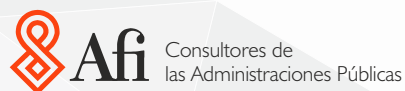


Impacto socioeconómico de la investigación y la tecnología matemáticas en España

Abril 2019





**Impacto socioeconómico
de la investigación
y la tecnología
matemáticas en España**



Edita

REM · RED ESTRATÉGICA EN MATEMÁTICAS
Avda. Reina Mercedes, s/n
41012 Sevilla

Edificio Celestino Mutis, 1ª planta
Campus de Reina Mercedes

Teléfono · (+34) 955 420 839
e-mail · acti-imus@us.es
institucionales.us.es/remimus

Dirección técnica

Daniel Manzano Romero (Afi)
Diego Vizcaíno Delgado (Afi)

Equipo de trabajo

Gonzalo García Andrés (Afi)
Pablo Hernández González (Afi)
María Romero Paniagua (Afi)
Javier Serrano Martínez (Afi)

Diseño y maquetación

Juan Antonio Cabezas Garrido
DR9 ARQUITECTOS

ISBN 978-84-09-10050-7



Impacto socioeconómico de la investigación y la tecnología matemáticas en España

Abril 2019




Analistas Financieros Internacionales
c/ Marqués de Villamejor, 5
28006 Madrid

Teléfono · (+34) 915 200 100
Fax · (+34) 915 200 120
e-mail · afi@afi.es
www.afi.es

Avda. Reina Mercedes, s/n
41012 Sevilla
Edificio Celestino Mutis, 1ª planta
Campus de Reina Mercedes

Teléfono · (+34) 955 420 839
e-mail · acti-imus@us.es
institucionales.us.es/remimus

Financiado por la
Agencia Estatal de Investigación 



La Red Estratégica en Matemáticas (REM) se configuró en 2016 como una red de todos los nodos de relevancia en la investigación y transferencia matemática en España, integrando de hecho a toda la comunidad investigadora en este ámbito. Se partió de la alta estructuración de esta comunidad, comenzada décadas atrás.

La REM es un proyecto financiado por la Agencia Estatal de Investigación, formado por CRM/BCSMATH (Centre de Recerca Matemàtica/ Barcelona Graduate School in Mathematics), BCAM (Basque Center for Applied Mathematics), ICMAT (Instituto de Ciencias Matemáticas), RedIUM (Red de Institutos Universitarios de Matemáticas), MATH-IN (Red Española Matemática-Industria), Centros Públicos de Educación Superior, coordinado por el IMUS (Instituto de Matemáticas de la Universidad de Sevilla).

Partiendo de la consideración del carácter estratégico de las matemáticas reconocido en los planes nacionales de I+D+i, sus objetivos consisten en la mejora del posicionamiento estratégico nacional e internacional y el impacto científico y económico de la matemática española. En este marco se desarrollan seis acciones estratégicas,

Acción 1: Estudio de los resultados de la investigación en matemáticas en la última década.

Acción 2: Apoyo a las acciones transversales de Transferencia de Tecnología Matemática.

Acción 3: Difusión de la actividad y los resultados de la investigación matemática en España,

Acción 4: Potenciación de la presencia de la matemática española en el mundo.

Acción 5: Promover la obtención de financiación para la matemática española.

Acción 6: Estudio del impacto socio-económico de la investigación y la transferencia de tecnología matemáticas en España.

Las Acciones de 2 a 5 impulsan directamente el posicionamiento estratégico de las matemáticas en España en diferentes ámbitos. Por su parte, el objetivo de las Acciones 1 y 6 es efectuar un balance exhaustivo de la situación actual del impacto científico y económico de las matemáticas en España, como base para su potenciación posterior.

El presente estudio es el previsto en la Acción 6, realizado por Analistas Financieros Internacionales.



ÍNDICE

PREFACIO	7
1. RESUMEN EJECUTIVO	9
1.1. MATEMÁTICAS Y ECONOMÍA.....	9
1.2. EL PESO DE LA INVESTIGACIÓN MATEMÁTICA Y DE LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA MATEMÁTICA EN LA ECONOMÍA ESPAÑOLA.....	10
1.3. LAS MATEMÁTICAS COMO VECTOR ESTRATÉGICO DE CRECIMIENTO Y PROGRESO ECONÓMICO.....	11
2. INTRODUCCIÓN	13
3. MATEMÁTICAS Y ECONOMÍA	17
3.1. NATURALEZA ECONÓMICA DE LAS MATEMÁTICAS.....	18
3.1.1. <i>Las matemáticas: un bien público de club</i>	18
3.1.2. <i>Las matemáticas como bien privado</i>	20
3.2. ¿POR QUÉ SON IMPORTANTES LAS MATEMÁTICAS PARA LAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS Y LA ECONOMÍA?.....	21
4. EL PESO DE LA INVESTIGACIÓN MATEMÁTICA Y DE LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA MATEMÁTICA EN LA ECONOMÍA ESPAÑOLA	23
4.1. LA CUANTIFICACIÓN DE LAS MATEMÁTICAS COMO BIEN ECONÓMICO.....	24
4.1.1. <i>Estimación cuantitativa a través del enfoque de ocupaciones con intensidad matemática</i>	24
4.1.2. <i>Estimación cuantitativa a través del enfoque combinado de ocupaciones y productos con intensidad matemática</i>	27



4. 1. 3. <i>Impacto indirecto e inducido: efectos de arrastre sobre otros sectores económicos</i>	30
4. 2. EL PESO ECONÓMICO DE LAS MATEMÁTICAS EN ESPAÑA EN PERSPECTIVA COMPARADA	34
5. LAS MATEMÁTICAS COMO VECTOR ESTRATÉGICO DE CRECIMIENTO Y PROGRESO ECONÓMICO	39
5. 1. EFECTOS DINÁMICOS DE LAS MATEMÁTICAS EN LA ECONOMÍA ESPAÑOLA	43
5. 2. TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA MATEMÁTICA AL TEJIDO PRODUCTIVO Y EXTERNALIDADES POSITIVAS ASOCIADAS. ALGUNOS EJEMPLOS EN ESPAÑA.....	45
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE POLÍTICA PÚBLICA	49
7. ANEXO METODOLÓGICO	51
7. 1. ENFOQUE DE OCUPACIONES: APROXIMACIÓN METODOLÓGICA	52
7. 2. ENFOQUE DE OCUPACIONES: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
7. 3. ENFOQUE DE OCUPACIONES: MICRODATOS EPA	60
7. 4. ENFOQUE DE PRODUCTOS.....	65
7. 5. IMPACTO INDIRECTO E INDUCIDO	65
7. 6. ESTIMACIÓN DE IMPACTO CON METODOLOGÍA DE DATOS DE PANEL	67
8. EXPERTOS CONSULTADOS	69
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
10. GLOSARIO DE TÉRMINOS	73
11. RELACIÓN DE FIGURAS	77



PREFACIO

Las matemáticas están ayudando silenciosamente a dar forma al mundo tecnológico actual. Las matemáticas no solo proporcionan una visión profunda de procesos y sistemas, y ayudan a mejorar el conocimiento científico, sino que también contribuyen a generar valor añadido en prácticamente todos los sectores económicos. Además, se ha producido un cambio de paradigma en las aplicaciones de las matemáticas en los últimos años, ya que también proporcionan un valor añadido directo a sectores emergentes relacionados con el análisis de datos. Sin investigación, formación y transferencia matemáticas, no existirían la ingeniería o la economía en la forma que las conocemos actualmente, no existiría la informática, no habría teléfonos inteligentes, ni ordenadores, ni cuentas bancarias online, ni números PIN...

Los poderes públicos son muy conscientes del papel estratégico de las matemáticas en el desarrollo económico y social. En 2016, la Comisión Europea lanzó una consulta pública sobre las matemáticas en el Programa Marco H2020, como base para el futuro programa de trabajo Horizon 2020 (2018-20) con contenido matemático innovador. Entre otras cosas afirma:

“Two facts motivated this request: today’s digital society depends on mathematics and algorithms; there is a vast pool of mathematical talent in Europe. The conclusion is that Europe can be first in mathematical applications for big data, computing and especially HPC, to be first in modern science and innovation.”

En nuestro país ya en el Plan Nacional de I+D+i 2004-2007 se afirmaba que *«Las matemáticas deben ser consideradas como una pieza clave en el sistema de I+D+i de cualquier sociedad moderna, y en particular, de la española. Su carácter estratégico debe ser señalado con claridad»*.

A partir de estas consideraciones, la *Agencia Estatal de Investigación* financió en 2016 la creación de la *Red Estratégica en Matemáticas (REM)*, que fomenta el posicionamiento estratégico nacional e internacional de la investigación y transferencia matemáticas en España. Fruto de la acción de la REM es el presente informe sobre el impacto de la matemática en el desarrollo socioeconómico de la sociedad española.

Este informe independiente, realizado por *Analistas Financieros Internacionales* y referido al año 2016, proporciona conclusiones muy relevantes de cómo las matemáticas impulsan la economía española. El impacto de éstas en términos de valor económico y empleo alcanza valores sorprendentes, mostrando la alta capacidad de proporcionar valor añadido que tienen las matemáticas en una amplia variedad de sectores económicos. Por supuesto la matemática es fundamental en los modernos servicios digitales, comunicaciones e internet, pero también en sectores más tradicionales como banca, seguros, electricidad y gas, entre otros, en las que su uso está experimentando un rápido desarrollo. El informe muestra igualmente la alta productividad de las ramas económicas con alta intensidad de uso de las matemáticas, homologable a la de otros países europeos como Francia, Holanda o Inglaterra.

Es para la REM una gran satisfacción poner este informe al servicio de la sociedad española, especialmente de sus sectores productivos y de su administración. Esperamos que ayude a incrementar la capacidad de las matemáticas para proporcionar valor añadido a la economía española y mejorar el empleo y, en definitiva, a contribuir a la mejora de la calidad de vida de sus ciudadanos.

Sevilla, 10 de abril de 2019

Tomás Chacón Rebollo
Coordinador de la
Red Estratégica en Matemáticas

Guillermo Curbera Costello
Coordinador del Estudio de Impacto
Económico de las Matemáticas



1. RESUMEN EJECUTIVO

1.1. MATEMÁTICAS Y ECONOMÍA

Las matemáticas constituyen un conjunto de lenguajes conceptuales, artificiales y simbólicos, altamente elaborados para la comunicación entre seres humanos, cuyo aprendizaje permite resolver problemas económicos vitales para el funcionamiento de una sociedad. Por ende, tienen una elevada presencia en la tecnología y la economía. Desde el procesamiento de datos de producción o consumo en una computadora, al razonamiento lógico utilizado para justificar una u otra decisión de política económica, las matemáticas se encuentran presentes en la realidad cotidiana, posibilitando la propia existencia de relaciones económicas. Podría argumentarse que sin lenguajes y conceptos matemáticos los individuos no podrían realizar la inmensa mayoría de las transacciones económicas que tienen lugar habitualmente.

La naturaleza económica de las matemáticas como bien semipúblico dificulta su medición con la lógica de la Contabilidad Nacional, una problemática que se agranda cuando se tiene en cuenta su capacidad para derivar

externalidades positivas o beneficios al conjunto de la sociedad, que no necesariamente participa en su producción.

Sin embargo, su condición de bien privado caracterizada por los beneficios apropiables que su uso extiende en las actividades económicas permite realizar una aproximación parcial de su peso o relevancia económica. No conviene olvidar que la participación de las matemáticas en las actividades productivas es transversal, pues afecta a todos los sectores, así como interviene en las distintas fases del proceso de producción de bienes y servicios. Desde el diseño, modelaje, simulación y prototipado de productos, a la optimización de procesos productivos y organizativos y el análisis de los datos. Facilitar la generación de beneficios o incentivos a la explotación de las matemáticas en su dimensión de bien privado pasa necesariamente por la intervención pública, entre otras razones, para reducir los costes de aprendizaje.

La revolución de Internet ha situado a las matemáticas como *input* fundamental de la producción, en tanto en cuanto los servicios —responsables de más del 75% del PIB— han ido incorporando de manera creciente tanto capital físico-tecnológico basado en

matemática —tecnologías de la información y las comunicaciones, *softwares*, dispositivos electrónicos, etc—, como capital humano matemático.

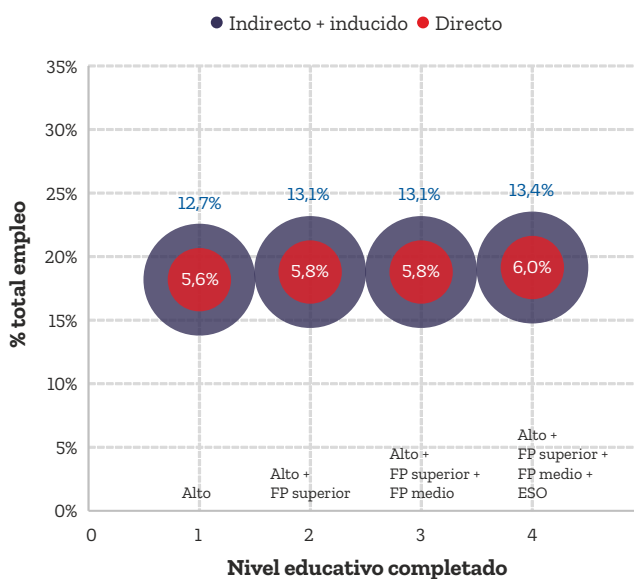
1. 2. EL PESO DE LA INVESTIGACIÓN MATEMÁTICA Y DE LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA MATEMÁTICA EN LA ECONOMÍA ESPAÑOLA

En la medida en que las matemáticas forman parte del *stock* de capital humano y también del *stock* de capital físico, puede considerarse como un *Input* (oferta). No obstante, existen bienes o servicios cuya naturaleza es matemática (una prima de seguro, por ejemplo), por lo que también pueden considerarse como un *Output* (demanda). Un enfoque combinado de ocupaciones y productos revela que las actividades con intensidad matemática generaron un millón de ocupados en España en 2016, lo que representó el 6% del empleo total. Al añadirse los empleos indirectos e inducidos, el impacto de las matemáticas en el mercado de trabajo español se eleva hasta el 19,4% del total de los ocupados en 2016.

En términos de Valor Añadido Bruto (VAB), el impacto de las actividades con intensidad matemática se situó en el 10,1% del total en 2016 (26,9% del total si se añe-

Estimación de impacto directo, indirecto e inducido de las actividades intensivas en matemáticas sobre el empleo en España (% total ocupados) según nivel educativo completado, 2016

Fuentes: Afi, INE (microdatos EPA, Tablas Input-Output)



diesen los efectos de arrastre). Las actividades económicas con mayor impacto de las matemáticas son la informática, las actividades financieras, los servicios de telecomunicaciones y la rama de energía eléctrica y gas.

La magnitud de estos impactos es menor que la obtenida en otros países europeos donde se ha realizado un estudio similar, ya que en términos de empleo el impacto directo oscila entre el 10-11% del total, mientras que en VAB el intervalo se encuentra entre el 13-16% del total.

La productividad de las ramas económicas en las que trabajan este tipo de profesionales en España se sitúa en 47,2 euros por hora trabajada en 2016, homologable a la de los países comparables. La diferencia del impacto se explica, por tanto, por la estructura productiva española, que está más orientada hacia actividades con menor presencia de profesiones que requieran cierta intensidad matemática.

España destaca por estar muy rezagada en profesiones de intensidad matemática como especialistas en bases de datos y redes informáticas, finanzas, profesionales de las tecnologías de la información o diseñadores de *software* y multimedia.

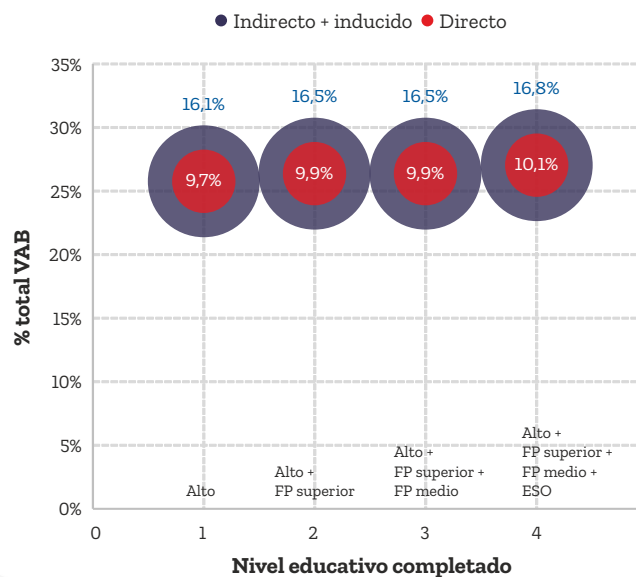
1.3. LAS MATEMÁTICAS COMO VECTOR ESTRATÉGICO DE CRECIMIENTO Y PROGRESO ECONÓMICO

Las matemáticas están en la base de la pirámide del *stock* de ideas y conocimientos que tienen aplicaciones productivas. Las modernas teorías del crecimiento económico ligán la evolución de la renta per cápita a largo plazo a la tasa a la que se acumula el conocimiento, que induce aumentos de la productividad del trabajo. Constituye un conocimiento estratégico para que la economía española y su tejido empresarial puedan aprovechar las oportunidades derivadas de la revolución tecnológica asociada a la robotización y la Inteligencia Artificial. Si España incrementase la proporción de graduados STEM sobre el total de la población al mismo nivel que en Francia, la productividad del trabajo podría aumentar en un 2,2% sobre los valores actuales.

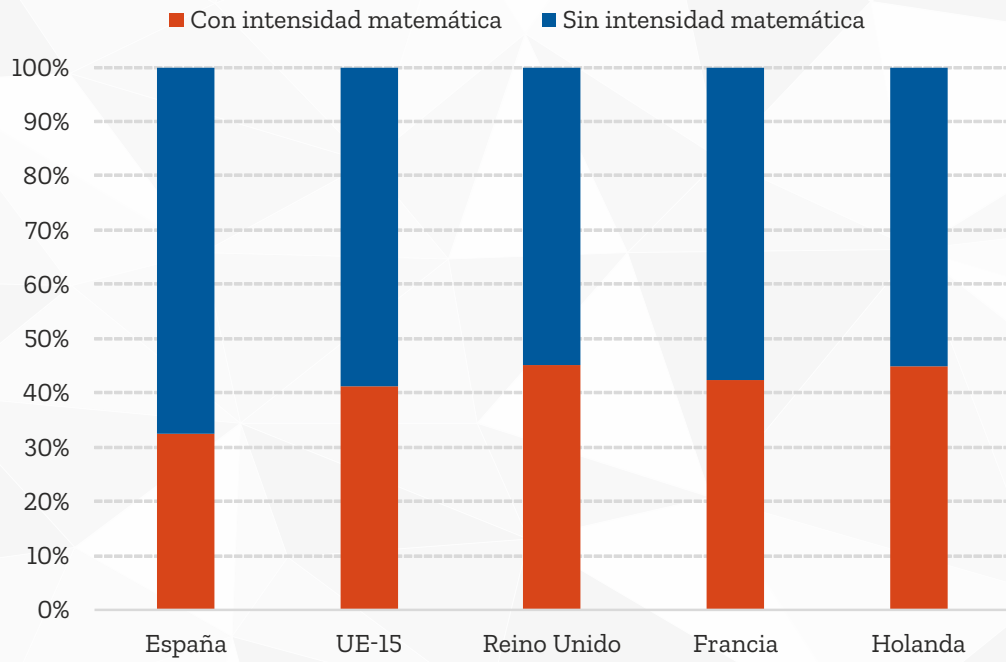
Para que todo esto sea posible, sería recomendable, entre otras cuestiones, (i) que las matemáticas adopten un papel protagonista en el modelo educativo, (ii) se mejore el engarce entre el mundo académico y el empresarial, (iii) se potencie la investigación y las matemáticas aplicadas, (iv) y se visibilice en el entorno empresarial la utilidad que reportan las matemáticas en las diversas fases del proceso productivo.

Estimación de impacto directo, indirecto e inducido de las actividades intensivas en matemáticas sobre el VAB en España (% total) según nivel educativo completado, 2016

Fuentes: Afi, INE (microdatos EPA, TIO)



Distribución de ocupados desempeñando ocupaciones de intensidad matemática en España, UE-15, Reino Unido, Francia y Holanda (% total ocupados), 2015



Fuentes: Afi, Cedefop



2. INTRODUCCIÓN

Todo aquel que reflexione sobre la importancia de las matemáticas advertirá rápidamente las dificultades que entrañarían para una sociedad cuestiones tan elementales como organizarse o administrarse en ausencia de las mismas. Baste imaginar simplemente cuán costoso sería para el funcionamiento de los mercados la inexistencia de un sistema de precios, coordinar modos de transporte o establecer una red de comunicaciones basada en códigos alfanuméricos sin el aparentemente trivial lenguaje de los números.

La continua acumulación de conocimiento matemático derivado de la investigación es un factor clave para explicar tanto el crecimiento, como el desarrollo económico, tecnológico y social a lo largo de la historia. La investigación paleontológica ha acreditado que las matemáticas han servido de herramienta para las comunidades más primitivas y ancestrales, y que incluso existen evidencias¹ de conocimiento previas a los primeros registros escritos. Más adelante, grandes civilizaciones como la mesopotámica o la egipcia aplicaron sus conocimientos² matemáticos en aritmética y geome-

¹ En Henahan, Sean (2002): *Art Prehistory. Science Updates*, se documentan hallazgos de dibujos de matemáticas elementales en comunidades prehistóricas.

² Kline, M. (1992): *El pensamiento matemático de la Antigüedad a nuestros días*.

tría para atender la necesidad de predecir cosechas e inundaciones, contabilizar el ganado, construir edificios o dimensionar ejércitos, entre otras aplicaciones prácticas. Unos avances que sirvieron de base para proseguir en el estudio de la geometría en la Antigua Grecia,³ periodo que añade otras contribuciones decisivas en el ámbito de la astronomía y la lógica, así como de la transferencia matemática a las expresiones artísticas en la escultura o la arquitectura —la proporción áurea— retomadas siglos después en la época renacentista. En definitiva, puede entenderse que el lenguaje universal de las matemáticas forma una parte clave del acervo cultural de la humanidad, transfiriéndose de manera intergeneracional y constituyendo —lo expresó Raymond Wilder— «un bien de propiedad colectiva» cuyo uso y aplicación permite la sofisticación y modernización de las sociedades.

La intensidad creativa de la ciencia matemática se ha acelerado notablemente en las últimas cuatro centurias, y su aplicación a otras disciplinas —física, química, ingeniería, etc.— así como a las actividades productivas ha sido exponencial. En este sentido es relevante señalar que las matemáticas subyacen al surgimiento y desarrollo de las sucesivas disrupciones tecnológicas acontecidas desde el s. XVIII hasta la actualidad, época en la que estamos inmersos y se ha convenido en denominar como tercera revolución industrial —*internet*—, donde el protagonismo de las matemáticas es absolutamente central. En efecto, las ciencias de la computación, originadas a mediados del s. XX, los algoritmos y el análisis de bases de datos masivas se encuentran en la base del funcionamiento de las actividades productivas más pujantes de nuestro tiempo. El horizonte que trazan, por otra parte, los avances de frontera en robótica e inteligencia artificial, intensivos por definición en conocimiento matemático, no harán sino impulsar en mayor medida si cabe la presencia de la ciencia de los números en el tejido productivo.

3 Heath, T.L. (1981): A History of Greek Mathematics.

Delimitar y estimar de manera precisa la aportación de las matemáticas a la economía es una ardua tarea. El Producto Interior Bruto⁴ (PIB), que es el instrumento básico que mide habitualmente la actividad económica, presenta una limitación natural derivada de su propia construcción a la hora de valorar aquellos bienes que no transitan por el mercado, como por ejemplo, los bienes públicos. En este sentido, la naturaleza intangible que adoptan las matemáticas —que dificulta su medición— y, sobre todo, su categoría de bien no rival —que las acerca a la categoría de bien público— impiden valorar su verdadera utilidad para la sociedad con la lógica de la Contabilidad Nacional, que es el marco general de medición de la actividad y el bienestar en el que el PIB constituye el indicador por excelencia.

Este relato no debe ser interpretado como un alegato de imposibilidad, a pesar de las dificultades metodológicas obvias que entraña escindir la aportación de las matemáticas al sistema económico. Más bien es una señal de cautela, para advertir *ex ante* al lector de que el trabajo que se presenta a continuación parte de premisas menos ambiciosas, pues la medición del valor económico de las matemáticas solo puede formularse desde una perspectiva de «aproximación». En el presente trabajo dicha «aproximación» —existen otras, pero fuera del marco de la Contabilidad Nacional, y basadas en criterios subjetivos de preferencias— es la de los beneficios apropiables y tangibles para los agentes que detentan el conocimiento matemático y obtienen beneficios particulares de las mismas. Este es el enfoque también seguido por los estudios pioneros en este ámbito, como es el caso de los informes desarrollados en Reino Unido, Países Bajos y Francia.

4 El PIB se define como el valor de mercado de los bienes y servicios finales producidos por una economía en un determinado periodo de tiempo (generalmente un año). También se define por la suma de los valores añadidos del proceso de producción. Por ello, el PIB se identifica con la suma del Valor Añadido Bruto (VAB) y los impuestos indirectos sobre los productos menos las subvenciones.



El estudio aquí desarrollado se estructura de la siguiente manera. En el apartado 2 se caracteriza a las matemáticas como bien económico y se describe la relación que establecen las matemáticas y la economía. En el apartado 3 se aproxima la contribución de las matemáticas al PIB a través del Valor Añadido Bruto (VAB), el peso en el empleo total y la recaudación fiscal en España, así como se sitúa dicha estimación en perspectiva comparada con otros países donde se han llevado a cabo estudios similares. Más adelante, en el apartado 4, se realiza un análisis de la importancia de la investigación matemática y de la transferencia de tecnología matemática para el crecimiento económico, a través del progreso y las externalidades positivas que deriva. Finalmente, se esbozan algunas reflexiones que podrían ayudar al diseño de políticas de apoyo al desarrollo y aplicabilidad de las matemáticas en España, a la luz de la evidencia aportada en el estudio y las conclusiones de varias rondas de entrevistas con agentes conocedores del ecosistema matemático, desde investigadores universitarios a profesionales de empresas tecnológicas que desarrollan su actividad en España y también fuera de nuestras fronteras.



3. MATEMÁTICAS Y ECONOMÍA

Las matemáticas constituyen un conjunto de lenguajes conceptuales artificiales, universales y simbólicos –altamente elaborados– para la comunicación entre seres humanos, cuyo aprendizaje permite resolver problemas económicos vitales para el funcionamiento de una sociedad. Establecen, no obstante, una serie de normas que las diferencia de las propias del lenguaje cotidiano. En particular, las matemáticas recurren a un vocabulario de signos que indican números, figuras o cosas, así como las relaciones entre ellas. Dicho vocabulario se utiliza para la construcción de fórmulas, ecuaciones y expresiones matemáticas que con la asistencia de conectores (conjunciones, disyunciones, etc.) y cuantificadores lógicos (existe, cualquier, etc.) permiten la construcción de lo que en un lenguaje ordinario serían frases. Estas expresiones adquieren sentido a través de su inclusión en teoremas y demostraciones que representan enunciados y razonamientos, que serían el equivalente a textos o ensayos.

Sin lenguaje matemático, la inmensa mayoría de las transacciones económicas serían imposibles.

El lenguaje matemático tiene una elevada presencia⁵ en la economía. Desde el procesamiento de datos de producción o consumo en una computadora al razonamiento lógico utilizado para justificar una u otra decisión de política económica, las matemáticas se encuentran presentes en la realidad cotidiana, posibilitando la propia existencia de relaciones económicas. Podría argumentarse que sin lenguaje matemático los individuos no podrían realizar la inmensa mayoría de las transacciones económicas que tienen lugar habitualmente. En otras palabras, las matemáticas son un instrumento que reduce de manera drástica los costes de transacción, posibilitando la interacción entre la oferta de bienes y servicios y la demanda de los mismos. De ahí el interés por entender la naturaleza económica de las matemáticas y la manera en que incide en las actividades económicas.

Las matemáticas se encuentran en la base de la pirámide de ideas y conocimiento aplicado a las actividades productivas, y requieren la intervención pública para que su transmisión a la población se realice en proporciones óptimas.

5 Una descripción en profundidad puede encontrarse en las lecciones de Concepción González: «Matemáticas como recurso para economía».

3. 1. NATURALEZA ECONÓMICA DE LAS MATEMÁTICAS

3. 1. 1. Las matemáticas: un bien público de club.

A semejanza de otras producciones colectivas, como la lengua,⁶ la investigación y uso intensivo de las matemáticas presentan algunas características de bien público. Una vez enunciado o demostrado un teorema –por ejemplo, el teorema fundamental del cálculo– su uso no agota las posibilidades de uso por el resto de los humanos, con independencia del tiempo o el espacio en que se haga. Es lo que se conoce como bien «no rival».

Sin embargo, a diferencia de otros bienes públicos puros –como el aire o la defensa nacional– las matemáticas presentan un cierto coste de acceso –aprendizaje– que restringe la entrada o excluye a quien no domina o conoce su lenguaje. Estos costes son tanto más altos cuanto menor predisposición o capacidad de acceso tienen los individuos a su aprendizaje. Así pues, el cumplimiento del principio de exclusión, basado en los costes de acceso las sitúa como bien público de club. Sin embargo, a diferencia de la mayoría de dichos bienes públicos de club, no presenta economías de congestión, sino de adopción o red (cuantos más usuarios, más valor tienen). Es decir, nunca se convierte como tal en un «bien rival», sino todo lo contrario.

Las implicaciones de su naturaleza de bien público de club son diversas. En primer lugar, el mercado no tiene capacidad para producir la cantidad óptima de transmisión de conocimiento, ni de investigación, al

6 Desde Fundación Telefónica se han conducido diversos trabajos que analizan diferentes dimensiones del valor económico de la lengua española, como por ejemplo «Valor económico del español», Delgado, Alonso y Jiménez (2012) y «Las Cuentas del español, Girón y Cañada» (2009).



Diagrama 1. Características de bienes privados y públicos

	Exclusión	No exclusión
Rival	Bienes privados Ropa Bienes alimenticios	Bienes comunes de libre acceso Parques públicos Aguas internacionales Bienes de congestión Autopistas sin peaje Educación pública
No rival	Bienes de club Televisión de pago Clubes deportivos	Bienes públicos puros Defensa Investigación

Fuente: Afi

no existir apropiabilidad y solo exclusión parcial. Esta es una de las razones por las cuales la transmisión del conocimiento en matemáticas precisa de la intervención pública, para que sea provista en cantidades óptimas (educación básica, investigación, etc.) más allá de la que el mercado puede asignar.

Las matemáticas estarían en la base de la pirámide del *stock* de ideas y conocimientos que tienen aplicaciones productivas. Las modernas teorías del crecimiento económico ligan la evolución de la renta per cápita a largo plazo a la tasa a la que se acumula ese conocimiento (como podrá verse más adelante, en el apartado 4). El efecto económico es además proporcional a la población que puede tener acceso a la utilización de este recurso.

Al no ser un recurso apropiable, no existe un valor de mercado que refleje la verdadera utilidad que representa para la sociedad. Este «fallo de mercado» viene determinado por su condición de bien cuasi-público y porque los sistemas de contabilidad nacional solo son capaces de medir bienes privados, es decir, aquellos que tienen asignado un precio de mercado. Pero otro «fallo de mercado» que dificulta la medición de

su aportación a la economía es que el conocimiento matemático genera externalidades positivas (beneficios indirectos en otros mercados no reflejados en los precios de las transacciones). Por ejemplo, la enseñanza de matemáticas permite que las personas tomen mejores decisiones (administración de recursos, por ejemplo), una utilidad que no se encuentra en el coste de la transferencia de conocimiento (el salario cobrado por un profesor de matemáticas).

Así pues, las matemáticas como bien económico guardan similitudes con el lenguaje ordinario, pudiendo representar sus cuatro características básicas, tal y como se muestran en el siguiente diagrama.

La transmisión de conocimiento matemático genera grandes externalidades positivas que no son habitualmente reconocidas en las estadísticas.

Diagrama 2. Características de las matemáticas como bien público



Fuente: Afi

3. 1. 2. Las matemáticas como bien privado

Otro enfoque para el análisis de la naturaleza económica de las matemáticas es la que considera su calidad de bien privado, teniendo en cuenta los beneficios apropiables para los agentes que detentan el conocimiento de los frutos de la investigación matemática. Las matemáticas, desde esta perspectiva, pueden ser entendidas como un activo que portan los individuos, que precisa de una inversión inicial en aprendizaje (costes de acceso evocados en el anterior subepígrafe) y que a lo largo de la vida del individuo que lo adquiere le genera una serie de flujos de beneficios tangibles.

Así pues, los individuos se enfrentan a la disyuntiva de «invertir» esfuerzo en el aprendizaje matemático, en función de cuál sea ese balance entre flujos de beneficios y costes. Cuando estos beneficios sean fácilmente predecibles y mayores a los costes, los individuos invertirán en su educación matemática.

Cuanto menores sean los costes de aprendizaje y mayores sean los beneficios retribuidos al conocimiento, mayores serán los incentivos a extender el stock de conocimiento matemático entre los individuos de una determinada comunidad.

Los costes de aprendizaje contemplan tanto los costes monetarios como el valor (coste de oportunidad) de las horas necesarias de esfuerzo para alcanzar el *standard* requerido en según qué disciplina. Por el lado de los beneficios, estos podrían expresarse como la diferencia de salario que obtiene a lo largo de la vida laboral (medida por t) el trabajador que adquiere estos conocimientos sobre el salario que podría obtener si no dispusiese de ese conocimiento.

$$\sum_t^T \frac{\text{Beneficios}_t}{(1+r)^t} - \text{Costes de aprendizaje}$$

De esta sencilla fórmula se obtiene una serie de conclusiones relevantes. Solo por citar una, cuanto mayor sea el apoyo público para disminuir los costes de aprendizaje, mayor será el incentivo a extender el *stock* de conocimiento matemático entre los individuos de una determinada comunidad. Por el lado de los beneficios, cuanto mayor sea la prima del salario que retribuya ese conocimiento, más incentivos existirán para que los individuos «participen» embarcándose en el aprendizaje matemático.

La ventaja de esta aproximación a la naturaleza de las matemáticas como bien económico es que es conciliable con las métricas que dispone la Contabilidad Nacional, en cuanto los «salarios y beneficios» atribuibles a la matemática son observables gracias a la información estadística elaborada por las instituciones públicas.

Las matemáticas tienen una aplicación transversal a las actividades económicas y una presencia creciente en los servicios, responsables de alrededor del 70% del PIB.

3. 2. ¿POR QUÉ SON IMPORTANTES LAS MATEMÁTICAS PARA LAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS Y LA ECONOMÍA?

«El mundo económico es una región nebulosa. Los primeros exploradores usaron visión no asistida. La matemática es el faro mediante el cual lo que antes se veía tenue ahora surge con trazos firmes y marcados. La vieja fantasmagoría desaparece. Vemos mejor. También es mayor el alcance de nuestra visión».

— Irving Fisher, economista

La economía es la disciplina de las llamadas ciencias sociales que se ocupa de la toma de decisiones y su interacción. Desde esta óptica, las matemáticas constituyen una caja de herramientas fundamental para mejorar dicha toma de decisiones, así como un lenguaje fundamental que, como se comentaba con anterioridad, elimina o reduce determinados costes de transacción. Sin ir más lejos, la programación matemática es un instrumento de aplicación básica que permite disponer de reglas de razonamiento lógico para lograr uno de los objetivos primordiales de la ciencia económica, que es la «asignación eficiente de recursos escasos». Por otra parte, ámbitos de la matemática tan elementales como el álgebra matricial son de gran utilidad para la presentación y tratamiento de información en múltiples campos, desde la econometría a la contabilidad, así como para lograr una mejor gestión empresarial. Los modelos probabilísticos, por su parte, constituyen un instrumento fundamental para afrontar la toma de decisiones en contextos de incertidumbre y riesgo, como por ejemplo, en el ámbito financiero.

En cualquier caso, las matemáticas, en sus distintas aproximaciones y vertientes, tienen una aplicación transversal a las actividades económicas. Hasta hace pocas décadas, su presencia era preponderante en

las ramas industriales y de construcción, dada la intensidad matemática de las distintas ingenierías (industrial, caminos y puertos, etc.). Sin embargo, la revolución de Internet ha situado a las matemáticas como *input* fundamental de la producción, en tanto en cuanto los servicios –que representan en las economías desarrolladas cerca del 70% de la producción final de la economía– han ido incorporando de manera creciente tanto capital físico-tecnológico basado en matemáticas (tecnologías de la información y las comunicaciones, *softwares*, dispositivos electrónicos, etc.), como capital humano matemático, como por ejemplo el que se encarga de la realización de análisis de datos para distintas funciones empresariales, desde las estrategias de publicidad o *marketing*, a las estrategias empresariales (fijación de precios) o la optimización de recursos (energéticos, humanos, etc.). En términos generales, podría resumirse la participación de las matemáticas en la actividad productiva en tres ámbitos clave:

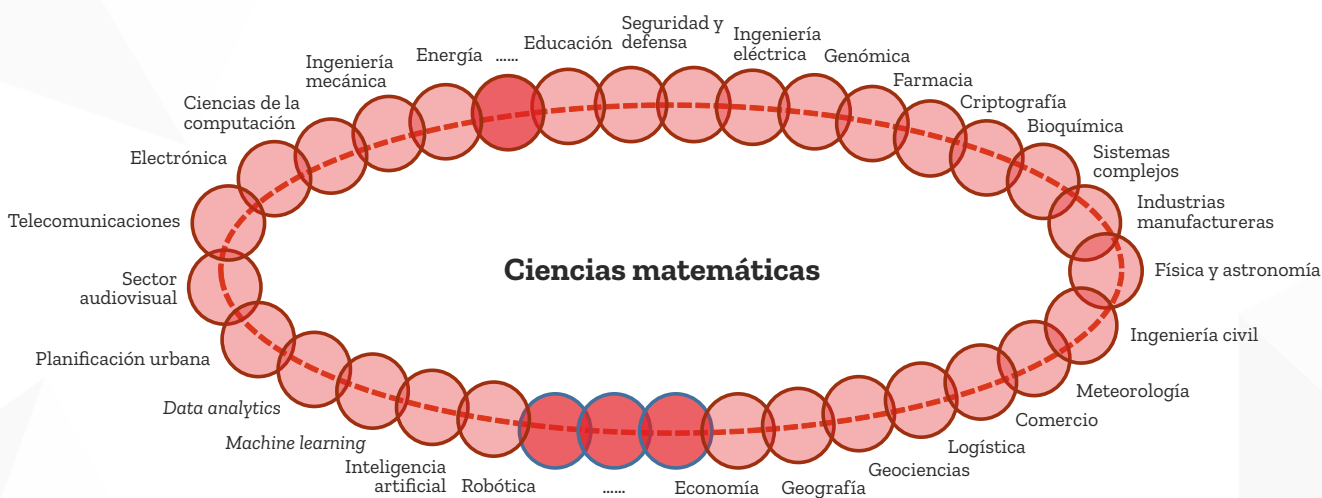
1) **DISEÑO, MODELAJE, SIMULACIÓN Y PROTOTIPADO DE PRODUCTOS.** Las matemáticas añaden mucha precisión a la fabricación de bienes y servicios, permitiendo la sofisticación de los mis-

mos. El ejemplo ilustrativo más recurrente es el de la automoción, donde las matemáticas han sido un instrumento fundamental para la mejora de los vehículos.

2) **OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS PRODUCTIVOS Y DE ORGANIZACIÓN.** Las matemáticas son esenciales para reducir costes de transacción internos y externos, y mejorar la eficiencia (producir al menor coste posible). Un claro ejemplo es la aplicación de la matemática a la logística industrial, para la optimización de la red de distribución (almacén, reparto, ruta, planificación de los horarios, desplazamientos, etc.).

3) **ANÁLISIS DE DATOS.** Las matemáticas proporcionan herramientas fundamentales para que la información disponible adquiera sentido económico y sea aprovechable (por ejemplo, mediante técnicas de análisis de *Big Data*). Por ejemplo, en el sector aeronáutico, la creación de prototipos de plataforma de análisis de grandes volúmenes de datos desestructurados permite mejorar la eficiencia de los vuelos (consumo de combustible, emisiones, tiempos de vuelo, retrasos, etc.).

Diagrama 3. Algunos vínculos de las ciencias matemáticas con otras disciplinas académicas y sectores económicos



Fuente: The Era of Mathematics



4. EL PESO DE LA INVESTIGACIÓN MATEMÁTICA Y DE LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA MATEMÁTICA EN LA ECONOMÍA ESPAÑOLA

Tal y como se decía con anterioridad, el hecho de que la investigación y transferencia tecnológica matemática (en adelante, ITM) no tenga un valor de mercado dificulta la medición de su peso en la economía española. La aproximación metodológica que se emplea en este trabajo ha sido utilizada ampliamente en proyectos de estas características⁷ y consiste en la consideración de los beneficios apropiables para los agentes que poseen el conocimiento matemático y perciben sus frutos en sus actividades correspondientes.

⁷ Los trabajos que han sido de referencia para el desarrollo de este estudio han sido los informes elaborados por Deloitte en los casos de Reino Unido (2012) y Países Bajos (2014), y del CMI en el caso de Francia (2015).

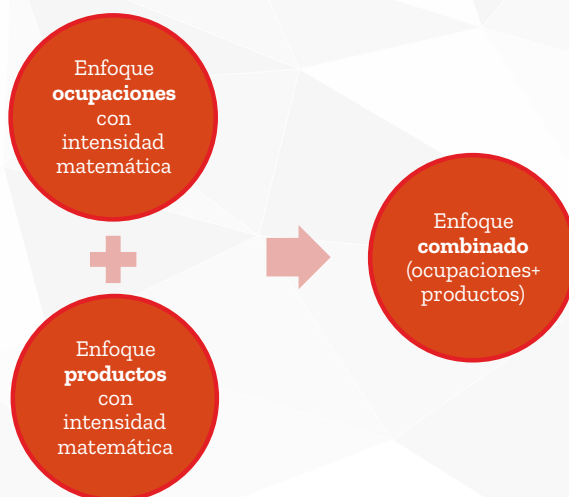
4. 1. LA CUANTIFICACIÓN DE LAS MATEMÁTICAS COMO BIEN ECONÓMICO

En la medida en que la ITM forma parte del *stock* de capital humano y también está incorporada en el *stock* de capital físico, puede considerarse como un *Input* (oferta). No obstante, existen bienes o servicios cuya naturaleza es matemática (una prima de seguro, por ejemplo), por lo que también pueden considerarse como un

Output (demanda). Por ello, la manera de aproximarse a su contribución puede hacerse desde ambas lógicas, donde la clave es discernir la intensidad matemática, tanto de los *inputs* como de los *outputs*.

El análisis desarrollado en este trabajo se basa (véase el diagrama 4) en el enfoque de ocupaciones (oferta). No obstante, también se explora el enfoque de productos (demanda), así como la posibilidad de aprovechar su complementariedad (enfoque combinado).

Diagrama 4. Metodología propuesta para estimar el peso de la ITM en la economía española



Fuente: Afi

4. 1. 1. Estimación cuantitativa a través del enfoque de ocupaciones con intensidad matemática

A partir de la metodología del enfoque de ocupaciones (consúltese el anexo), se obtiene que en España habría entre 2,4 y 3,8 millones de ocupados Equivalentes en Jornada Completa (en adelante, EJC) con intensidad matemática en el año 2016, según el nivel de estudios que hayan completado (véase la tabla 1). Estas magnitudes representan entre un 14,1% y un 22,1%, respectivamente, del total de ocupados de la economía española en ese mismo año.

En ambos casos, se trata de una estimación de máximos, ya que considera que estos ocupados dedican

la totalidad de su tiempo de trabajo a la realización de tareas con intensidad matemática. Sin embargo, esto puede no ser así ya que existen ciertas tareas, también relevantes en el ejercicio de cualquier profesión, que no requieren de conocimientos matemáticos avanzados por parte de los trabajadores o que para su ejecución estos últimos no se apoyan sobre herramientas con alto contenido matemático (maquinaria). Un ejemplo de ello son las relaciones comerciales e institucionales que se celebran de forma presencial, la asistencia a reuniones de coordinación de equipos, etc. Aunque en muchas de estas tareas también se tenga en cuenta el uso del tiempo y la optimización del mismo.

Tabla 1. Ocupados totales y EJC con intensidad matemática según nivel educativo completado (personas y % total), 2016

Personas	Alto	Alto + FPsuperior	Alto + FPsuperior + FPmedio	Alto + FPsuperior + FPmedio + ESO
Total				
Por nivel educ.	2.350.916	568.165	1.261	801.724
Acumulado	2.350.916	2.919.080	2.920.341	3.722.065
EJC				
Por nivel educ.	2.450.880	582.801	1.401	805.940
Acumulado	2.450.880	3.033.681	3.035.083	3.841.022

% total	Alto	Alto + FPsuperior	Alto + FPsuperior + FPmedio	Alto + FPsuperior + FPmedio + ESO
Total				
Por nivel educ.	13,5%	3,3%	0,0%	4,6%
Acumulado	13,5%	16,8%	16,8%	21,4%
EJC				
Por nivel educ.	14,1%	3,3%	0,0%	4,6%
Acumulado	14,1%	17,4%	17,4%	22,1%

Fuentes: Afi, INE (microdatos EPA)

Por ello, resulta conveniente atribuir una proporción de tiempo a cada una de las ocupaciones identificadas con intensidad matemática. La no disponibilidad estadística del uso del tiempo profesional en los microdatos de la Encuesta de Población Activa (EPA) que publica el Instituto Nacional de Estadística hace necesario el apoyo en expertos⁸ conocedores de la transferencia matemática (ver panel en apartado de anexos) y de las tareas que desempeñan este tipo de profesionales en su día a día.

8 Los resultados que se exponen a continuación se han calculado mediante las medias aritméticas de la proporción de tiempo de cada una de las ocupaciones con intensidad matemática que han trasladado los expertos consultados. Para evitar la disparidad de opiniones, se han eliminado las respuestas que se consideran outliers, es decir, aquellas que superen la media aritmética en dos veces la desviación típica, tanto en el extremo inferior, como en el superior. En general, a las ocupaciones de carácter técnico se les otorga una proporción de tiempo dedicado a las matemáticas superior a la de aquellas otras donde el componente administrativo y/o directivo es más relevante.

Siguiendo el enfoque de ocupaciones, las matemáticas serían responsables de más de 630.000 puestos de trabajo (3,6% del total de ocupados) y de unos 62.000 millones de euros de contribución al VAB (6,1% del total de la economía española de 2016).

Teniendo en cuenta lo anterior, los resultados revelan que las actividades intensivas en matemáticas contribuirían a la generación de cerca de 630.000 ocupados EJC de forma directa si se abarcase a todo el colectivo, con independencia de su nivel formativo, lo que equivaldría al 3,6% del total de los

ocupados de la economía española (véase la tabla 2). Si el impacto se circunscribe a los ocupados que han completado un nivel educativo alto, entonces las actividades intensivas en matemáticas contribuirían a la generación de más de medio millón de empleos.

Tabla 2. Estimación de impacto directo de las actividades intensivas en matemáticas sobre el empleo en España según nivel educativo completado por el trabajador (personas equivalentes a jornada completa y % total ocupados), 2016

	Alto	Alto + FPsuperior	Alto + FPsuperior + FPmedio	Alto + FPsuperior + FPmedio + ESO
Personas	507.641	581.257	581.597	629.239
% total	2,9%	3,3%	3,3%	3,6%

Fuentes: Afi, INE (microdatos EPA)

El conocimiento de la productividad por hora trabajada de cada uno de los 63 sectores económicos que proporciona el marco *Input-Output* (consúltese el anexo metodológico), junto con la estimación del número de ocupados EJC, permite conocer el Valor Añadido Bruto (VAB) generado por las actividades con intensidad matemática.

de ocupaciones y sectores indicado con anterioridad (tres dígitos en ambos casos), dificulta la constatación de este hecho. Por ello, se procede a asignar a cada ocupado intensivo en matemáticas la misma productividad que la del resto de ocupados del sector económico en la que trabaja.

Podría incluso considerarse que el VAB estaría infraestimado si se atribuyese la productividad media del sector y no una mayor que podría presumírsele a las ocupaciones intensivas en matemáticas. El conocimiento de los salarios de estos profesionales para cada sector económico podría cuantificar esta diferencia, si es que existiese. Sin embargo, la no disponibilidad estadística de la variable de salarios en los microdatos de la EPA que cuentan con el detalle

De esta manera, se obtiene que las actividades intensivas en matemáticas contribuirían a la generación de cerca de unos 62.000 millones de euros de VAB de forma directa si se tuviese en cuenta a todo el colectivo de profesionales de las matemáticas, lo que equivaldría al 6,1% del total del VAB de la economía española de 2016 (véase la tabla 3). Si solo se considerasen aquellos que han completado estudios universitarios, el impacto directo en VAB se situaría por encima de los 50.000 millones de euros (5% del total).

La productividad de las ramas económicas en las que trabajan este tipo de profesionales se sitúa en los 47,2 euros por hora trabajada en 2016, mientras que la media se ubica en los 31,4 euros por hora trabajada.



Nótese que el impacto en términos de VAB supera al estimado para el caso del empleo. Esta realidad debe su explicación al hecho de que este tipo de profesionales predominan en los sectores con la productividad laboral más alta. La productividad promedio de las ramas económicas en las que trabajan este tipo de profesionales se sitúa en los 47,2 euros por hora trabajada en 2016, mientras que la media sectorial

se ubica en los 31,4 euros por hora trabajada. Por lo tanto, la contribución económica de las actividades intensivas en matemáticas es mayor que la que se deduce en términos sociales (trabajadores). Un hecho que contribuye a mejorar la productividad laboral, otra de las debilidades de las que adolece el mercado de trabajo español y que permitiría mejorar la ansiada competitividad de la economía española.

Tabla 3. Estimación de impacto directo de las actividades intensivas en matemáticas sobre el VAB en España según nivel educativo completado por el trabajador (millones de euros y % total), 2016

	Alto	Alto + FPsuperior	Alto + FPsuperior + FPmedio	Alto + FPsuperior + FPmedio + ESO
Mill. Eur.	50.324	57.406	57.466	61.747
% total	5,0%	5,7%	5,7%	6,1%

Fuentes: Afi, INE (microdatos EPA)

4. 1. 2. Estimación cuantitativa a través del enfoque combinado de ocupaciones y productos con intensidad matemática

Tal y como se analizaba con anterioridad, el enfoque de ocupaciones contempla la penetración de los profesionales matemáticos en el tejido productivo y su impacto económico en términos de valor añadido. Pero hay ocasiones en las que su peso en términos de empleo puede ser importante y no captar suficientemente todo el potencial de generación de valor. Por el contrario, el enfoque de productos que se plantea en la metodología puede incurrir en infravaloraciones en aquellas ramas de actividad económica donde las matemáticas presentan un menor peso.

El enfoque de ocupaciones y el de productos tienen, por tanto, un importante grado de complementariedad. Sin embargo, ambos procedimientos no resultan agregables directamente, ya que podría incurrirse en duplicaciones de los agregados calculados.

De cara a integrar ambos métodos es preciso tener en cuenta lo siguiente:

- (i) En las ramas de gran especialización en productos matemáticos, no se utilizará el enfoque de las ocupaciones, sino el de productos.
- (ii) En aquellas de menor especialización tecnológica, el enfoque de ocupaciones será el que se emplee para la estimación de impacto de las matemáticas.

El enfoque combinado arroja un impacto de más de un millón de ocupados (6% del empleo total) y 103.000 millones de euros de VAB (10,1% del VAB total).

El enfoque combinado de ocupaciones y productos con intensidad matemática revela que el impacto directo en empleo EJC se elevaría hasta el millón de ocupados, con independencia del nivel de estudios

completado por los trabajadores. Este volumen representaría alrededor del 6% del empleo total de la economía española en 2016 (véase la tabla 4).

Tabla 4. Estimación de impacto directo de las actividades intensivas en matemáticas sobre el empleo en España según nivel educativo completado por el trabajador (personas equivalentes a jornada completa y % total ocupados), 2016

	Alto	Alto + FPsuperior	Alto + FPsuperior + FPmedio	Alto + FPsuperior + FPmedio + ESO
Personas	977.425	1.015.549	1.015.552	1.044.965
% total	5,6%	5,8%	5,8%	6,0%

Fuentes: Afi, INE (microdatos EPA)

En lo que respecta al impacto directo en VAB, la estimación apunta a un volumen unos 103.000 millones de euros, si se abarca a todo el colectivo de profesionales matemáticos, que representaría el 10,1% del VAB de

España en 2016 (véase la tabla 5). Si solo se atendiese a los que han completado un nivel educativo alto, entonces el impacto directo se situaría por encima de los 98.000 millones de euros (9,7% del VAB total).

Tabla 5. Estimación de impacto directo de las actividades intensivas en matemáticas sobre el VAB en España según nivel educativo completado por el trabajador (millones de euros y % total VAB), 2016

	Alto	Alto + FPsuperior	Alto + FPsuperior + FPmedio	Alto + FPsuperior + FPmedio + ESO
Mill. Eur.	98.043	100.886	100.886	102.812
% total	9,7%	9,9%	9,9%	10,1%

Fuentes: Afi, INE (microdatos EPA)

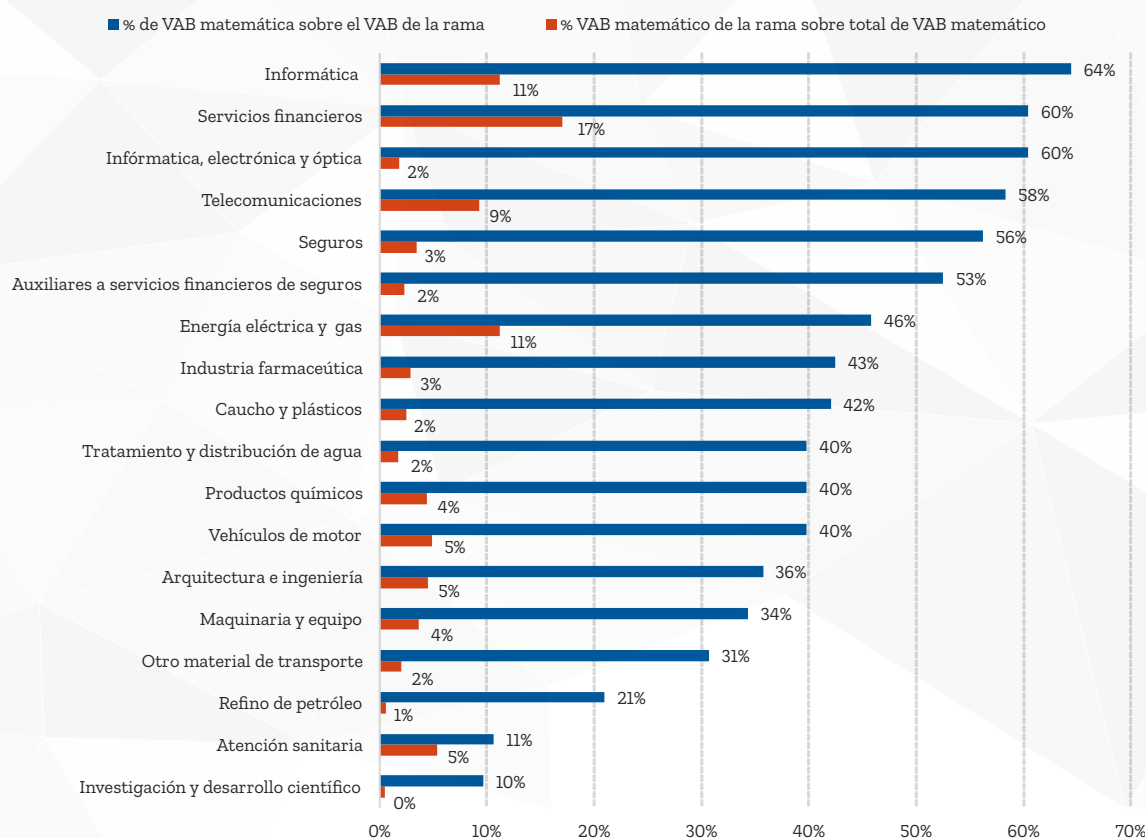
La informática, seguida de las actividades financieras y los servicios de telecomunicaciones son las ramas más intensivas en matemáticas, y las que en mayor medida explican el grueso del impacto en la economía española.



El análisis por rama de actividad revela que es la informática, seguida de las actividades financieras, los servicios de telecomunicaciones y la rama de energía eléctrica y gas la que mayor impacto directo tienen a consecuencia de la investigación y uso de

las herramientas matemáticas. Su VAB no solo está generado en una importante proporción por las matemáticas, sino que explican también el grueso del impacto de las mismas sobre la economía española (ver gráfico 1).

Gráfico 1. Ramas de actividad económica ordenadas de mayor a menor impacto directo de las matemáticas, 2016



Fuentes: Afi, INE (microdatos EPA)

Las actividades intensivas en matemáticas contribuirían a la recaudación de unos 107.000 millones de euros de impuestos y contribuciones a la Seguridad Social, lo que equivaldría al 25,8% del total recaudado por las AA.PP. en el año 2016.

Por último, a partir de los tipos efectivos medios de las principales figuras⁹ impositivas y de la cotización media a la Seguridad Social, se puede estimar también la recaudación que realiza el Estado a través de las actividades intensivas en matemáticas.

Según esta metodología y las estimaciones de impacto directo en VAB y empleo que se desprenden

9 Se contemplan el Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas (IRPF), el Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA) y el Impuesto de Sociedades (IS).

del enfoque combinado, las actividades intensivas en matemáticas contribuirían a la recaudación de unos 107.000 millones de euros de impuestos y contribuciones a la Seguridad Social, lo que equivaldría al 25,8% del total recaudado por las AA.PP. en el año 2016, si se atiende al colectivo de profesionales en su conjunto (véase la tabla 6). Si se circunscribe a aquellos profesionales que han completado un nivel educativo alto, entonces la recaudación fiscal se situaría en los 102.000 millones de euros (24,7% del total).

Tabla 6. Estimación de impacto directo de las actividades intensivas en matemáticas sobre la recaudación fiscal en España según nivel educativo completado por el trabajador (millones de euros, % total), 2016

	Alto	Alto + FPsuperior	Alto + FPsuperior + FPmedio	Alto + FPsuperior + FPmedio + ESO
Mill. Eur.	102.269	105.246	105.246	107.076
% total	24,7%	25,4%	25,4%	25,8%

Fuentes: Afi, INE

4. 1. 3. Impacto indirecto e inducido: efectos de arrastre sobre otros sectores económicos

Las actividades intensivas en matemáticas ejercen otro tipo de impactos que van más allá de los generados directamente sobre los profesionales, los sectores económicos en los que trabajan y las tecnologías que emplean para desarrollar correctamente su puesto de trabajo. Este otro tipo de impactos tienen que ver (i) con los que se derivan de la propia pertenencia de un sector a una cadena de valor (la relación con proveedores de bienes y servicios, por ejemplo), que serían los efectos indirectos; y (ii) con aquellos otros que se generan por el uso de las rentas derivadas de las actividades intensivas en matemáticas (gasto e inversión de las rentas del trabajo que realizan en bienes y servicios los profesionales con intensidad matemática), que serían los efectos inducidos.

Al incluir los efectos indirectos e inducidos, las actividades intensivas en matemáticas explican alrededor del 19% del total del empleo y el 27% del VAB español en el año 2016.

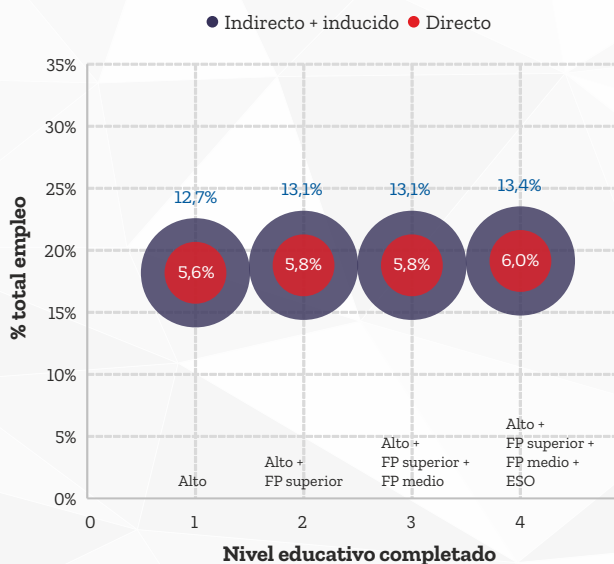


Para estimar el impacto indirecto e inducido se emplean los multiplicadores que se desprenden de la Tabla *Input-Output* de 2010 de la economía española que proporciona el INE. Si se contemplasen estos efectos de arrastre en la estimación de impacto directo que

se deduce del enfoque combinado de ocupaciones y productos, las actividades intensivas en matemáticas contribuirían a la generación de más de tres millones de ocupados, con independencia del nivel educativo completado por estos profesionales (ver gráfico 2).

Gráfico 2. Estimación de impacto directo, indirecto e inducido de las actividades intensivas en matemáticas sobre el empleo en España (% total ocupados) según nivel educativo completado, 2016

Fuentes: Afi, INE (microdatos EPA, TIO)

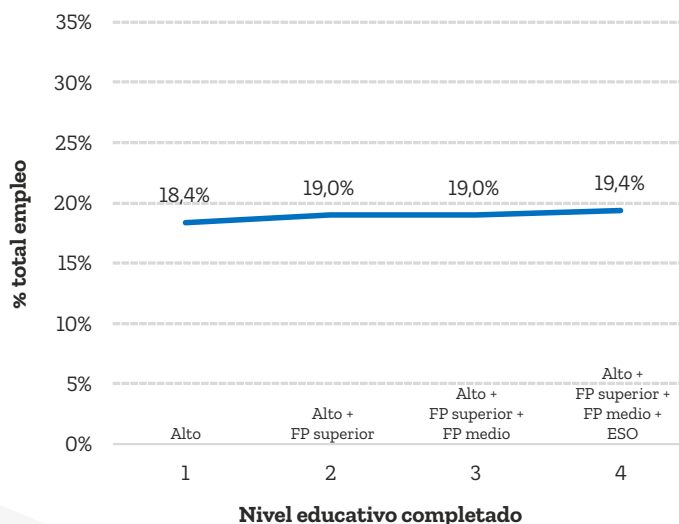


En términos relativos, las actividades intensivas en matemáticas estarían explicando alrededor del 19% del total del empleo de la economía española en el año 2016 (ver gráfico 3). La parte atribuible al impacto indirecto e inducido, por tanto, arrojaría unos 2,3 millones de ocupados EJC más, distribuidos por todas las actividades económicas, que representarían

un 13,4% del total de ocupados de 2016. En cuanto al VAB, si se añadiesen los impactos indirectos e inducidos de las actividades intensivas en matemáticas, el impacto global ascendería hasta los 273.000 millones de euros, lo que representaría el 26,9% del total del VAB generado por la economía española en 2016 (ver gráficos 4 y 5).

Gráfico 3. Estimación de impacto total de las actividades intensivas en matemáticas sobre el empleo en España (% total ocupados) según nivel educativo completado, 2016

Fuentes: Afi, INE (microdatos EPA, TIO)



En este caso, el impacto indirecto e inducido generaría unos 170.000 millones de euros en otras actividades económicas, que vendrían a representar el 16,8% del VAB total de la economía española en 2016. La magnitud de estos impactos pone de manifiesto el importante efecto de arrastre que ejercen las actividades intensivas en matemáticas sobre el tejido

productivo de nuestro país. Si se atiende a la descomposición de dicho efecto de arrastre hacia delante y hacia atrás, las ramas de actividad económica que están relacionadas con las actividades intensivas en matemáticas se pueden clasificar según la tipología de estos «efectos tractores» o eslabonamientos (del inglés *linkages*).

Gráfico 4. Estimación de impacto directo, indirecto e inducido de las actividades intensivas en matemáticas sobre el VAB en España (% total) según nivel educativo completado, 2016

Fuentes: Afí, INE (microdatos EPA, TIO)

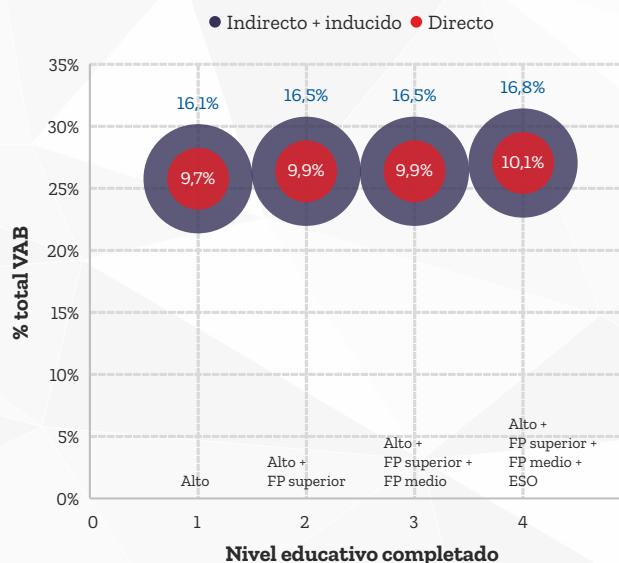
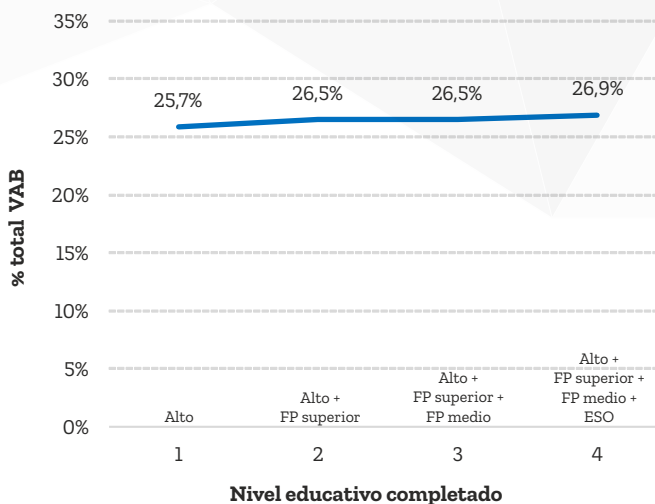


Gráfico 5. Estimación de impacto total de las actividades intensivas en matemáticas sobre el VAB en España (% total) según nivel educativo completado, 2016

Fuentes: Afí, INE (microdatos EPA, TIO)



Las ramas más intensivas en matemáticas constituyen sectores clave, tanto por su capacidad de arrastre como de soporte al resto de actividades del tejido productivo.

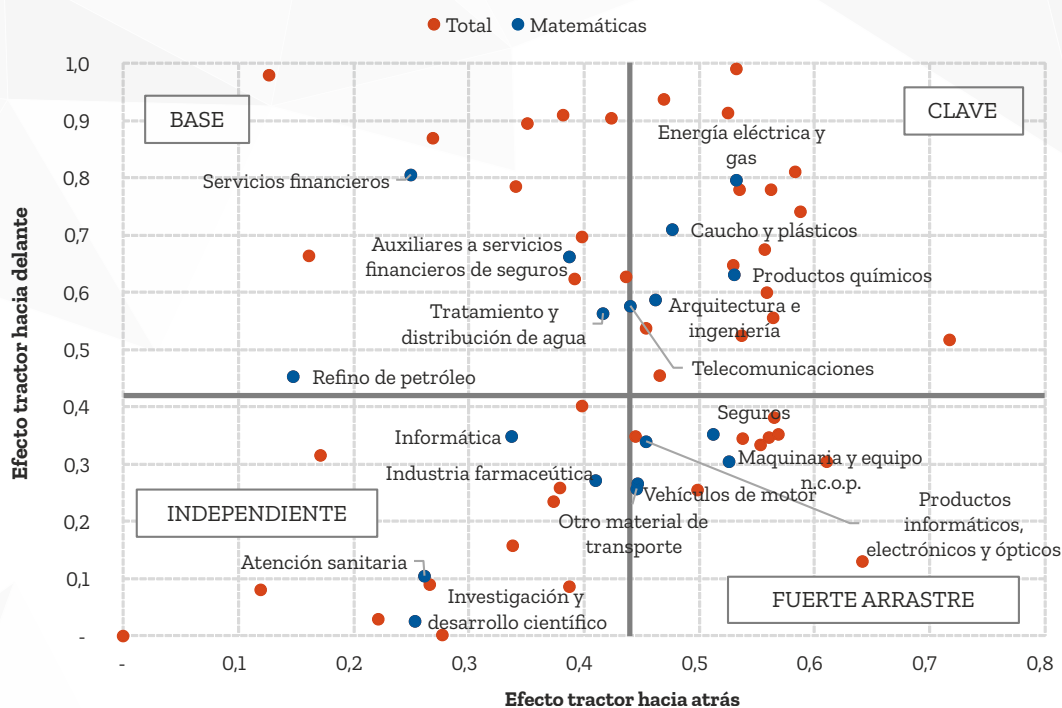


En el cuadrante II (superior derecho) del gráfico 6 se concentran las actividades con fuertes eslabonamientos hacia delante y hacia atrás, los considerados como sectores «Clave». Se denominan así ya que ejercen tanto una labor de arrastre sobre otras actividades, como de soporte para el crecimiento de otros sectores, por lo que revisten un carácter estratégico. En este cuadrante se encuentran la rama de energía eléctrica y gas, la rama industrial de elaboración de caucho y plásticos, la industria química, los servicios

de arquitectura e ingeniería, y los servicios de telecomunicaciones.

Todas estas ramas coinciden, además, con las actividades que presentan un mayor impacto global de intensidad matemática. Sin embargo, el resto de las ramas de actividad económica con mayor impacto de las matemáticas que la media sectorial, como son los servicios financieros, la informática o las actividades de I+D+i, se distribuyen a lo largo de los cuatro cuadrantes, evidenciando la transversalidad de las mismas.

Gráfico 6. Clasificación de las ramas productivas de intensidad matemática según su efecto tractor hacia atrás y hacia delante, 2016



Fuentes: Afi, INE (microdatos EPA, TIO)



4. 2. EL PESO ECONÓMICO DE LAS MATEMÁTICAS EN ESPAÑA EN PERSPECTIVA COMPARADA

Una manera de evaluar la relevancia de las matemáticas sobre la economía española es también compararla con aquella que representan en otras economías europeas desarrolladas. De este análisis se desprende también el recorrido avanzado por las actividades intensivas en matemáticas en España, que ha sido mucho y muy loable a juzgar por la visión trasladada por

buen parte de los expertos consultados, sino también el que queda por recorrer, pues el impacto de las actividades intensivas en matemáticas estimado con anterioridad es menor que el obtenido en otros países europeos donde se ha realizado un estudio similar.

En términos de empleo directo, cabe señalar que la estimación de impacto en España se sitúa en el 6% del empleo total según el enfoque combinado, mientras que en Reino Unido, Francia y Holanda oscilan entre el 10% y el 11% del total (véase la tabla 7).

Tabla 7. Estimación de impacto de las actividades intensivas en matemáticas sobre el empleo en Reino Unido, Francia, Holanda y España (millones de personas equivalentes a jornada completa y % total ocupados)

Empleo (mill.)	Directo	Indirecto	Inducido	Total
Reino Unido	2,8	2,9	4,1	9,8
Francia	2,4	n.d.	n.d.	n.d.
Holanda	0,9	0,5	0,8	2,3
España	1,0	2,3		3,3

Empleo (% total)	Directo	Indirecto	Inducido	Total
Reino Unido	9,8%	10,2%	14,4%	34,4%
Francia	9,0%	n.d.	n.d.	n.d.
Holanda	10,7%	6,2%	9,1%	26,0%
España	6,0%	13,4%		19,4%

Fuentes: Afi, INE (microdatos EPA)

Lo mismo ocurre en términos de VAB, ya que la estimación de España se eleva hasta el 10,1% del total, mientras que en otros países europeos el impacto directo se sitúa entre el 13% y el 16% del VAB total (véase la tabla 8).

Si se replicase el ejercicio realizado en estos otros países europeos, basando la estimación en el enfo-

que de ocupaciones (y no en el combinado) y asignando la proporción media de horas asignada a cada ocupación (en lugar de la trasladada por los expertos consultados), se obtendría que el impacto directo en empleo y VAB (6,4% y 10,7% sobre el total, respectivamente) sería igualmente inferior al observado en Reino Unido, Francia y Holanda (véase la tabla 9).

La relevancia de las ocupaciones intensivas en matemáticas es menor en España que en Reino Unido, Francia y Holanda.



El hecho de que este impacto sea menor en España que el cuantificado por los estudios consultados en otros países europeos no sorprende en absoluto y responde a la diferente composición de la estructura productiva de la economía española (menor número y proporción de ocupados con intensidad matemática que en estos otros países), así como al grado de competitividad de la misma (menor productividad laboral en términos relativos).

España destaca por estar muy rezagada en profesiones de intensidad matemática como especialistas en bases de datos y redes informáticas, finanzas, profesionales de las tecnologías de la información o diseñadores de software y multimedia.

Tabla 8. Estimación de impacto de las actividades intensivas en matemáticas sobre el VAB en Reino Unido, Francia, Holanda y España (miles de millones de euros, % total)

VAB (mil mill.)	Directo	Indirecto	Inducido	Total
Reino Unido	208	155	192	555
Francia	285	n.d.	n.d.	n.d.
Holanda	71	37	51	159
España	103	170		273

VAB (% total)	Directo	Indirecto	Inducido	Total
Reino Unido	16,0%	12,0%	15,0%	43,0%
Francia	15,0%	n.d.	n.d.	n.d.
Holanda	13,2%	6,9%	9,5%	29,6%
España	10,1%	16,8%		26,9%

Fuentes: Afi, Deloitte, CMI

Tabla 9. Estimación de impacto directo de las actividades intensivas en matemáticas en España asignando la misma proporción de tiempo que la de los estudios de Reino Unido, Francia y Holanda

Sobre empleo (ocupados equivalentes a jornada completa, % total), 2016

	Alto	Alto + FPsuperior	Alto + FPsuperior + FPmedio	Alto + FPsuperior + FPmedio + ESO
Personas	850.635	1.037.990	1.039.170	1.119.966
% total	4,9%	6,0%	6,0%	6,4%

Sobre VAB (miles de millones de euros de VAB, % total), 2016

	Alto	Alto + FPsuperior	Alto + FPsuperior + FPmedio	Alto + FPsuperior + FPmedio + ESO
Mill. Eur.	82.142	100.642	100.895	108.859
% total	8,1%	9,9%	9,9%	10,7%

Fuentes: Afi, INE (microdatos EPA), Deloitte, CMI

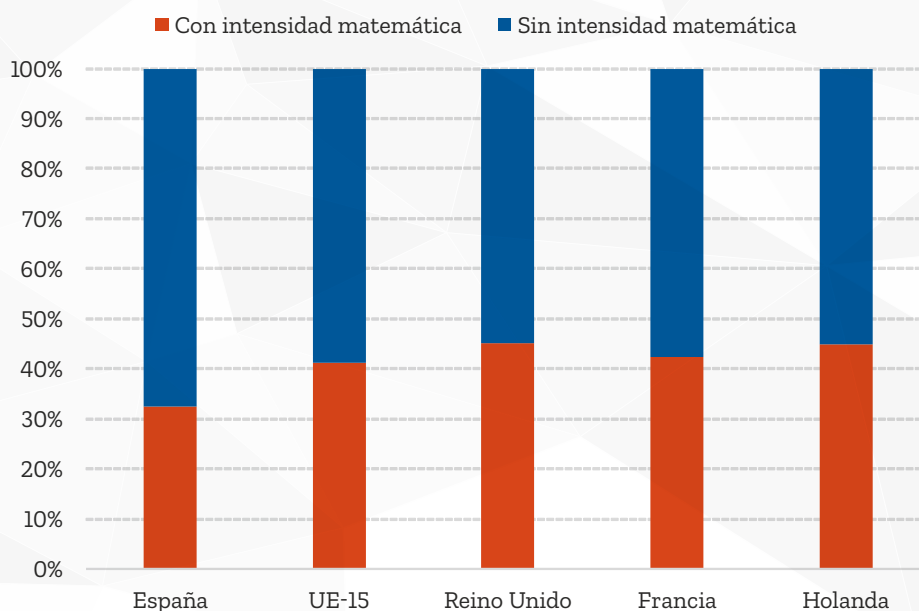
Según Eurostat, la relevancia de las ocupaciones intensivas en matemáticas es menor en España que en Reino Unido, Francia y Holanda. Si se agregan las ocupaciones según sean o no intensivas en matemáticas¹⁰, se obtiene que en España representan alrede-

dor del 30% del total (ver gráfico 7), mientras que en la Unión Europea-15 este mismo porcentaje se eleva hasta el 40%, siendo más alto, incluso, en el caso de Reino Unido, que es el país con el mayor impacto estimado de entre todos los analizados.

¹⁰ El detalle de estos datos es menor que el obtenido con los microdatos de la EPA sobre los que se realizaron las estimaciones anteriores, por ello, la cifra resultante puede estar sobreestimada.

Dentro de estas ocupaciones intensivas en matemáticas, España destaca por estar muy rezagada respecto a Reino Unido, Francia y Holanda, en las siguientes profesiones:

Gráfico 7. Distribución de ocupados según ocupaciones de intensidad matemática en España, UE-15, Reino Unido, Francia y Holanda (% total ocupados), 2015



Fuentes: Afi, Cedefop

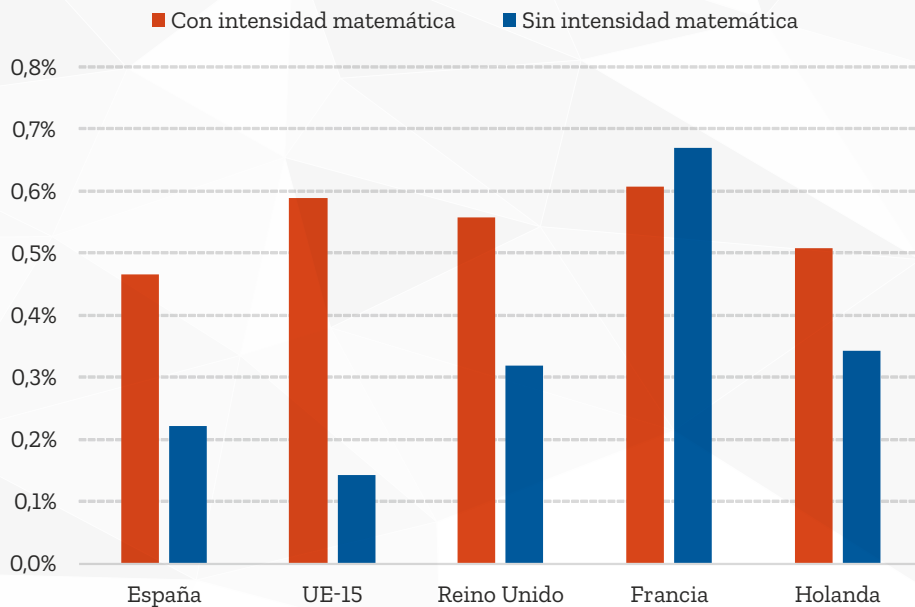
- Especialistas en organización de la Administración Pública y de las empresas y en la comercialización, que incluyen ocupaciones como los Especialistas en finanzas (código 261 de la CNO-11), Especialistas en organización y administración (código 262) y Profesionales de ventas técnicas y médicas, excepto las TIC (código 264). Un aspecto que no sorprende, ya que las plazas europeas financieras, así como los centros de poder económico, se distribuyen entre la City de Londres y las ciudades ubicadas en el centro del continente europeo (París, Luxemburgo, Bruselas, etc.).
- Profesionales de las tecnologías de la información, que contempla profesiones, como las de los Analistas y diseñadores de software y multimedia (código 271) y Especialistas en bases de datos y en redes informáticas (código 272). Aun cuando los técnicos TIC (programadores informáticos, técnicos audiovisuales y en telecomunicaciones, etc.) tienen un peso relativo mayor en España que en estos otros países europeos, lo cierto es que los ingenieros TIC tienen una menor presencia en el tejido productivo español.



El crecimiento previsto para las ocupaciones intensivas en matemáticas en la próxima década es inferior para España que para los países europeos de referencia.

Pero es que, además, según Cedefop, un organismo dependiente de la Comisión Europea, las previsiones de crecimiento de las ocupaciones intensivas en matemáticas para la década que comprende entre el año 2015 y el año 2025 son menores para España (se estima que crecerán a un ritmo medio anual del 0,47%) que para estos otros países europeos (0,59% en media anual para el caso de la UE-15, por ejemplo), lo que ampliaría la diferencia existente ya en la actualidad (ver gráfico 8). Y eso, a pesar de que las perspectivas

Gráfico 8. Crecimiento de los ocupados según ocupaciones de intensidad económica en España, UE-15, Reino Unido, Francia y Holanda (crecimiento medio anual). Previsiones Cedefop 2015-25



Fuentes: Afi, Cedefop

La diferencia de impacto de las actividades intensivas en matemáticas se explica más bien por la diferente composición de su estructura productiva, que por una menor productividad laboral.

de crecimiento del empleo para la próxima década de estas profesiones son mucho más favorables que las del resto de ocupaciones. En concreto, su ritmo de crecimiento (0,47% indicado con anterioridad) más que duplica al del resto de ocupaciones (que lo haría al 0,22% en media anual) para el periodo 2015-2025.

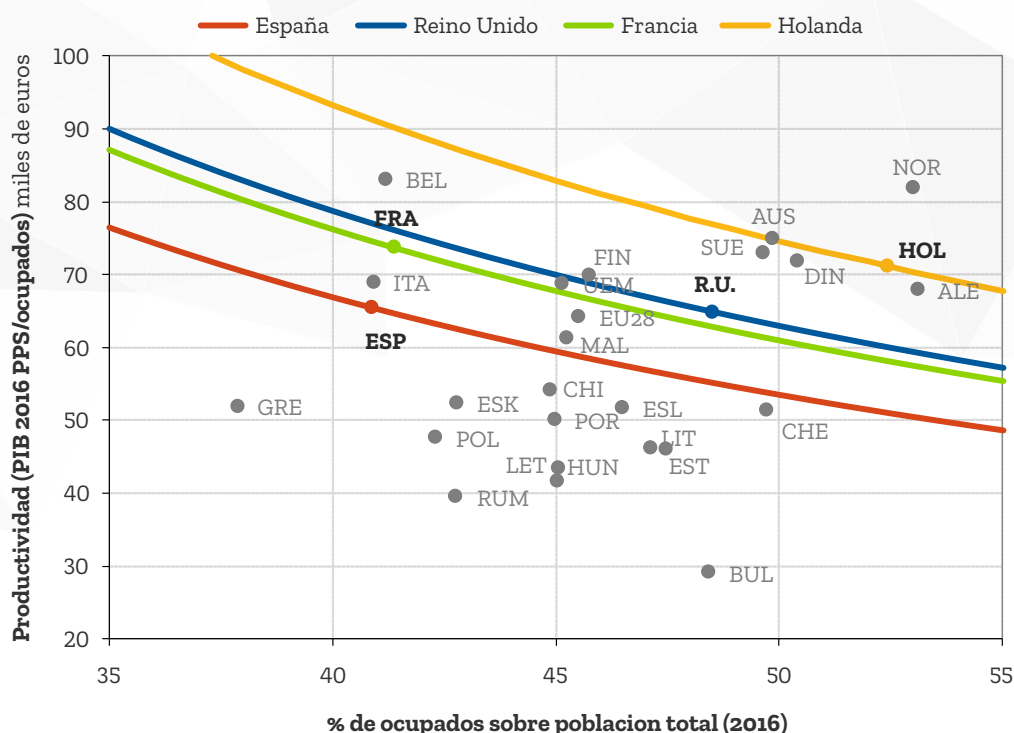
La productividad que genera cada ocupado en España es sustancialmente inferior a la que presentan Reino Unido, Francia y Holanda. De hecho, en ocasiones se alude a la infrautilización de recursos humanos (menor tasa de empleo) y a la menor productividad laboral (PIB por empleado) como dos de los elementos que limitan el crecimiento del PIB per cápita¹¹ (ver gráfico 9). Sin embargo, el escalón existente entre el impacto en empleo y PIB de unos países a otros es práctica-

mente el mismo, lo que evidencia, de alguna u otra forma, que los profesionales matemáticos en España cuentan con una productividad relativa a su media nacional muy semejante a la observada en estos otros países europeos. Por tanto, la diferencia de impacto de las actividades intensivas en matemáticas entre España y Reino Unido, Francia y Holanda se explica más bien por la diferente composición de su estructura productiva, que por una menor productividad laboral.

¹¹ Renta per cápita = productividad del trabajo x porcentaje de población empleada:

$$\frac{\text{PIB}}{\text{Población}} = \frac{\text{PIB}}{\text{Empleo}} \times \frac{\text{Empleo}}{\text{Población}}$$

Gráfico 9. Descomposición del PIB per cápita de los principales países europeos (miles de euros* y % total población, curvas de Iso-Renta por habitante**), 2016



* En paridad del poder adquisitivo, Purchasing Power Standard (pps) en su definición en inglés.

** Las curvas de Iso-Renta por habitante son el lugar común de todas las combinaciones de productividad y tasa de empleo que dan la misma renta por habitante, indicando que hay diversas maneras de alcanzar un determinado nivel de bienestar combinando estos dos pilares del mismo.

Fuentes: Afi, INE, Eurostat



5. LAS MATEMÁTICAS COMO VECTOR ESTRATÉGICO DE CRECIMIENTO Y PROGRESO ECONÓMICO

El conocimiento matemático constituye una de las bases para poder alcanzar mejoras para la combinación de los factores productivos y aumentar, por ende, la capacidad productiva de la economía. En otras palabras, es una herramienta esencial para el impulso de la productividad del trabajo, que es el determinante fundamental del crecimiento económico en el largo plazo¹² (del PIB per cápita), cuando todos los factores productivos están dispuestos a la producción de bienes y servicios. Además, al ser un bien no rival, los beneficios económicos de su uso pueden llegar a ser proporcionales a la población, impulsando así procesos de crecimiento muy acelerado, como el que viene observándose en China en las últimas tres décadas.

Las matemáticas se encuentran en la base del aumento de la productividad del trabajo, que es el determinante fundamental del crecimiento económico en el largo plazo.

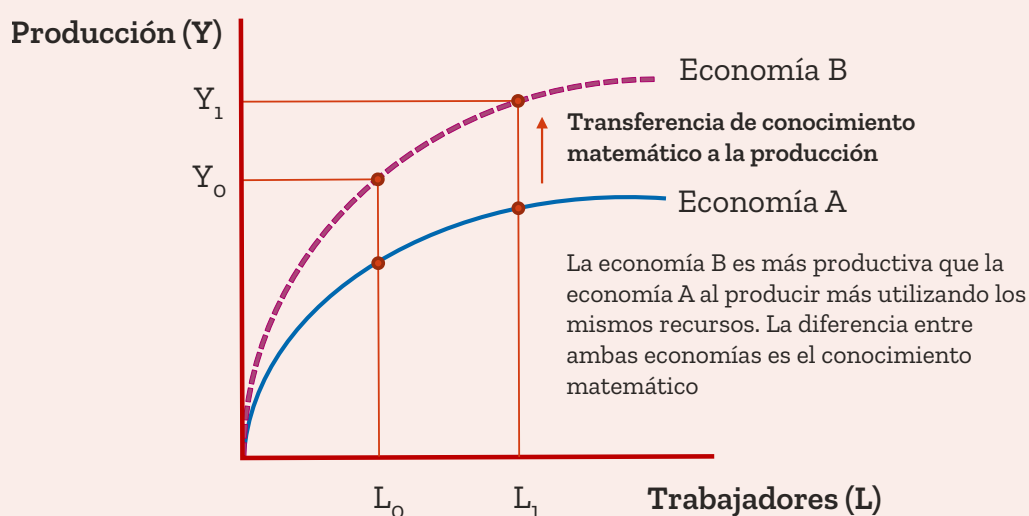
12 Decía Paul Krugman que si bien la productividad del trabajo es importante a corto plazo, «en el largo plazo es casi todo».

Matemáticas y crecimiento económico

Recurriendo a una representación sencilla que relaciona la cantidad de trabajadores de una economía y la producción total de bienes y servicios, puede observarse intuitivamente por qué el stock de conocimiento matemático y su transferencia a las actividades productivas es un determinante fundamental de la capacidad de crecimiento en el largo plazo.

En el gráfico 10 se comparan dos economías imaginarias idénticas (ambas disponen del mismo número de trabajadores totales) salvo en el conocimiento matemático que atesoran (la economía B incorpora más matemáticas al proceso productivo que la economía A). Los trabajadores de la economía B son capaces de producir una mayor cantidad de bienes y servicios en la misma cantidad de tiempo que los trabajadores de la economía A, simplemente porque sus «técnicas de producción» son más sofisticadas. Por llevarlo a un ejemplo concreto para facilitar su comprensión, podría suponerse que en la economía B los trabajadores conocen y saben usar algoritmos, mientras que los de la economía A no. Los algoritmos, en definitiva, permitirían resolver problemas de asignación de manera muy eficiente a los trabajadores de la economía B, ahorrando horas de trabajo necesarias para alcanzar el mismo nivel de producción a los mismos y elevando el producto per cápita de la población.

Gráfico 10. Diferencia de capacidad productiva entre dos economías debido al conocimiento matemático



Fuente: Afi



Las matemáticas se encuentran en la base del aumento de la productividad del trabajo, que es el determinante fundamental del crecimiento económico en el largo plazo.

Los canales de transmisión de la investigación matemática a la productividad son diversos. Por un lado, inciden decisivamente en una serie de infraestructuras habilitadoras. Desde la construcción de viviendas e infraestructuras físicas, a bienes básicos como la educación o la sanidad, las *Utilities* (suministro de agua, energía, etc.), la seguridad, el transporte o las propias tecnologías de la información y las comunicaciones. Dichas infraestructuras son imprescindibles para aumentar la población, su esperanza de vida y la empleabilidad. Por otro lado, son esenciales para el desarrollo de habilidades técnicas. Como se señalaba al principio del informe, el aprovechamiento de las matemáticas requiere también una inversión. Se estima que la mejora de la educación matemática desde edades tempranas genera una rentabilidad en términos de mejores ocupaciones y mayores salarios en el futuro que oscila entre el 7% y el 10%.

Asimismo, resultan fundamentales para la generación de ecosistemas empresariales, el fomento de la inversión y la competitividad y, sobre todo, el impulso de la innovación, de cuyo desempeño depende crucialmente el avance de la productividad. Muchas

de las aplicaciones matemáticas están cada vez más incorporadas en bienes de capital. En los últimos años se ha observado una fuerte reducción del precio de dichos bienes (sobre todo los relacionados con la información y la comunicación) que facilita su utilización masiva incluso por la parte de la población que no tiene conocimientos matemáticos avanzados. Este último fenómeno podría estar facilitando una difusión más rápida de la tecnología y, en definitiva, un crecimiento mayor en las economías en desarrollo.

Las ciencias matemáticas constituyen, así, un conocimiento estratégico para que la economía española y su tejido empresarial pueda aprovechar las oportunidades derivadas de la revolución tecnológica asociada a la robotización y la Inteligencia Artificial (en adelante, IA). Es hoy un pilar indispensable de la formación de capital humano, de la innovación y del liderazgo en materia de transformación digital. En este sentido, Aghion, Jones y Jones (2017) analizan el impacto que podría tener la Inteligencia Artificial sobre el crecimiento a largo plazo de las economías y concluyen que los efectos positivos podrían ser de gran intensidad.

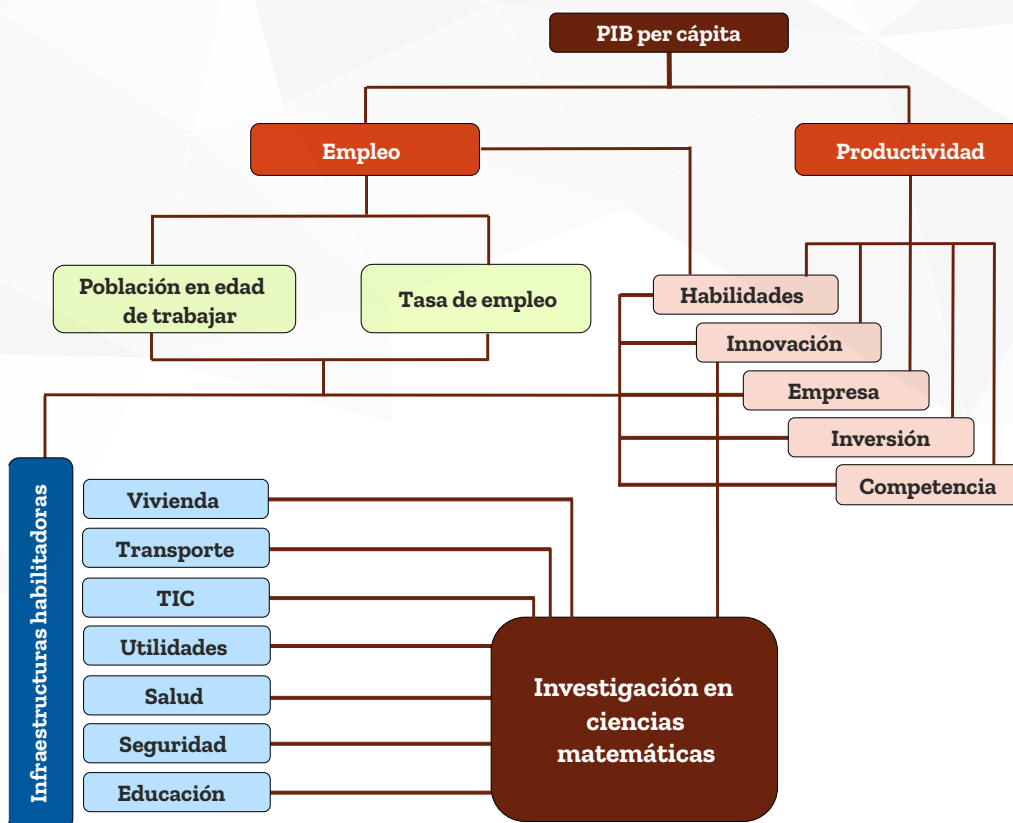
La Inteligencia Artificial, intensiva en conocimiento matemático, permitirá alcanzar un nuevo estadio en la automatización de tareas que aliviará el efecto negativo del envejecimiento de la población sobre la tasa de crecimiento a largo plazo.

La IA permitirá alcanzar un nuevo estadio en la automatización de tareas que ha caracterizado las distintas fases de progreso tecnológico desde el advenimiento de la revolución industrial. Si se logra que las máquinas repliquen algunas formas de inteligencia humana, se podrán automatizar no solo tareas rutinarias sino tareas que ahora requieren mayor cualificación, impulsando el crecimiento de la productividad y de los niveles de vida. Esta transformación se puede aplicar también a la propia función de producción de conocimiento, reduciendo el coste de la investigación. La combinación de ambos efectos

podría cambiar la trayectoria reciente del crecimiento a largo plazo y compensar, en gran parte, el efecto negativo que en muchos países¹³ desarrollados (entre ellos España) puede tener el envejecimiento de la población sobre la tasa de crecimiento a largo plazo.

13 El gobierno alemán ha puesto en marcha un plan de inversión para el desarrollo de la IA de 3.000 millones de euros, en aras precisamente de responder a los retos económicos, sociales y demográficos. Dicho plan de inversión contempla la creación de 100 cátedras universitarias y la consolidación de una red de 12 centros de investigación, centrados en el desarrollo y aplicación de tecnologías de IA.

Diagrama 5. Relación de largo plazo entre la investigación matemática y el bienestar



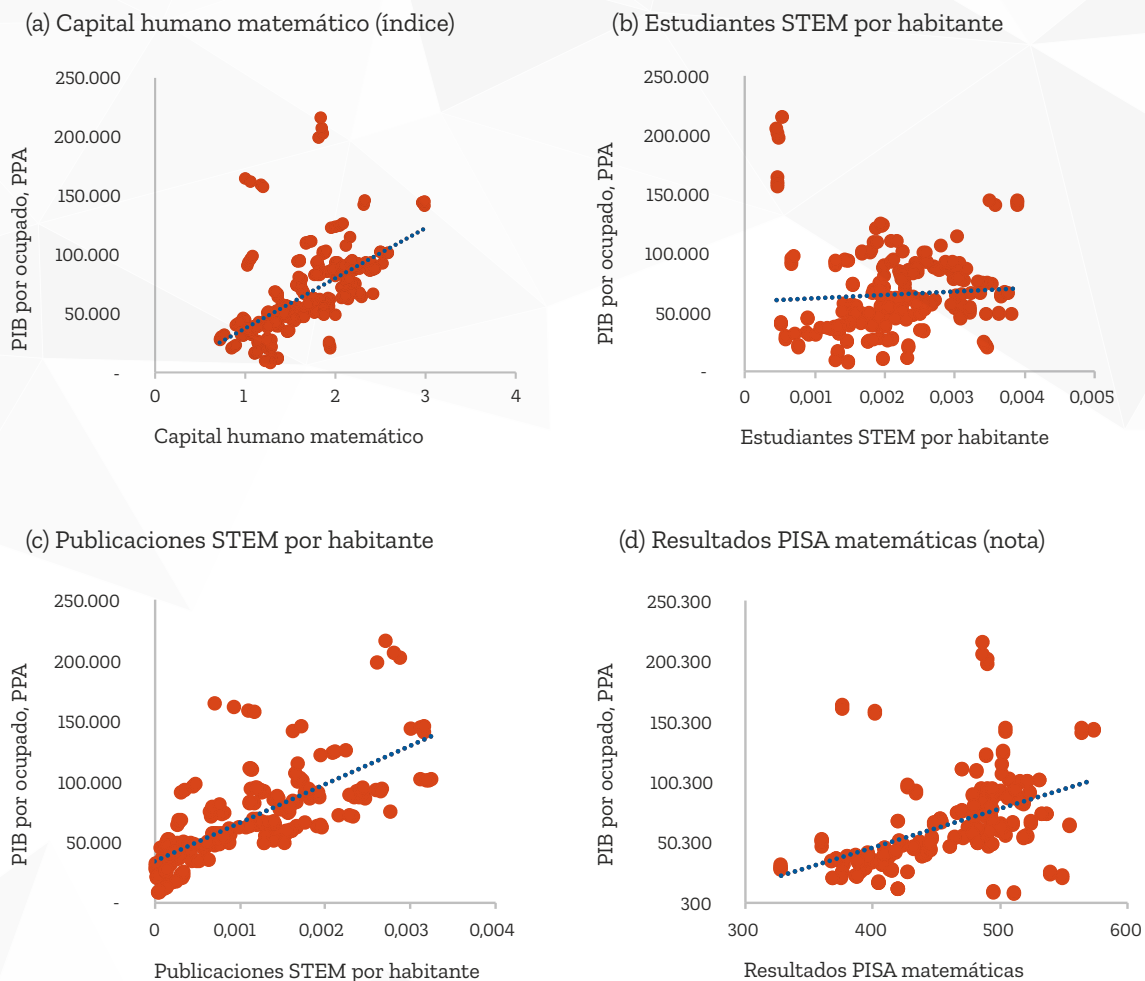
5. 1. EFECTOS DINÁMICOS DE LAS MATEMÁTICAS EN LA ECONOMÍA ESPAÑOLA

En este apartado se presenta una estimación cuantitativa del impacto del capital humano matemático sobre la productividad del trabajo en España en términos dinámicos. La mera observación de relación positiva de algunos indicadores relevantes asociados a la investigación matemática –resultados de evaluación en matemáticas, número de publicaciones

citadas en ramas STEM¹⁴ y proporción de graduados en estas disciplinas sobre el total de la población– con la productividad del trabajo por países ya hace sospechar de su importancia para el desempeño de la misma.

14 STEM es el acrónimo en inglés de los términos Science, Technology, Engineering y Mathematics. Para este ejercicio, se han considerado las publicaciones de las ramas de matemáticas, ingeniería, informática, física, astronomía, bioquímica y energía.

Gráfico 11. PIB por ocupado (dólares, PPA) e indicadores asociados a la investigación matemática por países
a) capital humano matemático, (b) estudiantes STEM por habitante, (c) publicaciones STEM por habitante y (d) resultados PISA matemáticas, 2013-2016



Fuentes: Afí, OCDE, SCIMAGO, Banco Mundial, UNESCO



La tabla 10 muestra los resultados de varias regresiones lineales (en concreto cuatro, una por cada columna) a través de una estimación por mínimos cuadrados ordinarios (MCO). El principal objetivo de una regresión lineal es identificar el efecto que ejercen unas determinadas variables (explicativas o independientes, Xi) sobre otra variable (dependiente, Y). En este caso, se pretende ver qué papel juegan las matemáticas en el PIB por ocupado (productividad laboral) de cada país.

Las variables económicas empleadas, como el PIB por ocupado o el stock de capital por ocupado, están disponibles en la base estadística de Banco Mundial, lo que garantiza homogeneidad en el cálculo de estas macromagnitudes y comparabilidad entre países. Sin embargo, las variables que reflejan el nivel matemático de un país son menos evidentes. En este caso, se han seleccionado las siguientes:

Tabla 10. Relación entre el índice de capital humano y sus componentes con el PIB por ocupado. Estimación MCO, 2013-2016

	PIB por ocupado (en logaritmo-logs)			
Capital humano matemático (logs)	0.323*** (0,071)			
Estudiantes STEM (logs)		0.073** (0,037)		
Publicaciones STEM (logs)			0.070*** (0,016)	
Resultados PISA matemáticas (logs)				0.565*** (0,205)
Stock de capital por ocupado (logs)	0.717*** (0,025)	0.762*** (0,023)	0.672*** (0,029)	0.723*** (0,029)
Europa Mediterráneos	-	-	-	-
Europa Centro	0.131** (0,053)	0.181*** (0,052)	0.168*** (0,049)	0.147*** (0,052)
Europa Escandinavia	0.078 (0,052)	0.144*** (0,046)	0.121** (0,047)	0.132*** (0,046)
Europa Este	0.108* (0,051)	0.115** (0,054)	0.110** (0,055)	0.106* (0,055)
Anglosajones	0.200*** (0,052)	0.241*** (0,049)	0.246*** (0,048)	0.244*** (0,048)
América Latina	0.254*** (0,060)	0.189*** (0,059)	0.243*** (0,065)	0.216*** (0,060)
Oriente Medio	0.320*** (0,066)	0.275*** (0,065)	0.291** (0,066)	0.321*** (0,065)
Asia Oriental	-0.002 (0,058)	0.015 (0,061)	0.041 (0,061)	-0.025 (0,066)
Control de año (dummy)	Sí	Sí	Sí	Sí
Países	66	66	66	66
Observaciones	264	264	264	264
R ²	0,897	0,890	0,894	0,892

Nota: los coeficientes están expresados en logaritmos. Las desviaciones típicas robustas aparecen entre paréntesis.

*, **, *** indican significatividad estadística al 10%, 5% y 1%, respectivamente.

Fuentes: Afi, OCDE, SCIMAGO, Banco Mundial, UNESCO



Si España incrementase la proporción de graduados STEM sobre el total de la población al mismo nivel que en Francia, la productividad del trabajo podría aumentar en un 2,2% sobre los valores actuales.

- Estudiantes en ramas STEM por habitante.
- Publicaciones académicas en ramas STEM por habitante.
- Resultados en el examen PISA en el apartado de matemáticas.

Mediante una metodología de análisis de datos de panel¹⁵ para un total de 66 países en el periodo 2013-2016, se estiman importantes efectos positivos de estos tres indicadores en la productividad de los trabajadores cuando se tienen en cuenta otros factores como el nivel de capital físico por trabajador (véase la tabla 10).

Si bien las estimaciones realizadas con los tres indicadores ofrecen lecturas similares, quizá la variable que mejor aproxima el nivel de capital humano matemático es la proporción de población con formación STEM (Estudiantes STEM), puesto que se relaciona con el stock de conocimiento matemático de la población, en mayor medida que la calidad de la educación primaria o los resultados de la investigación académica.

Así, un sencillo ejercicio de convergencia, en el que España alcanzara el mismo stock de capital humano matemático que Francia refleja los notables incrementos de productividad del trabajo que podrían derivarse. En particular, si España incrementase la proporción de graduados STEM sobre el total de la población al mismo nivel que en Francia, la productividad del trabajo podría aumentar en un 2,2% sobre los valores actuales.

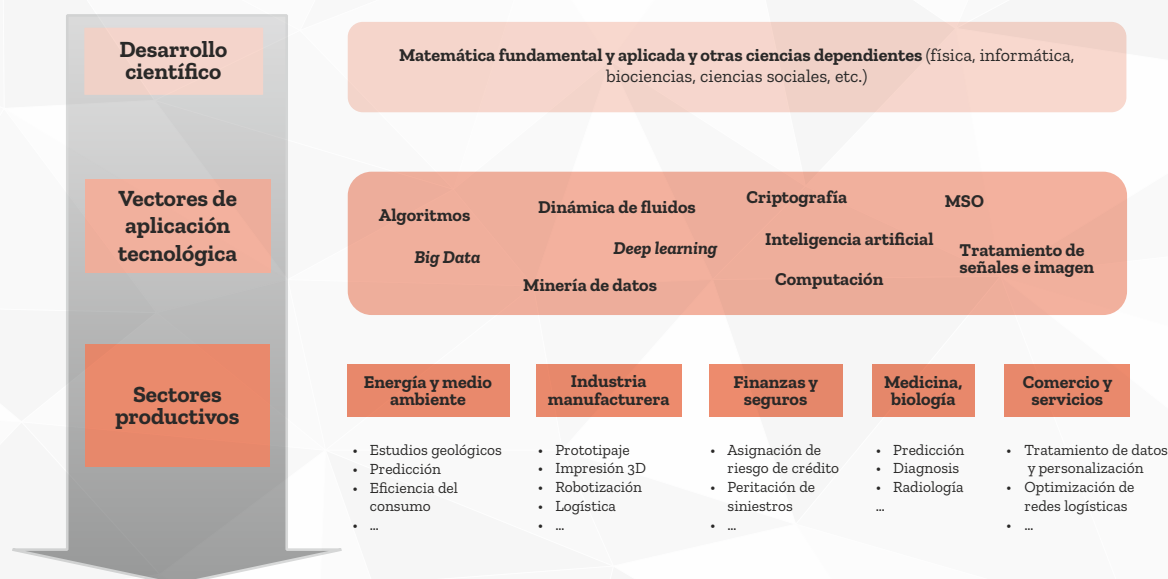
¹⁵ Para más información, consúltese el anexo metodológico 7.6 Estimación de impacto con metodología de datos de panel.

5. 2. TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA MATEMÁTICA AL TEJIDO PRODUCTIVO Y EXTERNALIDADES POSITIVAS ASOCIADAS. ALGUNOS EJEMPLOS EN ESPAÑA

Una de las peculiaridades de la transferencia de tecnología matemática a las actividades productivas es que su aportación, determinante, pasa desapercibida puesto que muchas veces subyace a lo realmente observable. Actualmente, en el mundo desarrollado, las sociedades viven en una realidad super-tecnológica, donde cualquier herramienta cotidiana funciona utilizando algoritmos u otras aplicaciones matemáticas. Por aportar algún ejemplo, una señal GPS, utilizada a menudo para encontrar un destino desconocido a través de un dispositivo móvil, es un cálculo trigonométrico a partir de información de satélites que sitúa a personas y objetos en su ubicación geográfica exacta. Asimismo, las comunicaciones a través de mensajes de móvil son señales digitales reconvertidas a números, pero cuya realidad no es percibida por el usuario como tal.

El proceso de transferencia tecnológica parte de la imbricación entre el conocimiento matemático más abstracto incorporado en sus vectores de aplicación a los problemas específicos de cada sector productivo (véase el diagrama 6). Este proceso de transferencia parte de la idea de que cualquier fenómeno o proceso a estudiar puede ser representado por matemáticas. La aplicación de las matemáticas parte de la observación de los problemas concretos, para los cuales se realiza una modelización o abstracción, que obviamente varía enormemente en función de su alcance, complejidad y sofisticación.

Diagrama 6. Transferencia de la ciencia matemática y aplicación a sectores productivos



Fuente: Afi

Una vez desarrollado un modelo, la tarea del matemático es comprender sus implicaciones, y establecer juicios críticos sobre su adaptación. Para ello suele recurrir, cada vez más, al uso de herramientas de computación y su combinación con matemática estadística, que sirven para validar dichos modelos a través del uso de datos reales o simulaciones en escenarios concretos del fenómeno investigado. En algunos casos, estos modelos precisan ser mejorados a la luz de la validación y el proceso puede iterar entre la comparación con la observación y el desarrollo de modelos posteriores, cuyo objetivo último es que alcance poder predictivo sobre el fenómeno de interés.

En España, la transferencia de la tecnología matemática es un fenómeno creciente gracias a la generación de grupos multidisciplinares y la incorporación de perfiles matemáticos a problemáticas muy diversas.

En España la transferencia de tecnología matemática es un fenómeno creciente, acelerado en la última década a una diversidad de sectores, gracias a la generación de grupos multidisciplinares y la incorporación de perfiles matemáticos a problemáticas muy diversas. Sin embargo, todavía queda un largo camino por recorrer para alcanzar el nivel óptimo de vinculación de las matemáticas al mundo real. El panel de encuestados (consultese el anexo) es coincidente en señalar dos aspectos de diagnóstico de las trabas o retos que debe afrontar España para impulsar la transferencia matemática:

- La necesidad de mejorar el engarce entre el modelo de formación en matemáticas y las necesidades del tejido productivo. Los planes de estudio, desde la educación básica a la universitaria, no están lo suficientemente adaptados a lo que el entorno demanda, tanto en centros tecnológicos como en las propias empresas privadas. Si bien la educación en ciencias matemáticas proporciona la capacidad analítica, de formulación de problemas y el desarrollo de modelos matemáticos, estas habilidades no son suficientes para el éxito en el ámbito profesional, generando



dos distorsiones al objetivo de mayor presencia matemática en las actividades productivas:

- Desde la educación básica no se inculca suficientemente la aplicabilidad de las matemáticas a los problemas reales, y los propios egresados ven con recelo salidas profesionales alternativas a la docencia o la investigación.
- Gran parte de los egresados universitarios en matemáticas que no desean dedicarse a la docencia o la investigación desconocen la enorme demanda potencial de matemáticos en disciplinas y actividades económicas diversas.

- Superar las barreras del tejido productivo para insertar matemáticos, derivadas, por una parte en el desconocimiento del valor que ofrece el capital humano matemático para resolver problemas organizacionales, mejorar la eficiencia y desarrollo de negocio, y por otra, en el reducido tamaño medio de las empresas, que es un factor limitador inherente al tejido productivo español.

A continuación se ofrecen algunos casos de éxito en transferencia matemática en España en sectores concretos.

Caso de éxito 1. Las matemáticas en el sector energético

Cerca del 50% de la contribución al VAB del sector energético es explicada por el *input* matemático. No es de extrañar, en realidad, un resultado tan aparentemente llamativo. Y es que las diversas actividades que componen el sector energético son altamente demandantes de matemáticas, dado el elevado grado de capitalización. Efectivamente, las matemáticas están presentes en prácticamente todas las fases de la cadena de valor de este sector económico. Desde los estudios previos a las perforaciones de búsqueda de yacimientos, hasta los que tratan de estimar la fiabilidad de la duración de una red eléctrica. Asimismo, el modelaje matemático permite realizar predicciones de consumo eléctricos y detección de fraude, así como la optimización de los activos generadores o las redes de transporte de energía.

Caso de éxito 2. Las matemáticas en el sector financiero, de auditoría y de seguros

Las matemáticas son la herramienta más poderosa que disponen los humanos para enfrentarse a la toma de decisiones en contextos de incertidumbre. Esta es la razón esencial por la que las matemáticas tienen una presencia tan destacada en el sector financiero y de seguros.

Precisamente, en el ámbito de los seguros, el producto transado entre una entidad aseguradora y un asegurado es una prima de seguro, que en realidad refleja un cálculo actuarial o probabilístico. Asimismo, la algoritmia es una herramienta de ayuda para la peritación en casos de siniestro. Así, cerca del 60% del VAB del sector de seguros corresponde al *input* matemático, un porcentaje similar al que representa en el sector financiero, muy vinculado a este último, en cuanto su actividad es dependiente tanto de modelización y gestión de riesgos, como de uso intensivo de fórmulas diversas de capitalización. La enorme liberación de información en tiempo real que han permitido los últimos desarrollos tecnológicos es un enorme campo de experimentación para la introducción de matemáticas en diversas partes de la actividad financiera, como por ejemplo, la predicción de la demanda de efectivo en cajeros electrónicos.

Caso de éxito 3. Las matemáticas en el sector biosanitario

Uno de los ámbitos de transferencia quizá más relevante por sus claras externalidades positivas a la sociedad es la que tiene que ver con el ámbito biosanitario.

En España se han desarrollado en los últimos años diversas iniciativas de enorme alcance, como por ejemplo el diseño e implementación de marcadores para la detección precoz del Alzheimer, la generación de modelos probabilísticos para el diagnóstico del cáncer o el modelado del metabolismo celular. Por otra parte, las herramientas matemáticas han servido para avanzar en la sofisticación de diversos tratamientos, como las prótesis adaptadas a la estructura de un paciente determinado o la robótica en intervenciones de traumatología, etc. Otros desarrollos reseñables son la reconstrucción 3D de órganos, o a la aplicación de algoritmos para la clasificación de muestras biológicas o modelos de optimización de la logística en hospitales en regiones con mucha dispersión, como es el caso de Castilla y León.

Caso de éxito 4. Las matemáticas en el medio ambiente

Otro de los ámbitos de creciente relevancia de aplicación matemática con generación de externalidades positivas es el medio ambiente. En un contexto marcado, además, por la urgencia de políticas de freno de las tendencias de cambio climático que amenazan el equilibrio y la sostenibilidad de los ecosistemas. En España, un país que atesora por otra parte un enorme patrimonio natural, han proliferado en las últimas décadas iniciativas de transferencia matemática para mitigar los efectos de problemas medioambientales con modelos de predicción de sequía, inundaciones o diversos fenómenos atmosféricos adversos. Asimismo, destaca la aplicación de modelos de riesgo de incendio, uno de los problemas medioambientales que suele azotar determinadas zonas de la península recurrentemente.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE POLÍTICA PÚBLICA

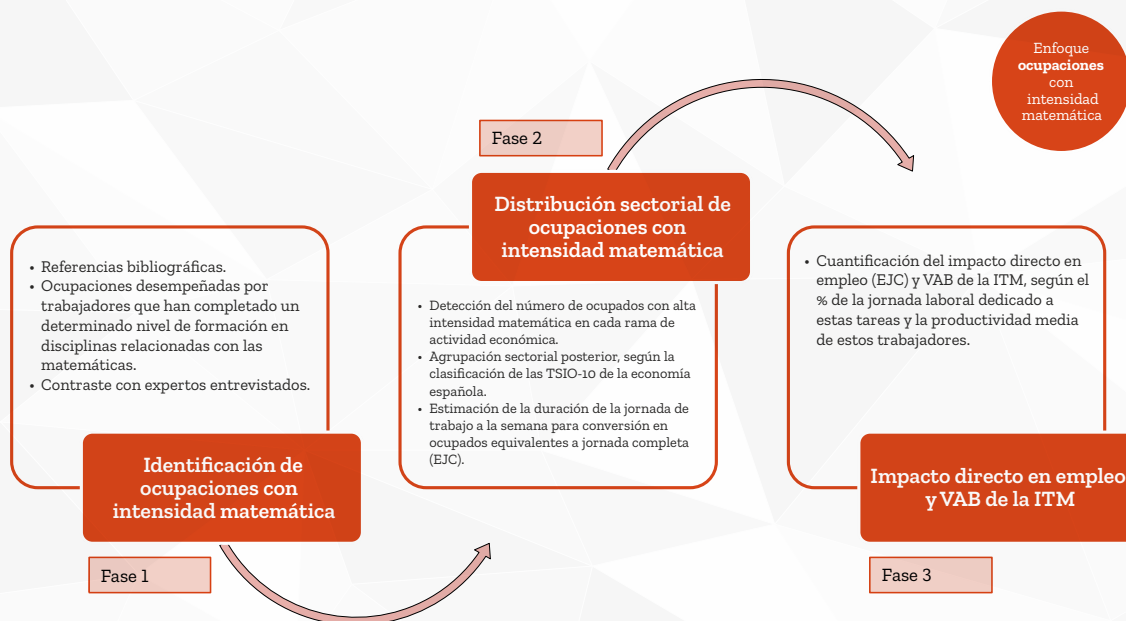
Entre las conclusiones de este estudio, destacan las siguientes:

- La naturaleza económica de las matemáticas es compleja. Alterna características de bien público de club, con una condición de bien privado, por los beneficios apropiables que se derivan de su uso en las actividades económicas.
- La participación de las matemáticas en las actividades productivas es transversal, pues afecta a todos los sectores, así como interviene en las distintas fases del proceso productivo. Desde el diseño, modelaje, simulación y prototipado de productos, a la optimización de procesos productivos y de organización y el análisis de datos.
- La revolución de Internet ha situado a las matemáticas como *input* fundamental de la producción, en tanto en cuanto los servicios han ido incorporando de manera creciente tanto capital físico tecnológico basado en matemática (tecnologías de la información y las comunicaciones, softwares, dispositivos electrónicos, etc.), como capital humano matemático.

- Las actividades con intensidad matemática generaron un millón de ocupados en 2016, lo que representó el 6% del empleo total de la economía española. Si se sumasen los efectos indirectos e inducidos, el impacto en empleo se elevaría hasta el 19,4% del total.
 - En términos de VAB, el impacto de las actividades con intensidad matemática se situó hasta el 10,1% del total en 2016 (26,9% del total si se añadiesen los efectos de arrastre).
 - Las actividades económicas con mayor impacto de las matemáticas son la informática, las actividades financieras, los servicios de telecomunicaciones y la rama de energía eléctrica y gas.
 - La magnitud de estos impactos es menor que la obtenida en otros países europeos donde se ha realizado un estudio similar, ya que en términos de empleo el impacto directo oscila entre el 10-11% del total, mientras que en VAB el intervalo se encuentra entre el 13-16% del total.
 - La diferencia se explica, eminentemente, por la estructura productiva española, que está más orientada hacia actividades con menor presencia de profesiones que requieran cierta intensidad matemática.
 - Las matemáticas están en la base del aumento de la productividad del trabajo, constituyendo un conocimiento estratégico para que la economía española y su tejido empresarial pueda aprovechar las oportunidades derivadas de la revolución tecnológica asociada a la robotización y la Inteligencia Artificial.
 - Si España incrementase la proporción de graduados STEM sobre el total de la población al mismo nivel que en Francia, la productividad del trabajo podría aumentar en un 2,2% sobre los valores actuales.
- Por todo ello, sería recomendable:
- Repensar el modelo educativo para lograr que (i) las matemáticas estén más presentes en los programas educativos y (ii) que los matemáticos tengan una mayor comprensión de la capacidad de aplicación al mundo real de las herramientas y habilidades adquiridas en su proceso de formación.
 - Mejorar el engarce entre el modelo de formación en matemáticas y las necesidades del tejido productivo, aproximando la Universidad y Centros de Investigación a las empresas mediante la celebración de reuniones, convenios de colaboración, prácticas profesionales de estudiantes, etc.
 - Impulsar el gasto en I+D+i en las ciencias matemáticas, puesto que derivan claras externalidades tanto al conjunto de ciencias STEM, como en sus vectores de aplicación tecnológica al tejido productivo, redundando en ganancias de bienestar para el conjunto de la sociedad.
 - Incrementar los incentivos a las matemáticas aplicadas, tratando de equipararlos a los ofrecidos a la investigación científica, para que los avances sean trasladados al tejido productivo.
 - Visibilizar en el entorno empresarial la utilidad que reporta la incorporación de matemáticos en las diversas fases del proceso productivo, así como en el conjunto de las organizaciones, mediante la celebración de encuentros entre ambos profesionales, el acercamiento Universidad-empresa, la puesta en común de casos de éxito, etc.

7. ANEXO METODOLÓGICO

Diagrama 7. Metodología empleada para estimar el peso de la ITM en la economía española a través del enfoque de las ocupaciones



Fuente: Afi

7. 1. ENFOQUE DE OCUPACIONES: APROXIMACIÓN METODOLÓGICA

El enfoque de ocupaciones con intensidad matemática constará de tres fases bien diferenciadas (véase el diagrama 7):

Fase 1: Identificación de ocupaciones con intensidad matemática

El objetivo de esta fase es detectar las profesiones que se dedican a la investigación matemática y/o hacen un uso intensivo de las herramientas matemáticas. Para ello, se emplearán tres metodologías complementarias:

- Referencias bibliográficas.
- Uso de los microdatos de la EPA (INE).
- Contraste con expertos en transferencia matemática.

Referencias bibliográficas

Esta metodología consiste en contrastar la selección de ocupaciones intensivas en matemáticas realizada en los estudios desarrollados en otros países con su correspondiente ocupación según la Clasificación Nacional de Ocupaciones 2011 de España.

Entre la documentación consultada, tal y como se indicaba con anterioridad, destacan los estudios desarrollados en Reino Unido, Países Bajos y Francia. Sin embargo, el estudio que ha servido de referencia ha sido el desarrollado en Reino Unido, por tres motivos:

1. **Cuenta con mayor detalle metodológico** (las ocupaciones están desagregadas a 4 dígitos y se exhiben en el anexo metodológico del informe) con el que contrastar las 170 categorías de la CNO-11 de España a las que se ha tenido acceso (microdatos de la EPA con detalle a tres dígitos).

2. **Cuantifica el empleo existente** (en términos absolutos y relativos) en las ocupaciones ITM y les asigna la proporción de horas de trabajo dentro que su jornada laboral que dedican, efectivamente, a la investigación o uso intensivo de herramientas matemáticas.
3. **Ha sido el primero publicado**, por lo que ha marcado la metodología que finalmente han emulado, de alguna u otra manera, el resto de estudios desarrollados y consultados (así lo mencionan los de los Países Bajos y Francia).

Dado que la clasificación de las ocupaciones en España no es la misma que en Reino Unido, y tampoco existe una tabla de correspondencia oficial entre ambas clasificaciones, se ha realizado un ejercicio de comparación, detectando aquellas que guardan cierta similitud¹⁶.

De esta forma, se llega a la conclusión de que en España existen 37 ocupaciones con intensidad matemática (de un total de 170 tipologías, es decir, un 21% del total de las clasificaciones de ocupaciones en España), ya que guardan paralelismos con estudios realizados con anterioridad en otros países.

Uso de los microdatos de la EPA (INE)

Además del análisis de la bibliografía reciente, se ha procedido a identificar, mediante la información estadística disponible, aquellas ocupaciones desempeñadas por los trabajadores españoles en las que son necesarias las habilidades matemáticas.

El objetivo de esta fase es cuantificar el número de ocupados que han completado un determinado nivel de formación en disciplinas académicas relacionadas con las matemáticas en cada una de las categorías de ocupaciones disponibles. En este sentido, deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Por un lado, qué se entiende por disciplinas relacionadas con las matemáticas.
- Por otro, cuál es el nivel de formación completado por el trabajador que se considerará como suficiente para afrontar las tareas con intensidad matemática.

Los microdatos de la Encuesta de Población Activa (EPA), proporcionados por el INE para el año 2016 (últimos datos disponibles), permiten cruzar cada una de las tipologías de ocupaciones de la CNO-11 a tres dígitos (170 tipologías), con las siguientes variables:

- **Sector del nivel de estudios y/o disciplina académica.** A partir de la Clasificación de programas, titulaciones y certificaciones en sectores de estudio (CNED-F-14) se procede, en primer lugar, a seleccionar aquellas disciplinas académicas que están relacionadas con las matemáticas, ya que los trabajadores que hayan cursado este tipo de educación contarán con habilidades matemáticas que emplearán en el puesto de trabajo. Es decir, se adopta la hipótesis de que el trabajador que cuente con este tipo de educación ejerce la profesión para la que ha sido formado. En este sentido, se han considerado 10 de las 40 disciplinas que permiten identificar los microdatos de la EPA. Estas son:

- Ciencias sociales y del comportamiento.
- Negocios y administración.
- Biología y bioquímica.
- Medio ambiente, entornos naturales y vida silvestre.
- Ciencias químicas, físicas y geológicas.
- Matemáticas y estadística.
- Tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC).
- Mecánica, electrónica y otra formación técnica.
- Construcción.
- Salud.

¹⁶ Para más detalle, consultar 7.2. Enfoque de ocupaciones: referencias bibliográficas.

- **Nivel de formación completado:** a partir de lo anterior, en esta ocasión es preciso clasificar a los ocupados según el nivel de formación que hayan completado:
 - Bajo: comprende los trabajadores analfabetos y aquellos que han completado educación primaria. Las habilidades matemáticas, en este caso, se presumen básicas, por lo tanto, este tipo de trabajadores no estarían suficientemente cualificados para desempeñar tareas con intensidad matemática.
 - Medio: comprende los trabajadores que han completado ESO o algún curso de Formación Profesional (de grado medio o superior). Las ocupaciones de carácter técnico o de apoyo pueden estar desempeñadas por trabajadores que hayan completado este nivel de formación, por tanto, se considerarán a efectos de la estimación de empleos con ITM.
 - Alto: comprende los trabajadores que han completado, al menos, una carrera universitaria (se incluyen también los que han realizado un master o doctorado). Este tipo de trabajadores son, quizás, los más cualificados para desempeñar ocupaciones con ITM.

Los resultados que se muestran en este ejercicio de estimación contemplan diferentes agregados de ocupados, según el nivel de estudios que hayan completado. El primer agregado hace referencia a aquellos profesionales que cuentan con formación superior, es decir, tienen un título universitario. A estos ocupados se han agregado, posteriormente, aquellos que han completado algún grado de FP (superior y medio, por este orden) y, por otro, los que han cursado ESO, ya que pueden estar desempeñando igualmente tareas que requieran cierta intensidad matemática.

A la hora de cuantificar los ocupados con habilidades matemáticas en cada ocupación es preciso tener en cuenta un fenómeno de creciente importancia en la

economía española que conviene controlar: la sobrecualificación. Desde el inicio de la recuperación económica y del empleo (año 2014), los trabajadores más cualificados que estaban desempleados retornaron al mercado de trabajo asumiendo puestos de trabajo para los que estaban sobrecualificados. Las últimas estimaciones¹⁷ apuntan a que dos de cada tres nuevos empleos han sido sobrecualificados. Por consiguiente, este fenómeno puede identificar trabajadores con habilidades matemáticas en ocupaciones que realmente no son intensivas en matemáticas y, por tanto, no hacen uso de dichas habilidades. Por ello, es necesario establecer un umbral de ocupados con habilidades matemáticas en cada profesión que refleje, efectivamente, la necesidad de que los trabajadores cuenten con este tipo de habilidades.

Tomando como hipótesis que las ocupaciones intensivas en matemáticas serán aquellas que concentren, al menos, un 70% de los ocupados con habilidades matemáticas, se llega a la conclusión de que en España habría entre 15-20 ocupaciones con intensidad matemática, según el nivel de formación que hayan completado estos profesionales (de un total de 170, es decir, entre el 8-12% del total)¹⁸.

Ahora bien, el hecho de abarcar a muchas disciplinas de estudios (por ejemplo, la construcción), con categorías profesionales muy diferentes (desde arquitectos e ingenieros, que serían colectivos objetivo del trabajo; hasta operarios, maquinistas y peones, que no lo serían), requiere de un análisis complementario.

A partir de la combinación de los resultados de las dos metodologías empleadas con anterioridad (bibliografía y EPA), se obtiene que habría 40 ocupaciones relacionadas con las matemáticas (véase la tabla 11), de un total de 170 tipologías, lo que representaría el 23% del total de las categorías disponibles.

17 Boletín AML Afí-ASEMPLEO, nº 115, de febrero de 2017.

18 Para más información, consultar 7.3. Enfoque de ocupaciones: uso de microdatos EPA.



Tabla 11. Relación de ocupaciones según CNO-11 (3 dígitos) con intensidad matemática

Código	Descripción de la ocupación	Según el nivel de formación completado			
		Alto	Alto + FPsuperior	Alto + FPsuperior + FPmedio	Alto + FPsuperior + FPmedio + ESO
111	Miembros del poder ejecutivo y de los cuerpos legislativos; directivos de la Administración Pública y organizaciones de interés social				
112	Directores generales y presidentes ejecutivos				
121	Directores de departamentos administrativos				
122	Directores comerciales, de publicidad, relaciones públicas y de investigación y desarrollo				
132	Directores de servicios de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) y de empresas de servicios profesionales				
143	Directores y gerentes de empresas de comercio al por mayor y al por menor				
211	Médicos				
212	Profesionales de enfermería y partería				
214	Farmacéuticos				
215	Otros profesionales de la salud				
241	Físicos, químicos, matemáticos y afines				
243	Ingenieros (excepto ingenieros agrónomos, de montes, eléctricos, electrónicos y TIC)				
244	Ingenieros eléctricos, electrónicos y de telecomunicaciones				
245	Arquitectos, urbanistas e ingenieros geógrafos				
246	Ingenieros técnicos (excepto agrícolas, forestales, eléctricos, electrónicos y TIC)				
247	Ingenieros técnicos en electricidad, electrónica y telecomunicaciones				
248	Arquitectos técnicos, topógrafos y diseñadores				
261	Especialistas en finanzas				
262	Especialistas en organización y administración				
264	Profesionales de ventas técnicas y médicas (excepto las TIC)				
271	Analistas y diseñadores de software y multimedia				
272	Especialistas en bases de datos y en redes informáticas				
281	Economistas				
311	Delineantes y dibujantes técnicos				
312	Técnicos de las ciencias físicas, químicas, medioambientales y de las ingenierías				
313	Técnicos en control de procesos				
315	Profesionales en navegación marítima y aeronáutica				
316	Técnicos de control de calidad de las ciencias físicas, químicas y de las ingenierías				
320	Supervisores en ingeniería de minas, de industrias manufactureras y de la construcción				
331	Técnicos sanitarios de laboratorio, pruebas diagnósticas y prótesis				
340	Profesionales de apoyo en finanzas y matemáticas				
361	Asistentes administrativos y especializados				
362	Agentes de aduanas, tributos y afines que trabajan en tareas propias de la Administración Pública				
381	Técnicos en operaciones de tecnologías de la información y asistencia al usuario				
382	Programadores informáticos				
383	Técnicos en grabación audiovisual, radiodifusión y telecomunicaciones				
411	Empleados contables y financieros				
561	Auxiliares de enfermería				
562	Técnicos auxiliares de farmacia y emergencias sanitarias y otros trabajadores de los cuidados a las personas en servicios de salud				
752	Otros instaladores y reparadores de equipos eléctricos				
Total		39	39	39	40

Fuente: Afi, INE (microdatos EPA)



Contraste con expertos en transferencia matemática

Esta metodología descansa en una selección previa de profesionales dedicados a la investigación y uso intensivo de las herramientas matemáticas que cuentan con una amplia experiencia en la transferencia de las matemáticas a las diferentes actividades económicas en España¹⁹. Una vez abordadas las metodologías anteriores, se trata de contrastar la selección de ocupaciones con intensidad matemática con los expertos consultados.

En este sentido, las entrevistas desarrolladas con expertos en transferencia matemática corroboran que las ocupaciones recogidas en la tabla 11 son las que están relacionadas, de alguna manera u otra, con la intensidad matemática. Si bien es cierto que atribuyen más relevancia al tiempo de su jornada de trabajo durante el cual hacen uso de sus habilidades matemáticas, que al hecho de que sean profesiones eminentemente matemáticas, aspecto que se tendrá en cuenta en la fase 2 de la estimación cuantitativa del empleo directo.

Fase 2: Distribución sectorial de ocupaciones con intensidad matemática

El objetivo de esta fase es conocer cuál es la penetración de este tipo de profesionales en el tejido productivo de España. En este sentido, resulta necesario realizar las siguientes tareas:

- **Detección del número de ocupados con alta intensidad matemática** en cada rama de actividad de la economía española.

- **Agrupación sectorial según la clasificación de las TSIO-10** de la economía española, ya que el objetivo último es conocer los efectos de arrastre (indirectos e inducidos) que ejercen sobre otras actividades económicas y, para ello, se empleará la metodología de las Tablas *Input-Output*.
- **Estimación de la duración de la jornada de trabajo a la semana** para convertir los ocupados en aquellos que son equivalentes a jornada completa (EJC), ya que es la medida empleada habitualmente para cuantificar el impacto directo de una actividad en términos de empleo.

Los microdatos de la EPA permiten cruzar cada una de las 40 ocupaciones identificadas con las siguientes variables:

- **Rama de actividad económica:** distribución de los ocupados con intensidad matemática en cada una de las ramas de actividad económica.
 - Los microdatos de la EPA cuentan con 272 clasificaciones posibles según la CNAE-09 a 3 dígitos.
 - Sin embargo, para el cálculo del impacto económico, es necesario tomar en consideración la clasificación TSIO-10, que es en base a la que se rigen las Tablas *Input-Output* de la economía española. Según esta otra clasificación de actividades económicas, existirían un total de 63 ramas de actividad diferentes.
 - Por ello, se han agregado las ramas de actividad a tres dígitos según la equivalencia entre la CNAE-09 y la TSIO-10 que proporciona el INE²⁰.

19 Para más detalle sobre los expertos consultados, ver 8. Expertos consultados.

20 Para más información, consultar el siguiente enlace: http://www.ine.es/daco/daco42/cne10/cne_tio_10.xlsx



- **Duración de la jornada laboral:** los microdatos permiten estimar el número de horas trabajadas a la semana por cada ocupado.
 - El objetivo es calcular los ocupados equivalentes a tiempo completo (aquellos que trabajan 40 horas a la semana), que es la variable de impacto directo en empleo que se pretende estimar.
 - Los ocupados que ejercen una profesión y tienen una jornada media semanal superior a las 40 horas, se convierten en equivalentes a tiempo completo mediante la extracción de las horas extras, conjugándolas con las de otros ocupados de la misma profesión, de tal forma que se puedan transformar en ocupados ficticios. De esta manera, se obtiene un número de ocupados en esta profesión superior al que refleja la EPA. Lo contrario ocurre si la jornada media semanal es inferior a las 40 horas.
 - Para la realización de estas estimaciones se ha asumido la siguiente hipótesis: se ha considerado que todos los ocupados (autónomos o asalariados) cuentan con un contrato de duración indeterminada, es decir, trabajan durante las 52 semanas al año, a efectos de calcular el impacto directo de las actividades ITM en base anual.

Fase 3: Impacto directo en empleo y VAB de las actividades con intensidad matemática

El objetivo de esta fase es conocer el impacto directo de la ITM en el empleo y VAB de la economía española, mediante la cuantificación del empleo (EJC) y VAB de la ITM, según la proporción de la jornada laboral dedicada a estas tareas y la productividad media de estos trabajadores del sector económico correspondiente. Ambos datos se desprenden de los microdatos de la EPA y de las tablas Input-Output de la economía española, según lo indicado con anterioridad.

7.2. ENFOQUE DE OCUPACIONES: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Comparación con clasificación de ocupaciones en Reino Unido

El estudio realizado por Deloitte en Reino Unido cuenta en uno de sus anexos con una relación de tablas (véase la tablas 12 y 13) en las que se pueden identificar las ocupaciones consideradas con cierta intensidad matemática, así como la proporción de tiempo de trabajo que se asocia a cada una de las ocupaciones, ya que la cuantificación de los ocupados está calculada en equivalencia a jornada completa. La clasificación responde a una tipología estandarizada según la SOC de Reino Unido, habiéndose realizado el ejercicio con detalle a cuatro dígitos.

La asignación de ocupados y dedicación de horas al uso intensivo en matemáticas se ha realizado en base a cuatro criterios:

- Transferencia de las ciencias matemáticas a cada rama de actividad económica y ocupación profesional.
- El propio entendimiento del autor del estudio en lo que se refiere a la incorporación de los egresados en matemáticas y otras disciplinas académicas con alto contenido matemático en el tejido productivo.
- La revisión de la bibliografía.
- Las opiniones vertidas por expertos en transferencia matemática que han sido igualmente consultados para el desarrollo de este trabajo.

Tabla 12. Ocupados por ocupación con intensidad matemática en Reino Unido (personas y % total), 1/2

Level 4 SOC code	Include entire occupation as mathematics occupation?	Apportion needed?	% of category included	Final number of mathematical science occupations	Total number of jobs in SOC category
1111 Senior officials in national government	N	Y	*	400	*
1112 Directors & chief execs of major organisations	N	Y	5%	2,800	60,200
1113 Senior officials in local government	N	Y	5%	1,600	35,100
1121 Prod. works & maintenance managers	N	Y	5%	19,300	413,500
1123 Managers in mining and energy	N	Y	*	12,600	*
1131 Financial managers & chartered secretaries	N	Y	5%	12,100	259,200
1132 Marketing and sales managers	N	Y	5%	25,600	549,400
1133 Purchasing managers	N	Y	5%	2,300	50,100
1136 Information & communication technology managers	Y	N	na	309,900	309,900
1137 Research and development managers	Y	N	na	51,500	51,500
1141 Quality assurance managers	Y	N	na	46,600	46,600
1151 Financial institution managers	N	Y	5%	7,200	154,100
1181 Hospital and health service managers	Y	N	na	77,000	77,000
2111 Chemists	Y	N	na	27,600	27,600
2112 Bio scientists and biochemists	Y	N	na	94,200	94,200
2113 Physicists, geologists & meteorologists	Y	N	na	26,100	26,100
2121 Civil engineers	Y	N	na	78,700	78,700
2122 Mechanical engineers	Y	N	na	78,300	78,300
2123 Electrical engineers	Y	N	na	59,800	59,800
2124 Electronics engineers	Y	N	na	35,900	35,900
2125 Chemical engineers	Y	N	na	9,500	9,500
2126 Design and development engineers	Y	N	na	63,300	63,300
2127 Production and process engineers	Y	N	na	31,200	31,200
2128 Planning and quality control engineers	Y	N	na	29,200	29,200
2129 Engineering professionals not elsewhere classified	Y	N	na	97,100	97,100
2131 IT strategy and planning professionals	Y	N	na	48,900	148,900
2132 Software professionals	Y	N	na	327,500	327,500
2211 Medical practitioners	N	Y	10%	24,200	242,900
2212 Psychologists	N	Y	10%	3,000	29,900
2213 Pharmacists & pharmacologists	Y	N	na	41,800	41,800
2215 Dental practitioners	N	N	na	0	35,700
2311 Higher education teaching professionals	N	Y	10%	13,200	132,600
2317 Registrars & senior administrators of educational establishments	N	Y	10%	4,700	47,200
2321 Scientific researchers	Y	N	na	17,100	17,100
2322 Social science researchers	Y	N	na	17,100	17,100
2329 Researchers not elsewhere classified	Y	N	na	49,100	49,100
2421 Chartered and certified accountants	N	Y	10%	15,900	160,000
2422 Management accountants	Y	N	na	85,700	85,700
2423 Management consultants, actuaries, economists & statisticians	Y	N	na	180,400	180,400
2431 Architects	N	N	na	0	55,400
2432 Town planners	N	Y	10%	2,000	20,700
2433 Quantity surveyors	N	N	0%	0	39,700

Fuente: Deloitte



Tabla 13. Ocupados por ocupación con intensidad matemática en Reino Unido (personas y % total), 2/2

Level 4 SOC code	Include entire occupation as mathematics occupation?	Apportion needed?	% of category included	Final number of mathematical science occupations	Total number of jobs in SOC category
2434 Chartered surveyors (not quantity surveyors)	N	N	na	0	63,500
2441 Public service administrative professionals	Y	N	na	34,900	34,900
3111 Laboratory technicians	Y	N	na	64,900	64,900
3112 Electrical & electronic technicians	Y	N	na	26,500	26,500
3113 Engineering technicians	Y	N	na	73,500	73,500
3114 Build & civil eng technicians	Y	N	na	25,800	25,800
3115 Quality assurance technicians	Y	N	na	15,700	15,700
3119 Science & engineering technicians not elsewhere classified	Y	N	na	38,200	38,200
3131 IT operations technicians	N	N	na	0	117,000
3132 IT user support technicians	N	N	na	0	65,400
3211 Nurses	N	N	na	0	509,300
3212 Midwives	N	N	na	0	35,100
3213 Paramedics	N	N	na	0	20,800
3511 Air traffic controllers	Y	N	*	8,900	*
3512 Aircraft pilots and flight engineers	Y	N	na	22,600	22,600
3513 Ship and hovercraft officers	N	N	na	0	15,200
3531 Estimators, valuers and assessors	N	N	na	0	55,300
3532 Brokers	N	Y	0%	0	50,900
3533 Insurance underwriters	Y	N	na	30,100	30,100
3534 Fin. & invest. analyst & advisers	Y	N	na	173,900	173,900
3535 Taxation experts	N	Y	4%	900	21,500
3537 Financial and accounting technicians	N	N	na	0	30,800
3568 Environmental health officers	Y	N	4%	11,900	11,900
4121 Credit controllers	Y	N	4%	45,600	45,600
4122 Accounts wages clerk, bookkeeper	N	N	na	0	512,700
5242 Telecommunications engineers	Y	N	na	42,600	42,600
5245 Comp engineer, installation & maintenance	N	N	na	0	43,500
5249 Electrical & electronics engineer not elsewhere classified	Y	N	na	83,500	83,500

Source: Deloitte using ONS data. Numbers are rounded. * refer to where the underlying data is not available publicly and hence the adjustment percentage cannot be disclosed. Note, numbers do not sum to 2.8 million due to rounding.

Fuente: Deloitte

En base a esta selección y la Clasificación Nacional de Ocupaciones 2011, que es por la que se rige España, se han detectado 37 ocupaciones con intensidad matemática, que representan 1/5 parte del total de categorías (170 tipos diferentes de ocupaciones). A continuación, se indica el código numérico y su descripción:

- 111 Miembros del poder ejecutivo y de los cuerpos legislativos; directivos de la Administración Pública y organizaciones de interés social.
- 112 Directores generales y presidentes ejecutivos.
- 121 Directores de departamentos administrativos.
- 122 Directores comerciales, de publicidad, relaciones públicas y de investigación y desarrollo.
- 132 Directores de servicios de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) y de empresas de servicios profesionales.

- 143 Directores y gerentes de empresas de comercio al por mayor y al por menor.
- 211 Médicos.
- 212 Profesionales de enfermería y partería.
- 214 Farmacéuticos.
- 241 Físicos, químicos, matemáticos y afines.
- 243 Ingenieros (excepto ingenieros agrónomos, de montes, eléctricos, electrónicos y TIC).
- 244 Ingenieros eléctricos, electrónicos y de telecomunicaciones.
- 245 Arquitectos, urbanistas e ingenieros geógrafos.
- 246 Ingenieros técnicos (excepto agrícolas, forestales, eléctricos, electrónicos y TIC).
- 247 Ingenieros técnicos en electricidad, electrónica y telecomunicaciones.
- 248 Arquitectos técnicos, topógrafos y diseñadores.
- 261 Especialistas en finanzas.
- 262 Especialistas en organización y administración.
- 271 Analistas y diseñadores de software y multimedia.
- 272 Especialistas en bases de datos y en redes informáticas.
- 281 Economistas.
- 311 Delineantes y dibujantes técnicos.
- 312 Técnicos de las ciencias físicas, químicas, medioambientales y de las ingenierías.
- 313 Técnicos en control de procesos.
- 315 Profesionales en navegación marítima y aeronáutica.
- 316 Técnicos de control de calidad de las ciencias físicas, químicas y de las ingenierías.
- 320 Supervisores en ingeniería de minas, de industrias manufactureras y de la construcción.
- 331 Técnicos sanitarios de laboratorio, pruebas diagnósticas y prótesis.
- 340 Profesionales de apoyo en finanzas y matemáticas.
- 361 Asistentes administrativos y especializados.
- 362 Agentes de aduanas, tributos y afines que trabajan en tareas propias de la Administración Pública.
- 381 Técnicos en operaciones de tecnologías de la información y asistencia al usuario.
- 382 Programadores informáticos.
- 383 Técnicos en grabación audiovisual, radiodifusión y telecomunicaciones.
- 411 Empleados contables y financieros.
- 561 Auxiliares de enfermería.
- 562 Técnicos auxiliares de farmacia y emergencias sanitarias y otros trabajadores de los cuidados a las personas en servicios de salud.

7. 3. ENFOQUE DE OCUPACIONES: MICRODATOS EPA

Identificación de ocupaciones con intensidad matemática a partir de los microdatos de la EPA (INE)

El análisis de los microdatos de la EPA con detalle a dos dígitos de la CNO-11 permite detectar el nivel y la disciplina de estudios completados por cada trabajador para cada una de las 170 tipologías de ocupaciones existentes.

Las tablas que se presentan a continuación (véanse las tablas 14, 15, 16 y 17) cuantifican para cada una de las ocupaciones, el número de ocupados que tiene formación matemática según el nivel de estudios del que se trate, ya que el objetivo es abarcar a todos los colectivos relacionados con las matemáticas y evaluar la sensibilidad de abrir el mismo más allá de los egresados universitarios.

Tomando como hipótesis que las ocupaciones intensivas en matemáticas serán aquellas que concentren, al menos, un 70% de los ocupados con habilidades matemáticas, se llega a la conclusión de que en España habría entre 15-20 ocupaciones con intensidad matemática (aparecen sombreadas en las tablas 14, 15, 16 y 17), según el nivel de formación que hayan completado estos profesionales (de un total de 170, es decir, entre el 8-12% del total).



Tabla 14. Ocupados por ocupación que han completado estudios relacionados con las matemáticas según nivel de los mismos (personas y % total), 1/4

Clasificación de las ocupaciones según CNO-11 (3 dígitos)		Ocupados según nivel de formación (personas)					Determinación de ocupaciones matemáticas según nivel educativo completado (acum.):				
		Alto	Medio			Total ocupados	Alto	Alto + FP superior	Alto + FP superior + FP medio	Alto + FP superior + FP medio + ESO	
			Total	ESO	FP medio						FP superior
Código	Descripción	Personas					% total				
001	Oficiales y suboficiales de las fuerzas armadas	3.755	3.082	329	0	2.752	29.476	12,7%	22,1%	22,1%	23,2%
002	Tropa y marinería de las fuerzas armadas	270	10.508	5.723	0	4.785	53.154	0,5%	9,5%	9,5%	20,3%
111	Miembros del poder ejecutivo y de los cuerpos legislativos; directivos de la Administración Pública y organizaciones de interés social							0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
112	Directores generales y presidentes ejecutivos	9.193	92	0	92	0	18.421	49,9%	49,9%	50,4%	50,4%
121	Directores de departamentos administrativos	48.843	3.384	2.271	0	1.112	87.876	55,6%	56,8%	56,8%	59,4%
122	Directores comerciales, de publicidad, relaciones públicas y de investigación y desarrollo	43.396	7.512	1.236	0	6.276	82.473	52,6%	60,2%	60,2%	61,7%
131	Directores de producción de explotaciones agropecuarias, forestales y pesqueras, y de industrias manufactureras, de minería, construcción y distribución							0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
132	Directores de servicios de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) y de empresas de servicios profesionales							0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
141	Directores y gerentes de empresas de alojamiento	2.030	1.033	0	0	1.033	20.616	9,8%	14,9%	14,9%	14,9%
142	Directores y gerentes de empresas de restauración	8.276	1.583	536	0	1.047	57.768	14,3%	16,1%	16,1%	17,1%
143	Directores y gerentes de empresas de comercio al por mayor y al por menor	12.147	12.587	4.113	0	8.474	98.255	12,4%	21,0%	21,0%	25,2%
150	Directores y gerentes de otras empresas de servicios no clasificados bajo otros epígrafes	20.937	12.314	4.396	0	7.918	91.964	22,8%	31,4%	31,4%	36,2%
211	Médicos	185.302	0	0	0	0	186.765	99,2%	99,2%	99,2%	99,2%
212	Profesionales de enfermería y partería	262.437	1.877	0	0	1.877	271.451	96,7%	97,4%	97,4%	97,4%
213	Veterinarios	2.534	0	0	0	0	31.828	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%
214	Farmacéuticos	68.025	0	0	0	0	69.248	98,2%	98,2%	98,2%	98,2%
215	Otros profesionales de la salud	108.424	1.433	745	0	689	115.052	94,2%	94,8%	94,8%	95,5%
221	Profesores de universidades y otra enseñanza superior (excepto formación profesional)	50.051	0	0	0	0	83.861	59,7%	59,7%	59,7%	59,7%
222	Profesores de formación profesional (materias específicas)	22.414	4.033	383	0	3.649	46.881	47,8%	55,6%	55,6%	56,4%
223	Profesores de enseñanza secundaria (excepto materias específicas de formación profesional)	87.475	217	0	0	217	281.446	31,1%	31,2%	31,2%	31,2%
224	Profesores de enseñanza primaria	12.291	0	0	0	0	256.216	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%
225	Maestros y educadores de enseñanza infantil	7.085	685	0	0	685	131.660	5,4%	5,9%	5,9%	5,9%
231	Profesores y técnicos de educación especial	6.207	2.270	819	0	1.451	36.174	17,2%	21,2%	21,2%	23,4%
232	Otros profesores y profesionales de la enseñanza	39.902	6.113	261	0	5.852	160.580	24,8%	28,5%	28,5%	28,7%
241	Físicos, químicos, matemáticos y afines	29.041	0	0	0	0	31.553	92,0%	92,0%	92,0%	92,0%
242	Profesionales en ciencias naturales	35.606	0	0	0	0	59.843	59,5%	59,5%	59,5%	59,5%
243	Ingenieros (excepto ingenieros agrónomos, de montes, eléctricos, electrónicos y TIC)	85.815	0	0	0	0	118.785	72,2%	72,2%	72,2%	72,2%
244	Ingenieros eléctricos, electrónicos y de telecomunicaciones	45.429	0	0	0	0	48.053	94,5%	94,5%	94,5%	94,5%
245	Arquitectos, urbanistas e ingenieros geógrafos	45.415	0	0	0	0	52.085	87,2%	87,2%	87,2%	87,2%
246	Ingenieros técnicos (excepto agrícolas, forestales, eléctricos, electrónicos y TIC)	52.052	0	0	0	0	60.664	85,8%	85,8%	85,8%	85,8%
247	Ingenieros técnicos en electricidad, electrónica y telecomunicaciones	20.855	0	0	0	0	25.844	80,7%	80,7%	80,7%	80,7%
248	Arquitectos técnicos, topógrafos y diseñadores	55.686	8.415	1.018	0	7.398	102.810	54,2%	61,4%	61,4%	62,3%
251	Jueces, magistrados, abogados y fiscales	7.246	0	0	0	0	120.764	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%
259	Otros profesionales del derecho	19.933	0	0	0	0	59.982	33,2%	33,2%	33,2%	33,2%
261	Especialistas en finanzas	79.070	313	0	0	313	89.310	88,5%	88,9%	88,9%	88,9%
262	Especialistas en organización y administración	106.106	2.828	0	0	2.828	200.191	53,0%	54,4%	54,4%	54,4%
263	Técnicos de empresas y actividades turísticas	648	0	0	0	0	1.578	41,1%	41,1%	41,1%	41,1%
264	Profesionales de ventas técnicas y médicas (excepto las TIC)	15.068	1.499	0	0	1.499	19.847	75,9%	83,5%	83,5%	83,5%
265	Otros profesionales de las ventas, la comercialización, la publicidad y las relaciones públicas	36.356	4.517	0	0	4.517	75.944	47,9%	53,8%	53,8%	53,8%
271	Analistas y diseñadores de software y multimedia	97.431	3.953	0	0	3.953	109.665	88,8%	92,4%	92,4%	92,4%
272	Especialistas en bases de datos y en redes informáticas	36.663	3.647	0	0	3.647	40.728	90,0%	99,0%	99,0%	99,0%
281	Economistas	45.599	0	0	0	0	46.215	98,7%	98,7%	98,7%	98,7%
282	Sociólogos, historiadores, psicólogos y otros profesionales en ciencias sociales	68.593	2.355	0	0	2.355	148.905	46,1%	47,6%	47,6%	47,6%

Fuentes: Afi, INE (microdatos EPA)



Tabla 15. Ocupados por ocupación que han completado estudios relacionados con las matemáticas según nivel de los mismos (personas y % total), 2/4

Clasificación de las ocupaciones según CNO-11 (3 dígitos)		Ocupados según nivel de formación (personas)					Determinación de ocupaciones matemáticas según nivel educativo completado (acum.):				
		Alto	Medio				Total ocupados	Alto	Alto + FP superior	Alto + FP superior + FP medio	Alto + FP superior + FP medio + ESO
			Total	ESO	FP medio	FP superior					
Código	Descripción	Personas					% total				
283	Sacerdotes de las distintas religiones	801	0	0	0	0	8.764	9,1%	9,1%	9,1%	9,1%
291	Archivistas, bibliotecarios, conservadores y afines	2.285	0	0	0	0	15.689	14,6%	14,6%	14,6%	14,6%
292	Escritores, periodistas y lingüistas	6.611	1.823	0	0	1.823	73.858	9,0%	11,4%	11,4%	11,4%
293	Artistas creativos e interpretativos	637	1.405	623	0	782	43.234	1,5%	3,3%	3,3%	4,7%
311	Delineantes y dibujantes técnicos	3.458	24.204	2.122	0	22.082	42.574	8,1%	60,0%	60,0%	65,0%
312	Técnicos de las ciencias físicas, químicas, medioambientales y de las ingenierías	18.005	57.646	7.729	464	49.452	103.657	17,4%	65,1%	65,5%	73,0%
313	Técnicos en control de procesos	2.197	16.854	5.311	0	11.543	39.995	5,5%	34,4%	34,4%	47,6%
314	Técnicos de las ciencias naturales y profesionales auxiliares afines	5.592	4.569	1.324	0	3.246	20.336	27,5%	43,5%	43,5%	50,0%
315	Profesionales en navegación marítima y aeronáutica	4.306	1.707	286	0	1.421	15.369	28,0%	37,3%	37,3%	39,1%
316	Técnicos de control de calidad de las ciencias físicas, químicas y de las ingenierías	8.234	20.571	5.439	0	15.132	55.150	14,9%	42,4%	42,4%	52,2%
320	Supervisores en ingeniería de minas, de industrias manufactureras y de la construcción	11.610	23.581	4.073	0	19.509	98.251	11,8%	31,7%	31,7%	35,8%
331	Técnicos sanitarios de laboratorio, pruebas diagnósticas y prótesis	1.114	42.078	2.459	0	39.619	49.247	2,3%	82,7%	82,7%	87,7%
332	Otros técnicos sanitarios	13.733	29.224	4.255	0	24.969	65.816	20,9%	58,8%	58,8%	65,3%
333	Profesionales de las terapias alternativas	1.772	1.172	1.172	0	0	6.676	26,5%	26,5%	26,5%	44,1%
340	Profesionales de apoyo en finanzas y matemáticas	36.159	10.114	0	0	10.114	70.524	51,3%	65,6%	65,6%	65,6%
351	Agentes y representantes comerciales	55.892	87.673	30.364	0	57.309	413.575	13,5%	27,4%	27,4%	34,7%
352	Otros agentes comerciales	17.642	25.624	7.971	0	17.653	104.010	17,0%	33,9%	33,9%	41,6%
353	Agentes inmobiliarios y otros agentes	23.225	18.565	3.477	3.019	12.070	95.789	24,2%	36,8%	40,0%	43,6%
361	Asistentes administrativos y especializados	55.232	74.072	14.967	0	59.105	317.214	17,4%	36,0%	36,0%	40,8%
362	Agentes de aduanas, tributos y afines que trabajan en tareas propias de la Administración Pública	1.884	0	0	0	0	11.127	16,9%	16,9%	16,9%	16,9%
363	Técnicos de las fuerzas y cuerpos de seguridad	228	253	0	0	253	10.798	2,1%	4,4%	4,4%	4,4%
371	Profesionales de apoyo de servicios jurídicos y sociales	3.548	11.010	3.088	0	7.922	53.165	6,7%	21,6%	21,6%	27,4%
372	Deportistas, entrenadores, instructores de actividades deportivas; monitores de actividades recreativas	10.740	10.094	2.382	0	7.712	121.415	8,8%	15,2%	15,2%	17,2%
373	Técnicos y profesionales de apoyo de actividades culturales, artísticas y culinarias	3.652	6.782	1.778	0	5.005	66.090	5,5%	13,1%	13,1%	15,8%
381	Técnicos en operaciones de tecnologías de la información y asistencia al usuario	15.080	49.940	6.132	0	43.808	95.268	15,8%	61,8%	61,8%	68,3%
382	Programadores informáticos	37.403	39.879	2.570	0	37.309	96.334	38,8%	77,6%	77,6%	80,2%
383	Técnicos en grabación audiovisual, radiodifusión y telecomunicaciones	8.291	24.932	1.940	704	22.288	55.833	14,8%	54,8%	56,0%	59,5%
411	Empleados contables y financieros	99.114	61.902	9.582	0	52.320	254.816	38,9%	59,4%	59,4%	63,2%
412	Empleados de registro de materiales, de servicios de apoyo a la producción y al transporte	24.251	60.886	26.228	0	34.658	209.717	11,6%	28,1%	28,1%	40,6%
421	Empleados de bibliotecas y archivos	864	988	725	0	262	8.851	9,8%	12,7%	12,7%	20,9%
422	Empleados de servicios de correos, codificadores, correctores y servicios de personal	4.264	18.468	7.863	0	10.605	82.638	5,2%	18,0%	18,0%	27,5%
430	Otros empleados administrativos sin tareas de atención al público	85.940	131.643	37.825	0	93.818	474.213	18,1%	37,9%	37,9%	45,9%
441	Empleados de información y recepcionistas (excepto de hoteles)	9.003	14.647	4.884	0	9.762	68.634	13,1%	27,3%	27,3%	34,5%
442	Empleados de agencias de viajes, recepcionistas de hoteles y telefonistas	27.476	36.116	13.513	362	22.241	187.650	14,6%	26,5%	26,7%	33,9%
443	Agentes de encuestas	994	798	450	0	348	10.267	9,7%	13,1%	13,1%	17,4%
444	Empleados de ventanilla y afines (excepto taquilleros)	9.480	15.573	6.138	0	9.435	71.695	13,2%	26,4%	26,4%	34,9%
450	Empleados administrativos con tareas de atención al público no clasificados bajo otros epígrafes	91.709	192.546	66.307	0	126.238	566.165	16,2%	38,5%	38,5%	50,2%
500	Camareros y cocineros propietarios	11.681	18.996	10.290	0	8.706	250.741	4,7%	8,1%	8,1%	12,2%
511	Cocineros asalariados	5.128	20.345	13.788	0	6.557	259.267	2,0%	4,5%	4,5%	9,8%
512	Camareros asalariados	24.823	72.467	49.790	0	22.677	547.919	4,5%	8,7%	8,7%	17,8%
521	Jefes de sección de tiendas y almacenes	7.994	20.040	10.983	0	9.057	90.690	8,8%	18,8%	18,8%	30,9%
522	Vendedores en tiendas y almacenes	34.998	153.052	84.574	0	68.479	758.070	4,6%	13,7%	13,7%	24,8%
530	Comerciantes propietarios de tiendas	19.546	60.386	23.039	0	37.348	391.917	5,0%	14,5%	14,5%	20,4%
541	Vendedores en quioscos o en mercadillos	890	1.818	1.416	0	402	44.514	2,0%	2,9%	2,9%	6,1%

Fuentes: Afi, INE (microdatos EPA)



Tabla 16. Ocupados por ocupación que han completado estudios relacionados con las matemáticas según nivel de los mismos (personas y % total), 3/4

Clasificación de las ocupaciones según CNO-11 (3 dígitos)		Ocupados según nivel de formación (personas)						Determinación de ocupaciones matemáticas según nivel educativo completado (acum.):			
		Alto	Medio			Total ocupados	Alto	Alto + FP superior	Alto + FP superior + FP medio	Alto + FP superior + FP medio + ESO	
Código	Descripción	Personas						% total			
542	Operadores de telemarketing	2.417	5.584	2.330	0	3.254	19.551	12,4%	29,0%	29,0%	40,9%
543	Expendedores de gasolineras	594	11.050	4.883	0	6.167	37.639	1,6%	18,0%	18,0%	30,9%
549	Otros vendedores	6.054	2.585	773	0	1.812	28.716	21,1%	27,4%	27,4%	30,1%
550	Cajeros y taquilleros (excepto bancos)	7.467	42.700	21.434	0	21.266	147.078	5,1%	19,5%	19,5%	34,1%
561	Auxiliares de enfermería	9.399	206.661	158.734	0	47.927	279.911	3,4%	20,5%	20,5%	77,2%
562	Técnicos auxiliares de farmacia y emergencias sanitarias y otros trabajadores de los cuidados a las personas en servicios de salud							0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
571	Trabajadores de los cuidados personales a domicilio (excepto cuidadores de niños)	6.187	44.710	26.910	0	17.800	172.199	3,6%	13,9%	13,9%	29,6%
572	Cuidadores de niños	4.490	16.960	11.274	0	5.686	119.710	3,8%	8,5%	8,5%	17,9%
581	Peluqueros y especialistas en tratamientos de estética, bienestar y afines	3.222	10.103	6.414	0	3.690	212.628	1,5%	3,3%	3,3%	6,3%
582	Trabajadores que atienden a viajeros, guías turísticos y afines	3.037	6.116	2.563	0	3.553	44.684	6,8%	14,7%	14,7%	20,5%
583	Supervisores de mantenimiento y limpieza de edificios, conserjes y mayordomos domésticos	7.225	19.993	7.565	0	12.429	107.799	6,7%	18,2%	18,2%	25,2%
584	Trabajadores propietarios de pequeños alojamientos	673	1.009	220	0	789	6.360	10,6%	23,0%	23,0%	26,5%
589	Otros trabajadores de servicios personales	136	6.282	3.936	0	2.346	29.854	0,5%	8,3%	8,3%	21,5%
591	Guardias civiles	1.946	8.334	3.876	0	4.458	52.165	3,7%	12,3%	12,3%	19,7%
592	Policías	9.812	33.675	10.844	0	22.832	156.521	6,3%	20,9%	20,9%	27,8%
593	Bomberos	1.585	8.034	2.087	0	5.947	29.478	5,4%	25,6%	25,6%	32,6%
594	Personal de seguridad privado	6.268	29.891	17.436	0	12.455	134.147	4,7%	14,0%	14,0%	27,0%
599	Otros trabajadores de los servicios de protección y seguridad	9.822	12.686	3.434	0	9.253	80.379	12,2%	23,7%	23,7%	28,0%
611	Trabajadores cualificados en actividades agrícolas (excepto en huertas, invernaderos, viveros y jardines)	3.622	10.447	5.070	0	5.377	138.992	2,6%	6,5%	6,5%	10,1%
612	Trabajadores cualificados en huertas, invernaderos, viveros y jardines	3.165	18.381	13.257	319	4.805	127.295	2,5%	6,3%	6,5%	16,9%
620	Trabajadores cualificados en actividades ganaderas (incluidas avícolas, apícolas y similares)	2.304	9.966	4.565	0	5.401	110.941	2,1%	6,9%	6,9%	11,1%
630	Trabajadores cualificados en actividades agropecuarias mixtas	0	2.216	668	0	1.548	27.323	0,0%	5,7%	5,7%	8,1%
641	Trabajadores cualificados en actividades forestales y del medio natural						4.229	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
642	Trabajadores cualificados en actividades pesqueras y acuicultura	0	1.716	1.356	0	361	21.326	0,0%	1,7%	1,7%	8,0%
643	Trabajadores cualificados en actividades cinegéticas						185	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
711	Trabajadores en hormigón, encofradores, ferrallistas y afines	0	1.436	1.436	0	0	22.288	0,0%	0,0%	0,0%	6,4%
712	Albañiles, canteros, tronzadores, labrantes y grabadores de piedras	1.533	35.440	16.506	0	18.933	259.786	0,6%	7,9%	7,9%	14,2%
713	Carpinteros (excepto ebanistas y montadores de estructuras metálicas)	3.781	16.458	11.008	0	5.449	110.178	3,4%	8,4%	8,4%	18,4%
719	Otros trabajadores de las obras estructurales de construcción	2.266	25.240	10.567	0	14.673	101.404	2,2%	16,7%	16,7%	27,1%
721	Escayolistas y aplicadores de revestimientos de pasta y mortero	0	1.041	1.041	0	0	13.478	0,0%	0,0%	0,0%	7,7%
722	Fontaneros e instaladores de tuberías	191	12.762	8.856	0	3.906	64.375	0,3%	6,4%	6,4%	20,1%
723	Pintores, empapeladores y afines	0	18.494	10.317	0	8.178	104.516	0,0%	7,8%	7,8%	17,7%
724	Soladores, colocadores de parquet y afines	0	2.756	1.641	0	1.115	23.417	0,0%	4,8%	4,8%	11,8%
725	Mecánicos-instaladores de refrigeración y climatización	0	15.124	7.263	1.139	6.722	34.969	0,0%	19,2%	22,5%	43,2%
729	Otros trabajadores de acabado en la construcción, instalaciones (excepto electricistas) y afines	278	5.745	3.465	0	2.280	28.118	1,0%	9,1%	9,1%	21,4%
731	Moldeadores, soldadores, chapistas, montadores de estructuras metálicas y trabajadores afines	1.714	49.144	29.947	0	19.197	175.783	1,0%	11,9%	11,9%	28,9%
732	Herreros y trabajadores de la fabricación de herramientas y afines	551	43.170	19.722	0	23.448	102.764	0,5%	23,4%	23,4%	42,5%
740	Mecánicos y ajustadores de maquinaria	2.634	137.595	49.356	0	88.239	297.206	0,9%	30,6%	30,6%	47,2%
751	Electricistas de la construcción y afines	258	71.166	36.441	1.264	33.462	128.902	0,2%	26,2%	27,1%	55,4%
752	Otros instaladores y reparadores de equipos eléctricos	2.138	71.596	34.564	0	37.032	104.503	2,0%	37,5%	37,5%	70,6%

Fuentes: Afi, INE (microdatos EPA)



Tabla 17. Ocupados por ocupación que han completado estudios relacionados con las matemáticas según nivel de los mismos (personas y % total), 4/4

Clasificación de las ocupaciones según CNO-11 (3 dígitos)		Ocupados según nivel de formación (personas)						Determinación de ocupaciones matemáticas según nivel educativo completado (acum.):			
		Alto	Medio				Total ocupados	Alto	Alto + FP superior	Alto + FP superior + FP medio	Alto + FP superior + FP medio + ESO
			Total	ESO	FP medio	FP superior					
Código	Descripción	Personas						% total			
753	Instaladores y reparadores de equipos electrónicos y de telecomunicaciones	4.252	49.104	18.527	306	30.271	92.819	4,6%	37,2%	37,5%	57,5%
761	Mecánicos de precisión en metales, ceramistas, vidrieros y artesanos	720	6.205	2.616	0	3.590	39.425	1,8%	10,9%	10,9%	17,6%
762	Oficiales y operarios de las artes gráficas	550	9.544	4.891	0	4.652	39.946	1,4%	13,0%	13,0%	25,3%
770	Trabajadores de la industria de la alimentación, bebidas y tabaco	4.478	30.314	10.449	0	19.865	215.708	2,1%	11,3%	11,3%	16,1%
781	Trabajadores que tratan la madera y afines	0	1.775	523	0	1.251	11.212	0,0%	11,2%	11,2%	15,8%
782	Ebanistas y trabajadores afines	423	2.395	2.395	0	0	25.691	1,6%	1,6%	1,6%	11,0%
783	Trabajadores del textil, confección, piel, cuero y calzado	2.148	6.031	4.506	0	1.525	52.692	4,1%	7,0%	7,0%	15,5%
789	Pegadores, buceadores, probadores de productos y otros operarios y artesanos diversos	0	1.583	410	0	1.173	9.535	0,0%	12,3%	12,3%	16,6%
811	Operadores en instalaciones de la extracción y explotación de minerales	0	2.760	1.259	0	1.501	13.349	0,0%	11,2%	11,2%	20,7%
812	Operadores en instalaciones para el tratamiento de metales	955	16.776	7.386	0	9.390	60.026	1,6%	17,2%	17,2%	29,5%
813	Operadores de instalaciones y máquinas de productos químicos, farmacéuticos y materiales fotosensibles	3.724	11.203	5.771	0	5.432	34.519	10,8%	26,5%	26,5%	43,2%
814	Operadores en instalaciones para el tratamiento y transformación de la madera, la fabricación de papel, productos de papel y caucho o materias plásticas							0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
815	Operadores de máquinas para fabricar productos textiles y artículos de piel y de cuero	0	2.550	1.746	0	803	41.674	0,0%	1,9%	1,9%	6,1%
816	Operadores de máquinas para elaborar productos alimenticios, bebidas y tabaco	0	9.074	4.788	0	4.286	40.839	0,0%	10,5%	10,5%	22,2%
817	Operadores de máquinas de lavandería y tintorería	0	3.894	3.231	0	663	33.575	0,0%	2,0%	2,0%	11,6%
819	Otros operadores de instalaciones y maquinaria fijas	708	19.061	9.860	0	9.201	72.713	1,0%	13,6%	13,6%	27,2%
820	Montadores y ensambladores en fábricas	2.626	26.410	11.910	0	14.501	101.135	2,6%	16,9%	16,9%	28,7%
831	Maquinistas de locomotoras y afines	414	3.401	652	0	2.748	11.051	3,7%	28,6%	28,6%	34,5%
832	Operadores de maquinaria agrícola y forestal móvil	0	3.558	1.105	0	2.453	16.188	0,0%	15,2%	15,2%	22,0%
833	Operadores de otras máquinas móviles	2.073	25.404	16.452	0	8.951	154.705	1,3%	7,1%	7,1%	17,8%
834	Marineros de puente, marineros de máquinas y afines						9.073	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
841	Conductores de automóviles, taxis y furgonetas	1.345	56.602	33.293	0	23.309	256.969	0,5%	9,6%	9,6%	22,6%
842	Conductores de autobuses y tranvías	880	16.923	9.043	0	7.881	71.110	1,2%	12,3%	12,3%	25,0%
843	Conductores de camiones	2.034	56.949	35.843	0	21.107	321.606	0,6%	7,2%	7,2%	18,3%
844	Conductores de motocicletas y ciclomotores	288	2.814	2.814	0	0	21.772	1,3%	1,3%	1,3%	14,2%
910	Empleados domésticos	14.747	32.931	20.453	0	12.478	427.391	3,5%	6,4%	6,4%	11,2%
921	Personal de limpieza de oficinas, hoteles y otros establecimientos similares	5.151	65.533	43.075	0	22.458	653.196	0,8%	4,2%	4,2%	10,8%
922	Limpiadores de vehículos, ventanas y personal de limpieza a mano	725	7.614	3.965	0	3.649	43.068	1,7%	10,2%	10,2%	19,4%
931	Ayudantes de cocina	3.813	9.891	8.271	0	1.620	145.602	2,6%	3,7%	3,7%	9,4%
932	Preparadores de comidas rápidas	0	1.359	0	0	1.359	8.283	0,0%	16,4%	16,4%	16,4%
941	Vendedores callejeros	0	659	659	0	0	4.501	0,0%	0,0%	0,0%	14,7%
942	Repartidores de publicidad, limpiabotas y otros trabajadores de oficios callejeros						2.468	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
943	Ordenanzas, mozos de equipaje, repartidores a pie y afines	3.425	7.639	3.963	0	3.676	39.146	8,7%	18,1%	18,1%	28,3%
944	Recogedores de residuos, clasificadores de desechos, barrenderos y afines	0	16.188	9.930	0	6.257	99.395	0,0%	6,3%	6,3%	16,3%
949	Otras ocupaciones elementales	1.413	7.715	3.924	0	3.790	29.206	4,8%	17,8%	17,8%	31,3%
951	Peones agrícolas	2.040	21.971	17.658	0	4.313	332.800	0,6%	1,9%	1,9%	7,2%
952	Peones ganaderos	256	2.431	1.518	0	914	30.076	0,9%	3,9%	3,9%	8,9%
953	Peones agropecuarios	0	160	0	0	160	1.296	0,0%	12,4%	12,4%	12,4%
954	Peones de la pesca, la acuicultura, forestales y de la caza	0	1.860	965	0	896	11.109	0,0%	8,1%	8,1%	16,7%
960	Peones de la construcción y de la minería	1.122	13.141	9.174	0	3.967	113.925	1,0%	4,5%	4,5%	12,5%
970	Peones de las industrias manufactureras	3.289	28.566	16.760	0	11.806	201.285	1,6%	7,5%	7,5%	15,8%
981	Peones del transporte, descargadores y afines	4.905	28.078	19.035	0	9.043	193.473	2,5%	7,2%	7,2%	17,0%
982	Reponedores	1.159	13.256	6.454	0	6.802	54.693	2,1%	14,6%	14,6%	26,4%
Total		2.865.522	3.200.279	1.405.715	7.668	1.786.896	17.850.492				

Fuentes: Afi, INE (microdatos EPA)



7.4. ENFOQUE DE PRODUCTOS

Incorporar el enfoque de productos al análisis persigue mejorar la aproximación al peso de las matemáticas en el VAB y el empleo total desde el enfoque de ocupaciones con intensidad matemática.

El lenguaje matemático se encuentra presente en una parte relevante del *stock* de capital físico, y en una buena parte de las actividades industriales y en servicios de alta intensidad tecnológica –como los servicios de telecomunicaciones– es en gran medida responsable del valor del *output* o producto final. Por ejemplo, una plataforma de intermediación en servicios de transporte utiliza algoritmos para organizar eficientemente demandas de usuarios y ofertas de servicio. Las rentas de los trabajadores sin formación matemática de las empresas intensivas en capital tecnológico quedarían ocultas bajo el enfoque antes descrito de ocupaciones. Sin embargo, bajo el enfoque de productos finales es posible complementar esta infravaloración o limitación natural. La aplicación de esta metodología de contraste, sigue las siguientes fases:

1. Identificación de sectores de alta intensidad tecnológica y asignación del peso o intensidad matemática del producto:

El primer paso es aplicar una serie de criterios de selección. En particular, dos:

- i) Indicadores sectoriales: Productividad, participación del Excedente Bruto de Explotación en el VAB total de la rama e intensidad innovadora en tecnología.
- ii) Literatura relevante y entrevistas a expertos con dedicación a la transferencia matemática.

Las fuentes estadísticas utilizadas para esta primera labor de identificación son las siguientes:

- Estadística de I+D en las empresas, elaborada por el INE.
- Agregados por rama de actividad de la Contabilidad Nacional, proporcionados por el INE.
- Encuestas de intensidad matemática de productos a expertos.
- Intensidad matemática de productos en la economía australiana.

2. Comparativa exhaustiva a nivel de rama productiva de los resultados del enfoque de ocupaciones (EO) y el de productos (EP).

3. Composición del vector de impacto directo integrado EO y EP. 7.5.

7.5. IMPACTO INDIRECTO E INDUCIDO

La metodología implementada para estimar el impacto indirecto e inducido en empleo y VAB de la investigación matemática y de la transferencia de tecnología matemática en la economía española es la desarrollada por el economista W. Leontieff²¹ y que cuenta con un uso muy extendido en el análisis sectorial, gracias a su sencillez y a la valiosa información que suministra dado el nivel de desagregación por ramas de actividad con el que permite trabajar.

La idea esencial en la que se basa esta metodología es que cada rama productiva está ligada a las restantes a través de las relaciones de suministro intermedio de bienes y servicios que tienen por objetivo final abas-

²¹ Economista americano de origen ruso, fue galardonado en 1973 con el premio Nobel de Economía por «El desarrollo del método input-output y su aplicación a los más importantes problemas económicos». Su análisis supuso la introducción del álgebra matricial al tratamiento de los problemas del equilibrio general.

tecer la demanda final de los hogares domésticos y extranjeros y otros agentes de la economía (las administraciones públicas, por ejemplo, u otras empresas que demandan bienes de inversión). Esta ineludible vinculación entre todas las actividades productivas de la economía impone que unos sectores determinados sean decisivos a la hora de impulsar el proceso productivo o, al contrario, retardarlo. Ello debido al grado de sofisticación que incorpora su tecnología, la innovación que dichos sectores sean capaces de desarrollar o la naturaleza de los bienes y servicios que producen.

Las *Tablas Input-Output* (en ocasiones se suele referir a las mismas como TIO) son el elemento de partida para la obtención de las medidas de impacto, y se definen como el instrumento estadístico-contable, con amplia desagregación sectorial, que recoge los flujos de operaciones de producción y distribución de un determinado país o región en un periodo de tiempo determinado entre dichos sectores clientes-suministradores, así como una desagregación sectorial de la demanda final y de los inputs primarios (trabajo y capital) del mismo. Su finalidad es realizar una descripción sistemática de la economía, sus componentes sectoriales, funcionales e institucionales y sus relaciones con otras economías. En España, es el Instituto Nacional de Estadística (INE) el organismo encargado de proveer esta información.

Desde una perspectiva funcional, las TIO analizan la actividad económica de los sectores productivos o ramas de actividad agregadas más relevantes de la economía (normalmente entre 50 y 100 grandes grupos de actividades productivas), centrándose en

el proceso de compras y ventas intersectoriales y en la satisfacción de la demanda final, además de la coherencia entre producción total (equivalente a la facturación de las unidades productivas), rentas (o su equivalente, el Valor Añadido Bruto) y empleo.

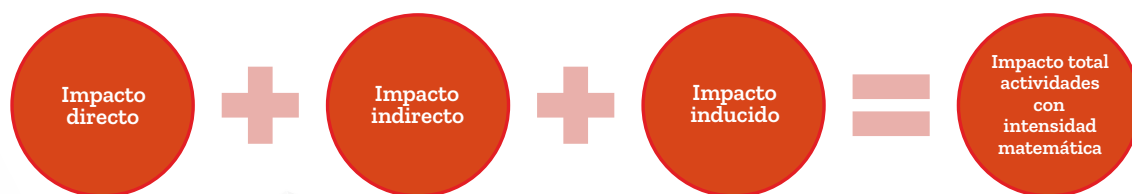
El diagrama 8 resume la relación de efectos directos, indirectos e inducidos que, sumados, representan el impacto total de las actividades con intensidad matemática.

Los **efectos directos** son los que producen las actividades intensivas en matemáticas cuando éstas atienden la demanda final que les llega del conjunto de la economía, reciben un shock o perturbación de demanda, experimentan los efectos de una política económica o simplemente atraviesan por un cambio estructural.

Los **efectos indirectos** son los que se dan en todos los demás sectores como consecuencia de los consumos intermedios que realizan las actividades intensivas en matemáticas que nos interesan estudiar.

Los **efectos inducidos** se producen como consecuencia del giro de las rentas generadas por los anteriores efectos en el conjunto de la economía. Si, como consecuencia de la actividad de las actividades con intensidad matemática, solo una serie de sectores suministradores muy vinculados a él resultarán estimulados o afectados por los efectos indirectos, los efectos inducidos, por el contrario, afectan a todos los sectores de la economía en función de cómo se distribuyen las rentas generadas por los anteriores efectos en las diferentes partidas de demanda final.

Diagrama 8. Metodología de impacto indirecto e inducido de Leontieff



Fuente: Afi

7. 6. ESTIMACIÓN DE IMPACTO CON METODOLOGÍA DE DATOS DE PANEL

Para el análisis cuantitativo se ha utilizado una base de datos con estructura de panel, compuesta por 66 países durante el periodo 2013-2016. Las variables empleadas en la estimación econométrica aparecen en la tabla 18. Cada uno de los tres indicadores (estudiantes STEM, publicaciones STEM, resultados PISA) se ha normalizado de la siguiente manera: para cada uno de los años analizados (2013, 2014, 2015 y 2016) se selecciona el país que tenga el valor más alto, otorgándole 1 al valor para ese país. Para los demás países se calcula la

distancia respecto al valor máximo. En otras palabras, el valor del indicador para cada país está reflejando la distancia de ese país respecto al país líder. Cada indicador toma valores de 0 a 1. El índice de capital humano matemático es la suma de cada uno de los tres indicadores, y toma valores de 0 a 3.

A continuación, se ha procedido a estimar la siguiente ecuación, a través de un modelo Pooled OLS, donde X representa sucesivamente el índice de capital humano matemático, los estudiantes en ramas STEM, las publicaciones académicas en ramas STEM y la nota en el apartado de matemáticas en el examen PISA; i representa al país, t al año y ε_{it} el término de error.

$$\ln(\text{PIB por ocupado})_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln(X)_{it} + \beta_2 \ln(\text{Stock de capital por ocupado})_{it} + \beta_3 \text{Regiones} + \beta_4 \text{Año} + \varepsilon_{it}$$

β_0 = constante (PIB por ocupado medio estimado cuando el resto de variables toman valor 0)

β_1 = cambio medio estimado en el PIB por ocupado tras un cambio marginal en la variable X, ceteris paribus.

β_2 = cambio medio estimado en el PIB por ocupado tras un cambio marginal en el Stock de capital por ocupado, ceteris paribus.

β_3 = diferencia media estimada en el PIB por ocupado entre la región "Europa Mediterráneos" y el resto de Regiones, ceteris paribus.

β_4 = diferencia media estimada en el PIB por ocupado entre el año 2013 y el resto de Años, ceteris paribus.

Tabla 18. Descripción de las variables empleadas en el análisis econométrico

Variable	Medición	Fuente
Estudiantes STEM	Número de estudiantes en ramas STEM, sobre el total de la población	UNESCO
Publicaciones STEM	Número de publicaciones académicas en ramas STEM, sobre el total de la población	SCIMAGO
Resultados PISA	Nota en el apartado de matemáticas en el examen PISA	OCDE
PIB por ocupado	En dólares constantes, PPA	BANCO MUNDIAL
Stock de capital por ocupado	En dólares constantes	BANCO MUNDIAL

Fuente: Afi

PÁGINA 67





8. EXPERTOS CONSULTADOS

- **Pedro Álvarez Esteban**
Universidad de Valladolid
- **Alfredo Bermúdez de Castro**
Universidad de Santiago de Compostela
- **Emilio Carrizosa**
Universidad de Sevilla
- **Bartomeu Coll Vicens**
Universidad de las Islas Baleares
- **Pedro José Fernández de Córdoba Castellá**
Universidad Politécnica de Valencia
- **Luca Gerardo-Giorda**
Basque Center for Applied Mathematics
- **Wenceslao González Manteiga**
Universidad de Santiago de Compostela
- **Mikel Lezaun**
Universidad del País Vasco
- **Carlos Parés**
Universidad de Málaga
- **Ángel Manuel Ramos del Olmo**
Universidad Complutense de Madrid
- **M^a Mar Rueda García**
Universidad de Granada
- **José Manuel Vega de Prada**
Universidad Politécnica de Madrid
- **Santiago Carrillo**
Universidad Autónoma de Madrid
- **Julián Flórez Esnal**
Vicomtech
- **Íñigo Arizaga Arcelus**
ICT Tecnalia
- **Antonio Coronel Toro**
Chenova
- **Julia Sánchez**
Addalia Technology
- **Esther Sardón Pérez**
GMW
- **Peregrina Quintela**
Universidad de Santiago de Compostela



9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aghion, P. Jones, B.F. y Jones, C. (2017): *Artificial Intelligence and Economic Growth*, NBER.
- Australian Government, Office of the Chief Scientist (2016): *The importance of advanced physical, mathematical and biological sciences to the Australian economy*.
- Bond, P. (2018): *The era of mathematics. Engineering and Physical Sciences*. Research Council and the Knowledge Transfer Network.
- Cañada, C. y Girón, F. (2012): *Las cuentas del español*. Ariel. Colección Fundación Telefónica.
- Centre for technology in learning (2009): *Some economic consequences of improving mathematics performance*. SRI International.
- Committee on Physical, Mathematical and Engineering Sciences (1992): *Grand Challenges, High performance Computing and Communication. The FY 1992 US Research and Development Program*.
- Concepción González (2016): *Matemáticas como recurso para economía*.
- Deloitte (2012): *Measuring the economic benefits of mathematical science research in the UK*.
- Deloitte (2014): *Mathematical Sciences and their value for the Dutch Economy*.
- Durán, A.J., Ferreirós, J. (2001): *El valor de las matemáticas*. Universidad de Sevilla.
- Delgado, Alonso y Jiménez (2012): *Valor económico del español*. Fundación Telefónica.
- EU Maths in (2018): *Modelling, Simulation & Optimization in a Data rich Environment. A window of opportunity to boost innovations in Europe*.
- European Science Foundation (2011): *Mathematics and Industry Success Stories*.
- Macsi (2014): *Mathematics: Key to the European Knowledge-based Economy. A roadmap for mathematics in European Industry*.
- Henahan, S. (2002): *Art Prehistory*. Science Updates.
- Heath, T.L. (1981): *A History of Greek Mathematics*.
- Kline, M. (1992): *El pensamiento matemático de la Antigüedad a nuestros días*.
- Red Española Matemática-Industria (2012): *Report on the status of mathematical technology transfer to the productive sector in Spain. A zoom on their situation in Galize*.
- Society for Industrial and Applied Economics (2012): *Mathematics in Industry*.
- OCDE (2008): *Global Science Forum. Report on Mathematics in Industry*.
- Woodroe, D. (2003): *Mathematics, Mathematics Education and Economic conditions*. Second International Handbook on Mathematical Education.



10. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Clasificación Nacional de Educación (CNED-14). La CNED-2014 proporciona un sistema de clasificación de programas en niveles educativos y de niveles de formación alcanzados. Esta doble clasificación tiene por único objeto que el tratamiento estadístico de la información sobre educación y formación se realice de manera uniforme, posibilitando el análisis y la comparación de resultados entre diversas operaciones estadísticas, y entre diferentes países gracias a su compatibilidad con la CINE-2011 (Clasificación Internacional Normalizada de la Educación).

Clasificación Nacional de Ocupaciones (CNO-2011). La CNO-11 es un sistema de codificación que tiene por objeto el tratamiento de la información sobre ocupaciones de manera uniforme a efectos estadísticos. En el trabajo se emplea el detalle a tres dígitos, lo que equivale a 170 categorías diferentes.

Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE-2009). La CNAE-2009 es un sistema de clasificación de las actividades económicas que puede ser utilizado para favorecer la implementación de estadísticas nacionales que puedan ser diferenciadas de acuerdo con las actividades establecidas y clasificar unidades estadísticas y entidades según la actividad económica ejercida. En el trabajo se emplea el detalle a tres dígitos, lo que equivale a 272 categorías diferentes.

Encuesta de Población Activa (EPA). La EPA es una investigación continua y de periodicidad trimestral dirigida a las familias que el INE viene realizando desde 1964. Su finalidad principal es obtener datos de la población en relación con el mercado de trabajo: ocupados, activos, parados e inactivos. La EPA se realiza sobre una muestra de 65.000 familias al trimestre

o, lo que es lo mismo, unas 200.000 personas. En el trabajo se emplean los microdatos correspondientes a 2016 (último dato disponible con el detalle estadístico requerido para el desarrollo del trabajo).

Habilidades STEM. STEM es el acrónimo en inglés de los términos Science, Technology, Engineering y Mathematics, utilizado para designar las disciplinas académicas mencionadas. Dicho término fue acuñado por la National Science Foundation (NSF) en los años 90.

Impacto directo. Estimación de la repercusión económica que tiene una determinada rama de actividad o empresa en términos de Producto Interior Bruto (PIB) y empleo.

Impacto indirecto. Estimación de la repercusión en VAB y empleo que se dan en los demás sectores económicos como consecuencia de las compras de suministros de bienes y servicios (gastos) e inversiones que requiere la rama de actividad o empresa en particular para realizar su actividad. Representa el efecto arrastre sobre la cadena de proveedores.

Impacto inducido. Estimación de la repercusión económica en VAB y empleo que se producen como consecuencia del giro de las rentas (salarios y excedentes empresariales) generadas por los anteriores efectos en el conjunto de la economía, en función de cómo se distribuyen estas rentas en las diferentes partidas de la demanda final.

Investigación y Transferencia Matemáticas (ITM). Acrónimo empleado en el presente trabajo para definir la actividad de investigación y transferencia de la tecnología matemática a la estructura económica.



Ocupados equivalentes a jornada completa (EJC). Los puestos de trabajo equivalentes a tiempo o jornada completa (EJC) se obtienen como el total de horas trabajadas dividido por la media anual de las horas trabajadas en puestos de trabajo a tiempo completo en el territorio económico (generalmente, 40 horas a la semana). Es una medida empleada habitualmente en la Contabilidad Nacional (INE) y difiere de la métrica empleada en la Encuesta de Población Activa (EPA).

PIB. Acrónimo que significa Producto Interior Bruto. Es la métrica comúnmente empleada para cuantificar la renta generada por un país a lo largo de un periodo determinado (habitualmente, un año).

PIB per cápita. El PIB per cápita, ingreso per cápita o renta per cápita, es un indicador económico que mide la relación existente entre el nivel de renta de un país y su población. Para ello, se divide el Producto Interior Bruto (PIB) de dicho territorio entre el número de habitantes.

Pruebas PISA. Informe del Programa Internacional para la Evaluación de Estudiantes (Informe PISA) es un estudio llevado a cabo por la OCDE a nivel mundial que mide el rendimiento académico de los alumnos en matemáticas, ciencia y lectura. Su objetivo es proporcionar datos comparables que posibiliten a los países mejorar sus políticas de educación y sus resultados.

Sector del nivel de estudios y/o disciplina. Códigos válidos de sectores de estudio según la Clasificación Nacional de Educación (CNEE-2014) es una clasificación de disciplinas académicas de formación, independientemente del nivel de las mismas (medio, universitario o superior).

Tabla *Input-Output* (TIO-2010). La Tabla *Input-Output* es una representación sistemática de la actividad económica de un país por la que se desgana la producción nacional entre los sectores que la han originado y los que la han absorbido. Esta técnica fue desarrollada por Leontieff, que obtuvo el premio Nobel de Economía en 1973.

Tabla de origen. La tabla de origen del marco *input-output* recoge la producción de bienes y servicios, según producto y tipo de proveedor, de las distintas ramas de actividad y las importaciones de los mismos.

Tabla de destino. La tabla de destino del marco *input-output* recoge el empleo de los bienes y servicios, según producto y tipo de empleo (consumos intermedios por rama, consumo final, Formación Bruta de Capital y exportaciones). Además, recoge los componentes del Producto Interior Bruto (PIB).

TSIO-10. La Clasificación de la Tabla Simétrica *Input-Output* hace referencia a las diferentes tipologías de ramas de actividad para las que se analizan las ventas y compras cruzadas que componen la Tabla *Input-Output*. En el trabajo se emplean 63 categorías diferentes.

Valor Añadido Bruto (VAB). El Valor Añadido Bruto (VAB) es la macromagnitud económica que mide el valor añadido generado por el conjunto de productores de un área económica, recogiendo los valores que se agregan a los bienes y servicios en las distintas etapas del proceso productivo.



11. RELACIÓN DE FIGURAS

Tablas

—	<i>Tabla 1.</i> Ocupados totales y EJC con intensidad matemática según nivel educativo completado (personas y % total), 2016.....	25
—	<i>Tabla 2.</i> Estimación de impacto directo de las actividades intensivas en matemáticas sobre el empleo en España según nivel educativo completado por el trabajador (personas equivalentes a jornada completa y % total ocupados), 2016.....	26
—	<i>Tabla 3.</i> Estimación de impacto directo de las actividades intensivas en matemáticas sobre el VAB en España según nivel educativo completado por el trabajador (millones de euros y % total), 2016	27
—	<i>Tabla 4.</i> Estimación de impacto directo de las actividades intensivas en matemáticas sobre el empleo en España según nivel educativo completado por el trabajador (personas equivalentes a jornada completa y % total ocupados), 2016.....	28
—	<i>Tabla 5.</i> Estimación de impacto directo de las actividades intensivas en matemáticas sobre el VAB en España según nivel educativo completado por el trabajador (millones de euros y % total VAB), 2016	28
—	<i>Tabla 6.</i> Estimación de impacto directo de las actividades intensivas en matemáticas sobre la recaudación fiscal en España según nivel educativo completado por el trabajador (millones de euros, % total), 2016	30
—	<i>Tabla 7.</i> Estimación de impacto de las actividades intensivas en matemáticas sobre el empleo en Reino Unido, Francia, Holanda y España (millones de personas equivalentes a jornada completa y % total ocupados).....	34
—	<i>Tabla 8.</i> Estimación de impacto de las actividades intensivas en matemáticas sobre el VAB en Reino Unido, Francia, Holanda y España (miles de millones de euros, % total)	35
—	<i>Tabla 9.</i> Estimación de impacto directo de las actividades intensivas en matemáticas en España asignando la misma proporción de tiempo que la de los estudios de Reino Unido, Francia y Holanda.....	35
—	<i>Tabla 10.</i> Relación entre el índice de capital humano y sus componentes con el PIB por ocupado. Estimación MCO, 2013-2016.....	44
—	<i>Tabla 11.</i> Relación de ocupaciones según CNO-11 (3 dígitos) con intensidad matemática.....	55
—	<i>Tabla 12.</i> Ocupados por ocupación con intensidad matemática en Reino Unido (personas y % total), 1/2.....	58
—	<i>Tabla 13.</i> Ocupados por ocupación con intensidad matemática en Reino Unido (personas y % total), 2/2.....	59
—	<i>Tabla 14.</i> Ocupados por ocupación que han completado estudios relacionados con las matemáticas según nivel de los mismos (personas y % total), 1/4	61
—	<i>Tabla 15.</i> Ocupados por ocupación que han completado estudios relacionados con las matemáticas según nivel de los mismos (personas y % total), 2/4	62
—	<i>Tabla 16.</i> Ocupados por ocupación que han completado estudios relacionados con las matemáticas según nivel de los mismos (personas y % total), 3/4	63
—	<i>Tabla 17.</i> Ocupados por ocupación que han completado estudios relacionados con las matemáticas según nivel de los mismos (personas y % total), 4/4	64
—	<i>Tabla 18.</i> Descripción de las variables empleadas en el análisis econométrico.....	67



Diagramas

—	<i>Diagrama 1.</i> Características de bienes privados y públicos.....	19
—	<i>Diagrama 2.</i> Características de las matemáticas como bien público.....	20
—	<i>Diagrama 3.</i> Algunos vínculos de las ciencias matemáticas con otras disciplinas académicas y sectores económicos	22
—	<i>Diagrama 4.</i> Metodología propuesta para estimar el peso de la ITM en la economía española.....	24
—	<i>Diagrama 5.</i> Relación de largo plazo entre la investigación matemática y el bienestar	42
—	<i>Diagrama 6.</i> Transferencia de la ciencia matemática y aplicación a sectores productivos.....	46
—	<i>Diagrama 7.</i> Metodología empleada para estimar el peso de la ITM en la economía española a través del enfoque de las ocupaciones	52
—	<i>Diagrama 8.</i> Metodología de impacto indirecto e inducido de Leontieff.....	66

Gráficos

—	<i>Gráfico 1.</i> Ramas de actividad económica ordenadas de mayor a menor impacto directo de las matemáticas, 2016.....	29
—	<i>Gráfico 2.</i> Estimación de impacto directo, indirecto e inducido de las actividades intensivas en matemáticas sobre el empleo en España (% total ocupados) según nivel educativo completado, 2016	31
—	<i>Gráfico 3.</i> Estimación de impacto total de las actividades intensivas en matemáticas sobre el empleo en España (% total ocupados) según nivel educativo completado, 2016	31
—	<i>Gráfico 4.</i> Estimación de impacto directo, indirecto e inducido de las actividades intensivas en matemáticas sobre el VAB en España (% total) según nivel educativo completado, 2016	32
—	<i>Gráfico 5.</i> Estimación de impacto total de las actividades intensivas en matemáticas sobre el VAB en España (% total) según nivel educativo completado, 2016	32
—	<i>Gráfico 6.</i> Clasificación de las ramas productivas de intensidad matemática según su efecto tractor hacia atrás y hacia delante, 2016	33
—	<i>Gráfico 7.</i> Distribución de ocupados según ocupaciones de intensidad matemática en España, UE-15, Reino Unido, Francia y Holanda (% total ocupados), 2015	36
—	<i>Gráfico 8.</i> Crecimiento de los ocupados según ocupaciones de intensidad económica en España, UE-15, Reino Unido, Francia y Holanda (crecimiento medio anual). Previsiones Cedefop 2015-25.....	37
—	<i>Gráfico 9.</i> Descomposición del PIB per cápita de los principales países europeos (miles de euros* y % total población, curvas de Iso-Renta por habitante**), 2016.....	38
—	<i>Gráfico 10.</i> Diferencia de capacidad productiva entre dos economías debido al conocimiento matemático	40
—	<i>Gráfico 11.</i> PIB por ocupado (dólares, PPA) e indicadores asociados a la investigación matemática por países .	43



Analistas Financieros Internacionales
c/ Marqués de Villamejor, 5
28006 Madrid

Teléfono · (+34) 915 200 100
Fax · (+34) 915 200 120
e-mail · afi@afi.es
www.afi.es

Avda. Reina Mercedes, s/n
41012 Sevilla
Edificio Celestino Mutis, 1ª planta
Campus de Reina Mercedes

Teléfono · (+34) 955 420 839
e-mail · acti-imus@uses
institucionales.us.es/remimus

Financiado por la
Agencia Estatal de Investigación

