, the observed results are analyzed, and the conclusions are presented.

Keywords: Investment, R&D, productivity and regression.

JEL classification codes: C23, C52, C13

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	6
2. ANÁLISIS DESCRIPTIVO	6
3. MODELO TEÓRICO	16
4. ANÁLISIS EMPÍRICO Y RESULTADOS	22
5. CONCLUSIONES	27
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Listado sectores CNAE 09	6-7
Tabla 2.2: Porcentaje empresas innovadoras	9
Tabla 2.3: Distribución gasto en innovación	9
Tabla 2.4: Gasto en I+D bruto por años	12
Tabla 2.5: Productividad del empleo total por años	12

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1: Distribución gasto en innovación.....	10
Gráfico 2.2: Distribución sectorial gasto en innovación	11
Gráfico 2.3: Distribución sectorial gasto en innovación por años.....	11
Gráfico 2.4: Dispersión inversión-productividad 1.....	14
Gráfico 2.5: Dispersión inversión-productividad 2.....	15
Gráfico 4.1: Dispersión stock investigación-productividad	26
Gráfico 4.2: Dispersión final	28

1. INTRODUCCIÓN

La innovación y el cambio tecnológico son, sin duda, fundamentales para el desarrollo de un país. Durante los últimos 200 años, la innovación, los avances técnicos y la inversión en bienes de capital que incorporan nuevas tecnologías han transformado las economías de todo el mundo. El objetivo principal de este trabajo es la búsqueda del impacto que tiene esa inversión en investigación y desarrollo o I+D en la productividad del trabajo. Teniendo en cuenta que esta última es considerada uno de los indicadores para el crecimiento económico de un país, se puede afirmar que este análisis es más que relevante tanto para las empresas como para la economía en su conjunto.

En un principio, se intenta realizar un análisis descriptivo de los datos disponibles para comprender la relación general entre productividad e I+D. Se recopilan datos de una muestra representativa de la economía española y se ponen en común mediante técnicas estadísticas y econométricas, con el fin de intentar encontrar una relación entre ambos datos. En la misma medida se intenta analizar el volumen de gasto en I+D de nuestro país y como esta generalmente distribuido entre sectores.

Posteriormente, se desarrolla un modelo teórico basado en la revisión de la literatura existente y teorías económicas relevantes. El modelo teórico proporciona un marco conceptual para comprender cómo el gasto en inversión y desarrollo influye en la productividad, y a su vez qué factores intermedios o mediadores pueden estar involucrados en esta relación.

Finalmente, apoyándose en ese modelo teórico, con los datos iniciales y con técnicas estadísticas y econométricas, se estima empíricamente la relación entre I+D y productividad. Después, con los resultados obtenidos, se toman las conclusiones finales, proporcionando una evidencia cuantitativa sobre el impacto de una variable en la otra.

2. ANÁLISIS DESCRIPTIVO

En este primer apartado, se realiza un análisis descriptivo, para ello se tienen que agrupar en diferentes sectores todas las actividades económicas del país. Por lo tanto, se utiliza el CNAE-2009 o Clasificación Nacional de las Actividades Económicas, la cual establece un código a cada actividad económica de todas las que se pueden realizar, mediante esa codificación las va agrupando según su tipología. Aunque la división principal establece 21 grupos, si se profundiza más, se llega a lograr hasta 33 grupos diferentes que se especifican en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Listado sectores CNAE 09

1. AGRICULTURA, GANADERÍA, SILVICULTURA Y PESCA (CNAE 01, 02, 03)
2. Industrias extractivas y del petróleo (CNAE 05, 06, 07, 08, 09, 19)
3. Alimentación, bebidas y tabaco (CNAE 10, 11, 12)
4. Textil, confección, cuero y calzado (CNAE 13, 14, 15)
5. Madera, papel y artes gráficas (CNAE 16, 17, 18)
6. Química (CNAE 20)
7. Farmacia (CNAE 21)
8. Caucho y plásticos (CNAE 22)
9. Productos minerales no metálicos diversos (CNAE 23)
10. Metalurgia (CNAE 24)
11. Manufacturas metálicas (CNAE 25)
12. Productos informáticos, electrónicos y ópticos (CNAE 26)
13. Material y equipo eléctrico (CNAE 27)
14. Otra maquinaria y equipo (CNAE 28)
15. Vehículos de motor (CNAE 29)
16. Otro material de transporte (CNAE 30)
17. Muebles y otras actividades de fabricación (CNAE 31, 32)
18. Reparación e instalación de maquinaria y equipo (CNAE 33)
19. Energía y agua (CNAE 35, 36)
20. Saneamiento, gestión de residuos y descontaminación (CNAE 37, 38, 39)
21. Construcción (CNAE 41, 42, 43)
22. Comercio (CNAE 45, 46, 47)
23. Transportes y almacenamiento (CNAE 49, 50, 51, 52, 53)
24. Hostelería (CNAE 55, 56)

25. Telecomunicaciones (CNAE 61)
26. Programación, consultoría y otras actividades informáticas y otros servicios de información y comunicaciones (CNAE 58, 59, 60,62,63)
27. Actividades financieras y de seguros (CNAE 64, 65, 66)
28. Actividades inmobiliarias (CNAE 68)
29. Actividades profesionales, científicas y técnicas (CNAE 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75)
30. Actividades administrativas y servicios auxiliares (CNAE 77, 78, 79, 80, 81, 82)
31. Actividades sanitarias y de servicios sociales (CNAE 86, 87, 88)
32. Actividades artísticas, recreativas y de entretenimiento (CNAE 90, 91, 92, 93)
33. Otros servicios (CNAE 85, 94, 95, 96)

Fuente: Elaboración propia con datos procedentes de las notas de prensa anuales del INE.

En esta tabla el grupo de agricultura, ganadería, silvicultura, y pesca es el que representa a todas las actividades del sector primario. Todas las actividades industriales del sector secundario se engloban desde el grupo 2 de industrias extractivas y del petróleo hasta el 21 de la construcción, ambos inclusive. El resto, desde el grupo 22 que recoge todas las actividades comerciales hasta el grupo 33, representan todas las actividades del sector terciario o sector servicios.

Dada la gran dificultad que conlleva realizar un análisis desde que existe la inversión en I+D, consideran que los diferentes sectores han pasado por diferentes evoluciones (fragmentaciones dentro del propio sector, fusión de dos o varios...). Se recogen datos desde el momento que la Clasificación Nacional de las Actividades Económicas lo permite, es decir, desde 2008. Del último año del que se dispone de toda la información necesaria para el análisis, es de 2020. Como más tarde se verá, son datos reales pero que presentan anomalías con respecto a la tendencia que venía de años anteriores, lógica e indudablemente como consecuencia de la pandemia del Covid-19.

Para medir la inversión en I+D, se tomarán en cuenta los gastos en innovación realizados por todas las empresas españolas de los sectores mencionados anteriormente. Para esto, se recopilan los datos del total del gasto en innovación. Una vez obtenido el total de gastos en innovación, se procederá a distinguir entre la inversión en I+D interna, que es aquella

realizada directamente por la empresa con sus propios recursos, y la I+D externa, que incluye los gastos relacionados con la adquisición de I+D fuera de la empresa mediante contratos o convenios.

Gracias a los datos recogidos, se podría analizar un sinfín de medidas de inversión, ya que recoge no solo el gasto en I+D tanto interna como externa, sino también todos los gastos relacionados con la adquisición de maquinaria, equipos, hardware y software avanzados, diseños, formaciones, introducción de innovaciones de mercado....

No obstante, al escoger este periodo, se presenta un problema: la entrada de la cuarta modificación del Manual de Oslo (2018), el cual es el documento de la OCDE elaborado junto con Eurostat. Esta guía, trata de realizar mediciones y estudios de actividades científicas y tecnológicas para definir conceptos y clarificar las actividades consideradas como innovadoras.

Durante el periodo 2005-2018, se encuentra vigente la tercera modificación del manual, permitiendo la distinción entre innovación tecnológica o de producto y de proceso, e innovación no tecnológica u organizativa y de comercialización. La innovación no tecnológica resultaba más sencilla y accesible en comparación con la primera. Aunque nunca superó el 25% de aplicación en el conjunto de empresas españolas, siempre fue un porcentaje mayor al de aquellas que llevaban a cabo innovación tecnológica.

Tabla 2.2: Porcentaje empresas innovadoras

	2008-2010	2010-2012	2012-2014	2014-2016	2015-2017
%Empresas innovación tecnológica	18,6%	13,2%	13,3%	12,8%	13,3%
%Empresas innovación no tecnológica	24,8%	20,5%	23,4%	24,5%	23,4%
%Empresas innovadoras	32,9%	25,9%	28,6%	28,9%	28,2%

Fuente: Elaboración propia con datos procedentes de las notas de prensa anuales del INE.

Como se puede observar, la innovación no tecnológica tenía un mayor peso en las empresas españolas. Aun así, estos datos están bastante lejos de lo ideal y de la media europea, por ello dejan bastante que desear con apenas superar el 30% de empresas innovadoras sobre el total de todas las empresas españolas.

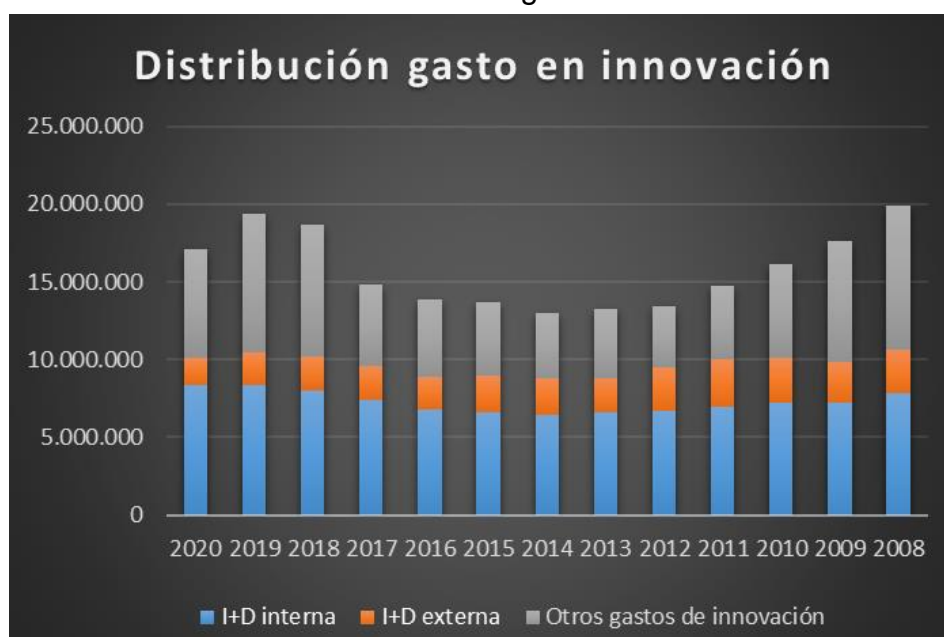
A partir de 2018, con la llegada del cuarto manual, se dejó de hacer esa distinción y ahora solo se valora la innovación tecnológica antigua. Por lo tanto, se diferencia entre innovación de producto e innovación de procesos, pero todavía no se puede hacer un análisis completo porque solo se disponen de 3 años de datos.

Tabla 2.3: Distribución gasto en innovación

AÑO	2008	2010	2013	2016	2019	2020
TOTAL	19.918.946	16.171.218	13.233.291	13.857.481	19.389.865	17.074.397
I+D INTERNA	7.854.040	7.186.489	6.571.652	6.762.451	8.316.313	8.371.577
I+D EXTERNA	2.744.831	2.878.477	2.265.539	2.100.794	2.121.251	1.751.833
OTRA INNOVACION	9.320.075	6.106.252	4.396.099	4.994.236	8.952.301	6.950.987

Fuente: Elaboración propia con datos procedentes de las notas de prensa anuales del INE.

Gráfico 2.1: Distribución gasto en innovación



Fuente: Elaboración propia con datos procedentes de la Encuesta de innovación en las empresas del INE.

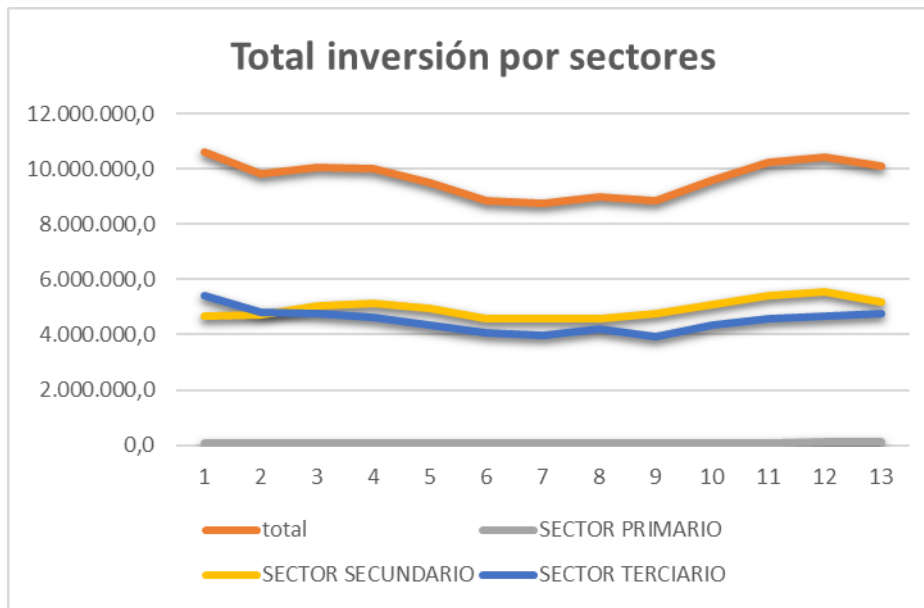
En el gráfico 2.1 se ven claramente los efectos de la crisis de 2008 y la recuperación gradual a partir de 2014. Sin embargo, estas fluctuaciones afectan principalmente a otros gastos en innovación y no tanto a la inversión en I+D interna y externa, que en general se mantuvo cerca de los 10 mil millones de euros a lo largo del período.

Esto confirma que la inversión en I+D de las empresas españolas entre 2008 y 2020 fue bastante constante en los años estudiados. Las diferencias más significativas se presentaron según el sector analizado. Es decir, dentro de un mismo sector, los resultados a lo largo del período fueron bastante similares.

Una vez se comparen la inversión bruta en I+D y la productividad total, se podrá sacar conclusiones sobre la relación entre ambas. La primera comparación se realizará considerando los tres sectores mencionados al comienzo del capítulo: primario, secundario y terciario o servicios.

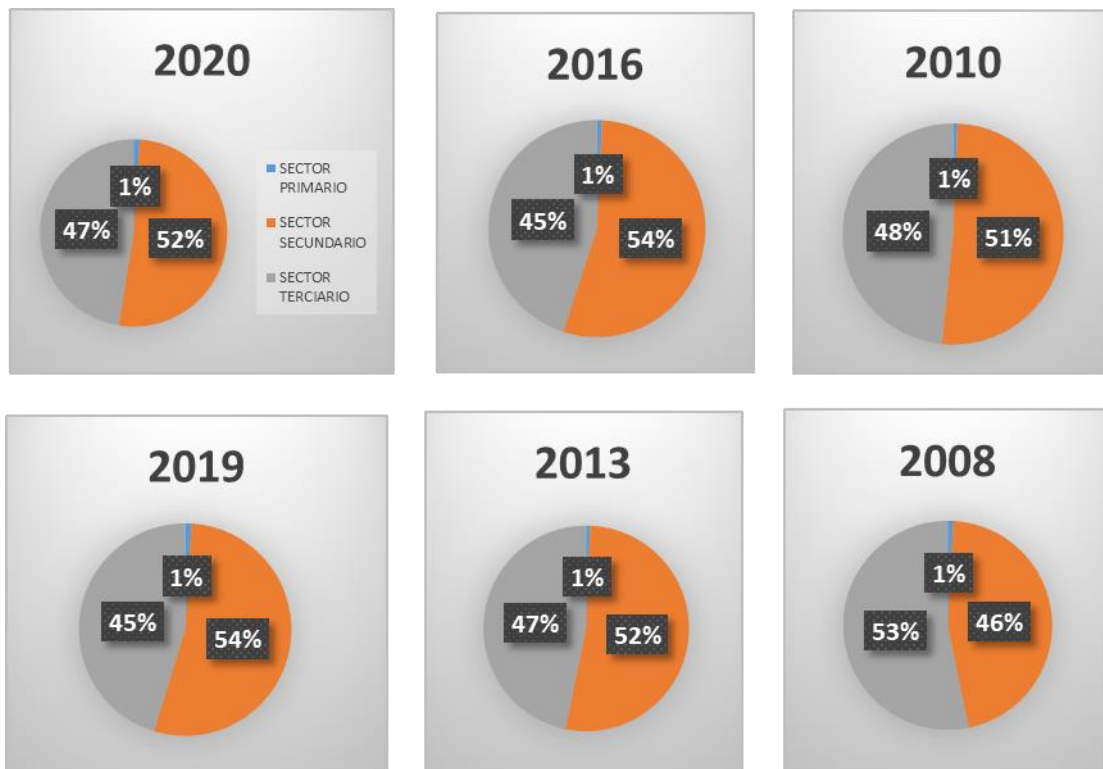
Para el análisis sectorial se toma una muestra de años, se pondrá en común datos de la productividad total del trabajo y de la inversión bruta en I+D.

Gráfico 2.2: Distribución sectorial gasto en innovación



Fuente: Elaboración propia con datos procedentes de la Encuesta de innovación en las empresas del INE.

Gráfico 2.3: Distribución sectorial gasto en innovación por años



Fuente: Elaboración propia con datos procedentes de la Encuesta de innovación en las empresas del INE.

Tabla 2.4: Gasto en I+D bruto por años

I+D	2008	2010	2013	2016	2019	2020
SECTOR PRIMARIO	90.911	62.694	55.523	68.838	102.803	105.063
SECTOR SECUNDARIO	4.655.398	5.034.344	4.578.419	4.749.754	5.550.364	5.160.285
SECTOR TERCIARIO	5.398.059	4.779.973	4.066.291	3.940.559	4.673.850	4.755.474
TOTAL	10.598.871	10.064.966	8.837.192	8.863.245	10.437.564	10.123.410

(miles de euros)

Fuente: Elaboración propia con datos procedentes de la Encuesta de innovación en las empresas del INE.

Tabla 2.5: Productividad del empleo total por años

PRODUCTIVIDAD	2008	2010	2013	2016	2019	2020
SECTOR PRIMARIO	57.712	58.305	70.326	72.003	75.115	82.892
SECTOR SECUNDARIO	180.916	188.241	220.806	211.774	222.337	207.016
SECTOR TERCIARIO	83.118	84.309	85.770	87.897	92.947	86.668

Fuente: Elaboración propia con datos procedentes de la Encuesta de innovación en las empresas del INE.

En cuanto a la inversión bruta, el sector primario es el más pobre de los tres. Representa solo un 1% del total de inversión bruta, es decir, un 2% en comparación con los otros dos sectores. Sin embargo, esta gran diferencia no se refleja en la productividad total del trabajo. Los trabajadores del sector agrícola alcanzan una productividad que no es solo un 2% de la de los trabajadores industriales y del sector servicios, sino mucho más alta. De hecho, llega a ser alrededor de un tercio de la productividad del sector secundario y más de la mitad, incluso llegando a ser muy similar, al final del período, a la del sector terciario.

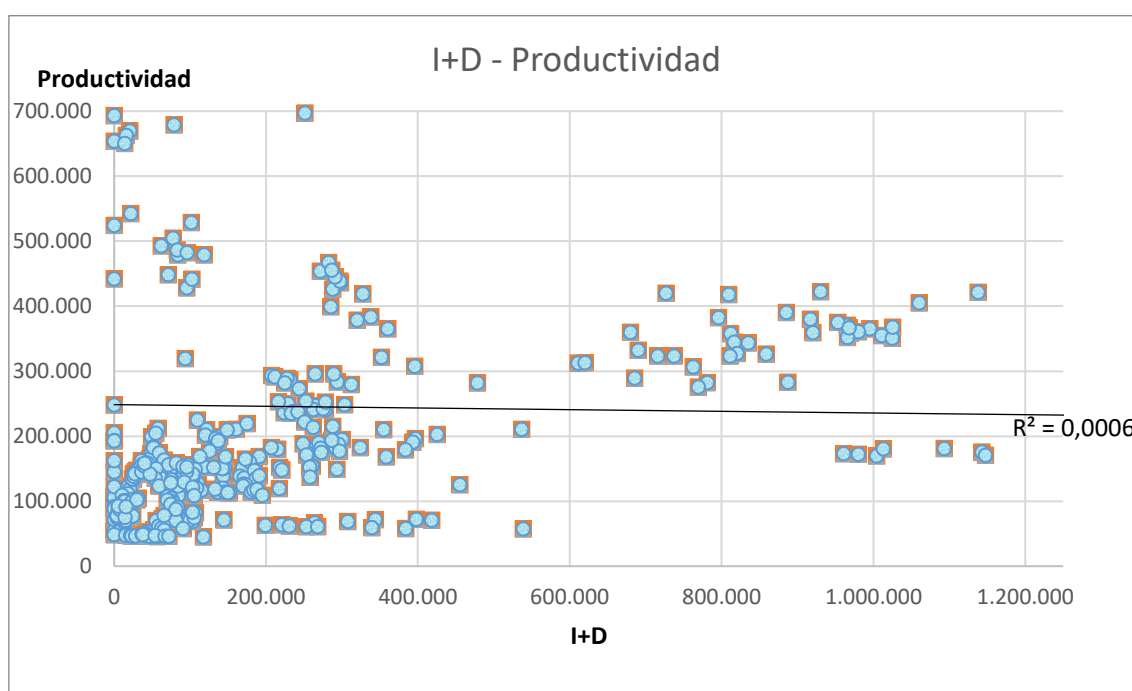
También es interesante observar que el gasto total en inversión bruta del sector secundario y del terciario es similar, siendo ligeramente mayor en la industria, excepto al comienzo del período. Sin embargo, esta similitud no se refleja en los datos de productividad del trabajo, ya que la productividad alcanzada en el sector industrial es considerablemente más alta que la del sector servicios, llegando incluso a ser el doble o más.

Por lo tanto, teniendo estos datos en cuenta y con lo previamente establecido, no se puede afirmar que exista una relación entre

productividad total del trabajo e inversión en I+D bruta, pues las cantidades no son proporcionales, esto puede ser perfectamente por la propia naturaleza de los sectores ya que unos se encargan de producir materiales perfectamente cuantificables y otros servicios que no tienen esa facilidad de cálculo, por la desigual distribución del total de trabajadores con tendencia al sector servicios o por la excesiva facturación de determinados sectores como por ejemplo el petrolífero. Sea como sea para obtener un análisis más detallado habrá que fragmentar más los datos y establecer una relación más compleja.

Para ello, se utilizará una amplia muestra de datos que abarcan los 13 años del período y los 33 sectores en los que se ha dividido la economía según el CNAE. Esto proporcionará un buen número de 429 datos, que pueden ser suficientes para obtener una estimación principal de la relación entre la inversión en I+D bruta y la productividad total del trabajo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este análisis no puede considerarse definitivo, ya que se están utilizando datos de años individuales y no se tiene información sobre el impacto que la inversión de años anteriores pudo tener en los resultados de productividad de un año específico.

Gráfico 2.4: Dispersión inversión-productividad 1



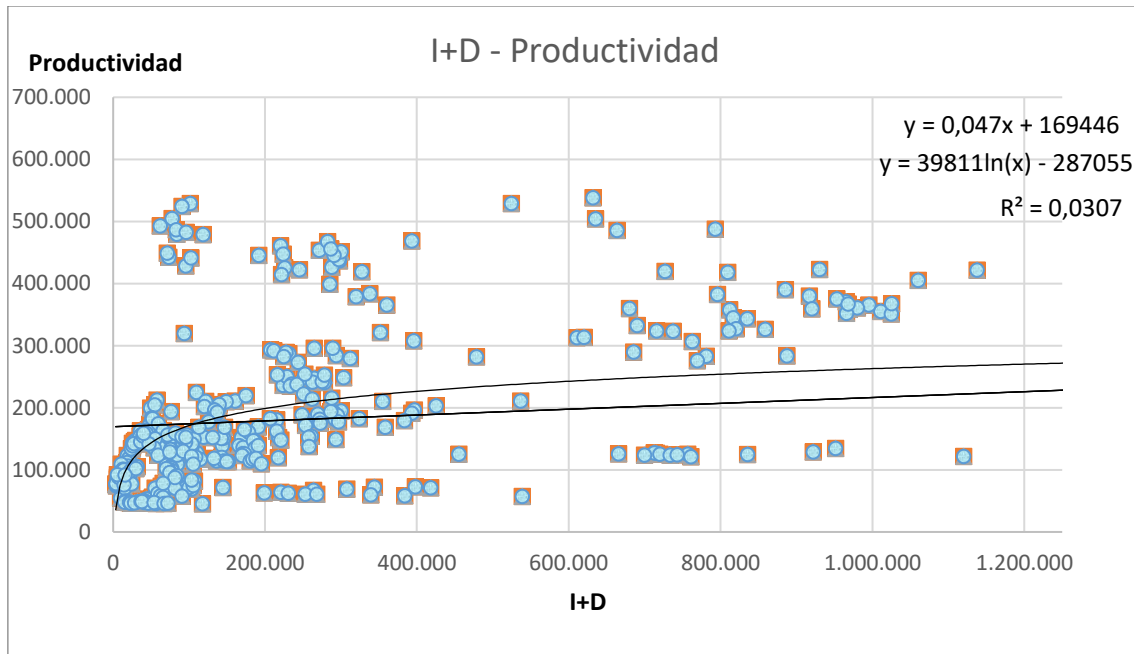
Fuente: Elaboración propia con datos procedentes de la Encuesta de innovación en las empresas del INE.

Con los valores de la inversión bruta en el eje de abscisas (en miles de euros), y los valores de la productividad total (en euros) en el de ordenadas, se estima una regresión con el objetivo de intentar buscar una relación entre ambas variables. El primer problema, se encuentra en que como se planteó anteriormente, existen unos sectores que son el sector petrolífero, el sector inmobiliario y el de energía y agua en concreto, que por su propia naturaleza no precisan de un gran número de trabajadores para obtener grandes resultados. Por lo tanto, la productividad va a ser notablemente más elevada que la de otros sectores que inviertan lo mismo o incluso más, en el gráfico 2.4 se pueden ver claramente representados en la esquina superior izquierda, donde se colocarían en cierta parte los sectores más “rentables”.

En conclusión, la regresión calculada muestra una tendencia prácticamente plana e incluso ligeramente negativa. Sin embargo, el valor de R^2 es de 0.006, lo que indica que esta regresión no es confiable en absoluto. Para analizar de manera más precisa la relación en el resto de los sectores, se eliminarán los valores correspondientes a estos tres

sectores destacados en todos los años y se volverá a calcular la tendencia. Es importante tener en cuenta que esto es solo una primera estimación y que el resultado de la regresión no es definitivo.

Gráfico 2.5: Dispersión inversión-productividad 2



Fuente: Elaboración propia con datos procedentes de la Encuesta de innovación en las empresas del INE.

En esta segunda, han desaparecido esos valores de la esquina superior izquierda que se podrían catalogar como “atípicos”, y ahora la tendencia sigue siendo bastante plana, pero con una pendiente positiva. En cierta manera, se confirma la hipótesis de que la inversión en I+D afecta de una manera directa a la productividad de las empresas y de la economía.

Comparando este gráfico con el anterior, se ve que el valor R^2 sigue siendo pobre pero mucho más elevado que antes. Esto indica, que la regresión y el modelo econométrico planteado por la línea de tendencia, es más correcto que el anterior. Sin embargo, eso no significa necesariamente que estén más cercanos a la realidad, ya que no se debe olvidar que se han eliminado los valores de tres sectores en este análisis.

En definitiva, la conclusión es que puede existir una relación entre gasto en I+D y productividad, pero si se quiere medir con exactitud no se pueden

tomar los valores brutos y de años sueltos, hay que buscar una manera diferente, para ello se debe profundizar en algún modelo teórico que explique la relación entre las dos variables antes citadas.

3. MODELO TEÓRICO

Toda la información relativa a la relación productividad-I+D se puede encontrar en la obra de Zvi Griliches (1998), donde por primera vez se utilizaron microdatos individuales de diferentes empresas y gracias a ello, Griliches pudo obtener unos resultados mejores a los observados anteriormente.

En la obra se define que el cambio técnico generalmente se mide mediante cambios en algún índice de productividad total de los factores o de productividad multifactorial (TFP o MFP, por sus siglas en inglés) a nivel de la empresa, la industria o la economía en su conjunto. Además de los errores de medición generalizados, (Griliches, 1998, pp1-2) se apunta que hay tres circunstancias que influyen en estos cambios y que pueden ser total o parcialmente "endógenas":

- El nuevo conocimiento que se difunde a través de la adopción de nuevos equipos que incorporan lo que Griliches llama "estado del arte actual".
- Las nuevas técnicas, insumos y productos que se pueden considerar como desplazamientos hacia afuera de la "frontera de posibilidades de producción". Que son resultado de los esfuerzos de científicos, ingenieros, empresarios y diversos experimentadores, tanto formales como informales, para mejorar el estado actual de la tecnología.
- La producción de nuevos conocimientos científicos económicamente valiosos, que depende al menos en parte, de la generación de nuevos conocimientos científicos en universidades y otras instituciones, tanto en el país como en el extranjero, que también están sujetos a restricciones e influencias económicas.

Todas estas variables "endógenas" se pueden definir como inversión en I+D.

El más relevante para este estudio es el capítulo 5 de la obra, donde Griliches empieza a colaborar con Jacques Mairesse del Institut National de la Statistique et des Études Économiques (INSEE) de París, que fue el que introdujo los micro-datos en su análisis, pues antes se dedicaban al estudio con datos públicos. Esa fue la gran relevancia de esta colaboración, salir del corsé de los datos confidenciales del Censo-NSF y demostrar que, sin imponer valores razonables en otros coeficientes, la dimensión temporal "dentro de" los datos no es lo suficientemente rica como para obtener una estimación clara del efecto del I+D en la productividad, que es lo que ha ocurrido anteriormente en el análisis descriptivo, no disponemos de la suficiente información como para demostrar ninguna relación. Para ello, Griliches y Jacques Mairesse intentaron abordar el problema de la simultaneidad mediante el desarrollo de un sistema de ecuaciones que arrojó estimaciones bastante altas de la contribución del capital de I+D al crecimiento de la productividad. Además, fue el primer documento en aquella época que plantea la posibilidad, de que el entorno no plenamente competitivo en el que operan algunas de las empresas intensivas en I+D puede afectar a la interpretación de tales resultados.

Uno de los resultados más relevantes que se obtuvo y digno de mención es la cuantificación de la elasticidad general de la producción con respecto a las inversiones en I+D, de alrededor de 0.07, que se puede considerar como un promedio de 0.1 para las industrias más intensivas en I+D, como la química o la farmacia, y de 0.05 para el resto de los sectores menos intensivos en I+D.

El experimento del efecto del I+D sobre la productividad del capítulo 5, consto del estudio de una muestra heterogénea de 157 grandes empresas de la época que estuvieron informando regularmente sus gastos en I+D desde 1963 y no tenían más de tres años de datos faltantes. Debido a observaciones sobre el empleo y a datos cuestionables en otras variables, primero tuvieron que limitar la muestra a 133 empresas (muestra completa)

y luego, en respuesta a problemas de fusiones, reducirla aún más a 103 empresas (muestra restringida).

La muestra es bastante heterogénea, abarcando la mayoría de las industrias manufactureras que realizan I+D y también incluyendo algunas empresas no manufactureras (principalmente en petróleo y minería no ferrosa). Dado que el número de empresas era demasiado pequeño para trabajar con industrias separadas, abordaron el problema de la heterogeneidad dividiendo la muestra en dos grupos: empresas científicas (empresas en las industrias química, farmacéutica, informática, electrónica e instrumentos) y otras empresas.

La medición de las variables plantea muchos problemas conceptuales, así como dificultades prácticas. Los autores consideraron que el stock de capital de investigación no observable (K) es una medida del efecto rezagado distribuido de las inversiones pasadas en I+D, es decir el efecto de las inversiones pasadas que afectan a años posteriores, factor que ya se estableció como una de las limitaciones del análisis descriptivo.

$$K_{i,T} = \sum_{\tau} W_{\tau} R_{i(t-T),\tau}$$

Siendo R una medida del I+D, los subíndices t , $(t - T)$ e i representan el año actual, el año rezagado y la empresa, respectivamente. Lo ideal sería estimar la estructura de rezago (W_{τ}) a partir de los datos, o al menos una tasa promedio de obsolescencia de I+D y un retardo promedio del I+D. Desafortunadamente para el experimento, los datos no resultaron ser lo suficientemente informativos; Diferentes medidas de retardo construidas y diferentes condiciones iniciales apenas hicieron una diferencia en los resultados finales. Por lo tanto, nos centraremos en una de las medidas mejores y más sensatas que se establecieron, basada en una tasa de obsolescencia constante del 15 por ciento anual y una estructura de retardo decreciente geométricamente $w_{\tau} = (1 - \delta)^{\tau}$.

Finalmente, después de numerosas estimaciones, el modelo de Griliches se basa en una función de producción Cobb-Douglas en la que no solo se tiene en cuenta el capital de investigación o capital I+D, también un conjunto de otros factores productivos habituales como el trabajo, el capital físico o las materias primas.

$$Q_{it} = A e^{\lambda t} C_{it}^{\alpha} L_{it}^{\beta} K_{it}^{\gamma} e^{\mu_i} e^{\varepsilon_{it}}$$

O en forma logarítmica:

$$q_{it} = a + \lambda t + \alpha c_{it} + \beta l_{it} + \gamma k_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

En el modelo, la Q representa la producción total u output, los inputs son, L el factor trabajo normalmente el empleo, C el stock de capital físico y K que es la que se va a estudiar, el stock de capital de investigación. A es una constante, α β y γ son las correspondientes elasticidades de la producción con respecto al capital físico, el trabajo y el capital I+D, la cual se acordó que tenía una media de 0.07 que más tarde se utilizará, ε es el error aleatorio y las minúsculas de “q” “a” “c” “l” y “k” corresponden a los respectivos logaritmos neperianos de las variables que representan.

Una vez con la función Cobb-Douglas, la tasa de obsolescencia constante del 15%, la estructura de retardo decreciente geoméricamente ($w_t = (1 - \delta)^t$) y la elasticidad promedio de 0.07 que se han establecido como estándar, se podrían introducir los datos del análisis descriptivo y estimar una posible relación entre productividad e I+D, aunque luego se realizara aparte, se va a seguir profundizando en el modelo de Griliches y en esa función Cobb-Douglas para intentar obtener una cierta correlación entre ambas variables que no incluyan el stock de capital de investigación K (dato no disponible), sino la inversión en I+D de la que sí se dispone de información.

Supóngase que la función de producción presenta rendimientos constantes a escala con respecto a los inputs estándar ($\alpha + \beta + \gamma = 1$) o lo

que es lo mismo ($\beta + 1 = -\alpha - \gamma$). Si en la expresión logarítmica se resta el logaritmo del trabajo en ambos lados de la igualdad, en un principio se obtiene la siguiente ecuación:

$$q_{it} - l_{it} = a + \lambda t + \alpha c_{it} + \beta l_{it} - l_{it} + \gamma k_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

$$q_{it} - l_{it} = a + \lambda t + \alpha c_{it} + (\beta - 1) l_{it} + \gamma k_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

Y aplicamos la condición de rendimientos constantes a escala:

$$q_{it} - l_{it} = a + \lambda t + \alpha c_{it} + (-\alpha - \gamma) l_{it} + \gamma k_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

$$q_{it} - l_{it} = a + \lambda t + \alpha c_{it} - \alpha l_{it} - \gamma l_{it} + \gamma k_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

Sacando factor común las elasticidades α y γ obtenemos:

$$q_{it} - l_{it} = a + \lambda t + \alpha(c_{it} - l_{it}) + \gamma(k_{it} - l_{it}) + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

y ya se podrían tomar diferencias con diferentes empresas/sectores "i" y para diferentes años "t".

$$\Delta(q - l)_{it} = \lambda + \alpha\Delta(c - l)_{it} + \gamma\Delta(k - l)_{it} + \eta_{it}$$

Y ya se puede ver como a y μ_i desaparecen, η_{it} es la variación de ε_{it} y se presentan las tres tasas de crecimiento:

$\Delta(q - l)_{it}$: La de la productividad del trabajo

$\Delta(c - l)_{it}$: La de la relación capital físico - trabajo

$\Delta(k - l)_{it}$: La de la relación capital de investigación – trabajo que es la que más interesa para el análisis.

Una vez con esta tasa, se procede a descomponerla con el objetivo de eliminar al fin toda la influencia del stock de capital de investigación e intentar reducirlo al dato del gasto en I+D de un año y un sector independiente:

$$\gamma \Delta (k - l)_{it} = \gamma \Delta k_{it} - \gamma \Delta l_{it}$$

Donde γ se ha catalogado anteriormente como la elasticidad de la producción con respecto al capital I+D y estimado como 0.07, por lo tanto:

$$0.07 \approx \gamma = (\partial Q / \partial K)_{it} (K/Q)_{it}$$

Δk_{it} sería la tasa de crecimiento de este tipo de capital:

$$\Delta k_{it} = (\partial K / K)_{it}$$

Por lo tanto, teniendo en cuenta estas expresiones, si se nombra a ϑ como la productividad marginal del stock de capital de investigación, y a R_{it} como al gasto en I+D de una empresa o sector concreto y para un año definido, quedaría:

$\vartheta = (\partial Q / \partial K)_{it}$ y $R_{it} = \partial K_{it}$ con la condición de que la depreciación δ sea nula y así se justifica que la inversión de ese año es la variación total del stock de investigación K. Así pues $\gamma \Delta k_{it}$ sería:

$$\gamma \Delta k_{it} = (\partial Q / \partial K)_{it} (K/Q)_{it} (\partial K / K)_{it} = \vartheta (R/Q)_{it}$$

Se sustituiría en la función de la tasa de crecimiento de la relación capital de investigación trabajo, $\gamma \Delta (k - l)_{it}$ y teniendo en cuenta los rendimientos constantes a escala con respecto a los inputs estándar:

$$\gamma \Delta (k - l)_{it} = \gamma \Delta k_{it} - (1 - \alpha - \beta) \Delta l_{it} = \vartheta (R/Q)_{it} - (1 - \alpha - \beta) \Delta l_{it}$$

Ya se podría retroceder a la función logarítmica en diferencias anterior:

$$\Delta (q - l)_{it} = \lambda + \alpha \Delta (c - l)_{it} + \gamma \Delta (k - l)_{it} + \eta_{it}$$

$$\Delta (q - l)_{it} = \lambda + \alpha \Delta (c - l)_{it} + \vartheta (R/Q)_{it} - (1 - \alpha - \beta) \Delta l_{it} + \eta_{it}$$

$$\Delta(q-l)_{it} = \lambda + \alpha\Delta c_{it} - \alpha\Delta l_{it} + \vartheta (R/Q)_{it} - \Delta l_{it} + \alpha\Delta l_{it} + \beta\Delta l_{it} + \eta_{it}$$

$$\Delta(q-l)_{it} = \lambda + \alpha\Delta c_{it} + \vartheta (R/Q)_{it} - \Delta l_{it} + \beta\Delta l_{it} + \eta_{it}$$

$$\Delta(q-l)_{it} = \lambda + \alpha\Delta c_{it} + \vartheta (R/Q)_{it} + (\beta-1)\Delta l_{it} + \eta_{it}$$

Y contando por última vez con los rendimientos constantes de escala para sacar el factor común α en c_{it} y l_{it} y simplificar un poco más la función.

$$\Delta(q-l)_{it} = \lambda + \alpha\Delta c_{it} - \alpha\Delta l_{it} - \gamma\Delta l_{it} + \vartheta (R/Q)_{it} + \eta_{it}$$

$$\Delta(q-l)_{it} = \lambda + \alpha\Delta(c - l)_{it} - \gamma\Delta l_{it} + \vartheta (R/Q)_{it} + \eta_{it}$$

Sería la función final en la que al fin se tendría cierta medida de la relación de la productividad y la inversión en I+D, aunque no sea en sus formas originales, ya que la productividad tendríamos que medirla en su tasa de crecimiento $\Delta(q-l)_{it}$ y la inversión en I+D en un ratio que mide su proporción respecto al volumen de producción total $(R/Q)_{it}$, ambas para un sector y un año concretos.

Gracias a todo este desarrollo, se ha logrado suprimir esas variables inciertas de la elasticidad de la producción con respecto al capital I+D (γ) y del stock de capital (K). No obstante, al proporcionarse estimaciones de ambas variables en la obra de Griliches, también se podrán utilizar para comparar con los datos del análisis descriptivo en el siguiente apartado. Sin olvidar que en ambas funciones tanto en la principal con el stock y la elasticidad estimadas, y en esta última formulada, las medidas de I+D y de productividad están relacionadas también con otros tantos factores como el capital físico o el factor trabajo, estos se tendrán que obviar y agrupar en torno a una variable a la hora de realizar una regresión.

$$Q_{it} = A e^{\lambda t} C_{it}^{\alpha} L_{it}^{\beta} K_{it}^{\gamma} e^{\mu i} e^{\varepsilon_{it}}$$

$$W = A e^{\lambda t} C_{it}^{\alpha\gamma} e^{\mu i} e^{\varepsilon_{it}}$$

$$Q_{it} / L_{it}^{\beta} = W K_{it}^{\gamma}$$

$$\Delta(q-l)_{it} = \lambda + \alpha\Delta(c-l)_{it} - \gamma\Delta l_{it} + \vartheta (R/Q)_{it} + \eta_{it}$$

$$S = \lambda + \alpha\Delta(c-l)_{it} - \gamma\Delta l_{it} + \eta_{it}$$

$$\Delta(q-l)_{it} = S + \vartheta (R/Q)_{it}$$

4. ANÁLISIS EMPÍRICO Y RESULTADOS

En este apartado se realizan estimaciones del modelo desarrollado en el capítulo anterior con los datos de todas las actividades de la economía española, agrupadas según el CNAE 09, y para el periodo 2008-2020, con el fin de cuantificar la relación que tienen las variables de productividad e inversión en I+D.

Teniendo en cuenta una tasa de obsolescencia anual del 15%, y un valor para la elasticidad de la producción con respecto al capital I+D de 0.07, calcular el valor del stock de capital de innovación para el periodo establecido, sería de la siguiente manera:

$$K_{2020} = R_{2020} + (R_{2019} * 0,85) + (R_{2018} * 0,85^2) + (R_{2017} * 0,85^3) + (R_{2016} * 0,85^4) + (R_{2015} * 0,85^5) + (R_{2014} * 0,85^6) + (R_{2013} * 0,85^7) + (R_{2012} * 0,85^8) + (R_{2011} * 0,85^9) + (R_{2010} * 0,85^{10}) + (R_{2009} * 0,85^{11}) + (R_{2008} * 0,85^{12}) \dots$$

Y, por lo tanto:

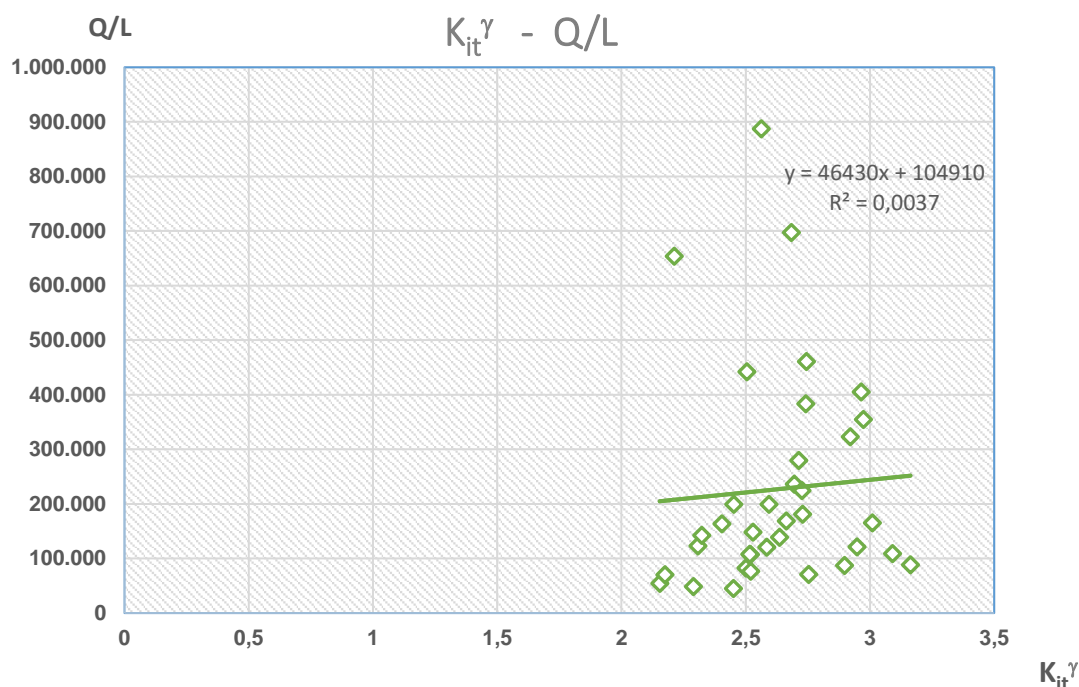
$$K_{2020}^{\gamma} = K_{2020}^{0.07}$$

Al no tener datos de años anteriores a este periodo, esta estimación del stock de capital de investigación no será del todo acertada, aunque no distará mucho de la realidad. Al tratarse de una progresión geométrica negativa, cada vez que nos vamos alejando del origen, el factor multiplicativo se va acercando cada vez más a 0. Por ejemplo, los valores R_{2007} y R_{2006} tendrían que estar multiplicados por (0.85^{13}) y (0.85^{14}) , es decir, 0.1209 y 0.1028 respectivamente, lo que quiere decir que, del gasto en inversión de 2007, solo permanece en el stock de capital de 2020 el 12.09%, y del gasto en 2006 el 10.28%.

A través de esta estimación de K, se puede establecer una regresión entre ella y la productividad de cada uno de los 33 sectores en los que se han agrupado todas las actividades económicas.

$$Q_{it} / L_{it}^{\beta} = W K_{it}^{\gamma}$$

Gráfico 4.1: Dispersión stock investigación-productividad



Fuente: Elaboración propia con datos procedentes de la Encuesta de innovación en las empresas del INE.

En el eje de abscisas están los valores del stock de capital de investigación de 2020 estimado medido en miles de euros, y en el eje de ordenadas la productividad del trabajo en 2020 en euros. El resultado de la regresión obtenido es: $Q/L_{it} = 46430 K_{it}^{\gamma} + 104910$.

Este modelo plantearía la ecuación previamente señalada, y estimaría el producto del stock de capital físico y del resto de errores y constantes de la ecuación como:

$$\widehat{W} = A e^{\lambda t} \widehat{C_{it}^{\alpha \gamma}} e^{\mu_{it}} e^{\varepsilon_{it}} = 46430$$

Aun así, el valor R^2 que la regresión proporciona es demasiado bajo, con un valor de 0.0037, se podría colocar como una regresión poco fiable, al igual que las calculadas en el análisis descriptivo.

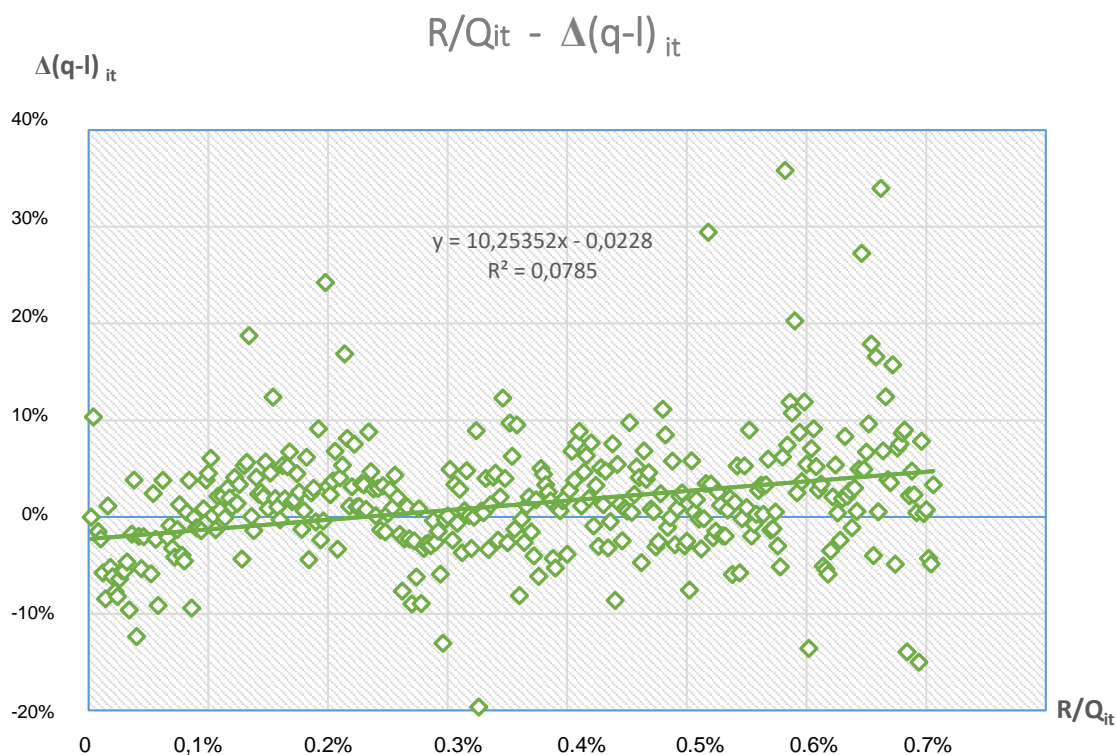
Para abordar este problema y seguir buscando respuestas en torno a esta función inicial Cobb-Douglas, una buena solución sería fragmentar aún más todas las actividades económicas del país que solo se han agrupado en torno a 33, y así obtener para un mismo año varios stocks de capital de investigación.

Se debe tener en cuenta también que la estimación se ha hecho en base a Q/L , no en base a Q/L^{β} por lo tanto, se supone que la elasticidad de la producción con respecto al trabajo es 1, algo que basándonos en la teoría económica y en los rendimientos constantes a escala con respecto a los inputs estándar, dista mucho de la realidad.

Sea como sea, los problemas principales son, que se dispone únicamente de 33 datos, los valores de la tasa de obsolescencia y de la elasticidad respecto al capital de investigación son meras estimaciones, se tiene en cuenta un valor de la elasticidad respecto al trabajo que no es real, etc etc.

No se puede tomar como válido al 100% este modelo econométrico y por lo tanto se da paso definitivamente a la regresión final, en la que se va a comparar la inversión bruta por sectores y por años en porcentaje del volumen de producción total, con el porcentaje de crecimiento de la tasa de la productividad del trabajo por años también.

Gráfico 4.2: Dispersión final



Fuente: Elaboración propia con datos procedentes de la Encuesta de innovación en las empresas del INE.

En el eje de abscisas se encuentra el porcentaje del gasto en I+D sobre el volumen de producción total, en el de ordenadas, la tasa de crecimiento de la productividad del trabajo calculada año a año para cada sector de los que se han tenido en cuenta.

Como se puede comprobar, de todos los modelos econométricos que se han estimado a lo largo de la redacción, este es el que mayor valor R^2 presenta, por lo tanto, es el más correcto y del que más nos podemos fiar, ya que en teoría un 7,85% del total de datos se ajustaría perfectamente a la función dibujada por la línea de tendencia. No es un valor excesivamente elevado, pero es el más alto que se ha podido obtener.

Sin olvidar que existe todavía mucho margen de error este es el modelo que demuestra al fin que la inversión en I+D afecta y de una manera positiva a la productividad del trabajo.

Teniendo en cuenta que los datos se han estimado en base a la función

$\Delta(q-l)_{it} = S + \vartheta (R/Q)_{it}$ y el resultado de la regresión ha sido $y = 10,25352x - 0,0228$, suponiendo $S = \lambda + \alpha\Delta(c - l)_{it} - \gamma\Delta l_{it} + \eta_{it}$

Por lo tanto, se puede afirmar que el valor estimado de S y el valor estimado de ϑ serían,

$$\hat{S} = -0.0228 \quad \hat{\vartheta} = 10.25352$$

Lo que quiere decir que la productividad marginal del capital de investigación es de 10.25352, es decir, para un aumento porcentual de un 1% del gasto en I+D sobre el volumen de producción total, la tasa de crecimiento de la productividad para ese sector aumentaría en torno a un 10.25352%, manteniendo constantes el resto de las variables (ceteris paribus). No obstante, deben guardarse las pertinentes cautelas sobre este dato, dado que los ajustes muestran una fiabilidad reducida.

La suma de: la tasa del cambio técnico no incorporado (λ), la tasa de crecimiento de la relación capital-trabajo multiplicada por la elasticidad de la producción respecto al capital físico ($\alpha\Delta(c - l)_{it}$), y demás componentes que hemos agrupado y definido como S, debe de dar un valor en torno a -0.0228.

No se debe olvidar, que estos valores son estimaciones y siempre hay un margen de error, es la estimación menos sesgada para el conjunto de datos de los diferentes sectores españoles de los que se dispone. Por lo tanto, estos resultados son extrapolables únicamente a nivel de sector, es decir, no se puede extrapolar a una sola empresa o a un país entero. Para ello se tendría que haber trabajado o micro-datos de las diferentes empresas innovadoras, o con datos de diferentes países. Los resultados son solo extrapolables para los diferentes sectores económicos españoles, que son los que han compuesto la muestra.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha logrado encontrar un valor para cuantificar la relación que existe entre la inversión en I+D y la productividad. Como predicen los modelos teóricos se trata de una relación directa entre las dos variables.

En primera instancia, no se obtuvieron resultados muy claros al medir la inversión bruta en I+D frente a la productividad total del trabajo. Por lo tanto, en segunda instancia, se buscó un modelo teórico al que aplicar los datos existentes y descubrir, que si se quiere medir el efecto de la inversión en I+D sobre la productividad, no se pueden medir ambas variables con sus valores brutos. La inversión en I+D debe medirse en porcentaje del volumen de producción total, y la productividad en su tasa de crecimiento anual.

El análisis ha sido lo bastante completo como para obtener los resultados esperados. Gran parte ha sido gracias al elevado volumen de datos de los que se disponía. El contar con una fragmentación de las actividades económicas españolas en 33 subgrupos, y datos para 13 años de cada uno de ellos, ha conseguido que se obtuvieran unos estimadores más precisos e insesgados. De haberlo realizado con micro-datos de empresas innovadoras independientes, los resultados hubieran sido notablemente mejores. Se hubieran podido extrapolar al nivel de la empresa, ya que la diferencia entre la naturaleza de una empresa u otra es bastante más pequeña que la existente entre la naturaleza de un sector u otro, pues estos últimos no dejan de ser agrupaciones de empresas similares.

Por lo tanto, se puede afirmar que el invertir en investigación y desarrollo, el obtener nuevos conocimientos, el mejorar la calidad de los productos y servicios y el optimizar las operaciones, ayuda a encontrar soluciones productivas más efectivas, es decir, a mejorar la productividad.

No se debe olvidar, que el crecimiento de la productividad del trabajo es una de las medidas principales establecidas como indicador de

crecimiento económico según la teoría económica. Como lo pueden ser también la acumulación de capital tanto físico como humano, o la apertura a otros mercados exteriores. Lo que quiere decir, que la inversión en I+D puede ser considerada también un factor para el crecimiento económico de un país, ya que influye directa y positivamente en la productividad del trabajo.

Por lo tanto, invertir en I+D conllevaría al igual que el resto de las medidas consideradas como indicadores del crecimiento económico, la creación de empleo, el aumento de los ingresos y de la renta per cápita, la mejora de la calidad de vida para los residentes, entre otros efectos positivos sobre la economía.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Griliches, Z. (1998). R&D and Productivity: The Econometric Evidence. Capítulo 1 y capítulo 5. ISBN: 0-226-30886-3. Editorial: University of Chicago Press

Instituto Nacional de Estadística: “Empleo por ramas de actividad, resultados para los diferentes años”. Disponible en: <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=32451>

Instituto Nacional de Estadística: “Gasto en actividades innovadoras por rama de actividad y por tipo de gasto para los diferentes años”. Disponible en: https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176755&menu=resultados&idp=1254735576669

Instituto Nacional de Estadística. Encuesta sobre innovación en las empresas: “Notas de prensa 2020-2008”. Disponible en: https://www.ine.es/buscar/searchResults.do?searchString=%22Encuesta+sobre+Innovaci%C3%B3n+en+las+Empresas%22&Menu_botonBuscador=&searchType=DEF_SEARCH&startat=0&L=0

Instituto Nacional de Estadística: “Producción por ramas de actividad, resultados para los diferentes años”. Disponible en: <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=32449>

OECD/Eurostat (2007), Manual de Oslo: “Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación”, 3ª edición, Tragsa, Madrid. Disponible en: <https://doi.org/10.1787/9789264065659-es>

Web Clasificación actividades CNAE 09. Disponible en: <https://www.cnae.com.es/>