

Libro electrónico

EVALUACIÓN DE LA POLÍTICA TECNOLÓGICA:

Propensity Score Matching

Delia Margarita Vergara
Joost Heijs
Alex Guerrero
Guillermo Arenas

Delia Margarita Vergara Reyes
Coordinadora



EVALUACIÓN DE LA
POLÍTICA TECNOLÓGICA:
*PROPENSITY SCORE
MATCHING*

Índice



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Dr. Enrique Graue Wiechers
Rector

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas
Secretario General

Dr. Luis Agustín Álvarez Icaza Longoria
Secretario Administrativo

Dra. Guadalupe Valencia García
Coordinadora de Humanidades



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS

Dr. Armando Sánchez Vargas
Director

Dra. Isalia Nava Bolaños
Secretaria Académica

Ing. Patricia Llanas Oliva
Secretaria Técnica

Mtra. Graciela Reynoso Rivas
Jefa del Departamento de Ediciones

EVALUACIÓN DE LA POLÍTICA TECNOLÓGICA: *PROPENSITY SCORE MATCHING*

DELIA MARGARITA VERGARA REYES
coordinadora

DELIA MARGARITA VERGARA
JOOST HEIJS
ALEX JAVIER GUERRERO
GUILLERMO ARENAS DÍAZ
autores



Primera edición digital pdf,

D. R. © UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Ciudad Universitaria, Coyoacán,
04510, Ciudad de México.
Instituto de Investigaciones Económicas
Circuito Mario de la Cueva s/n
Ciudad de la Investigación en Humanidades
04510, Ciudad de México.

www.iiec.unam.mx

ISBN: 978-607-30-5668-7

Proyecto PAPIIT IN302317 "Efectos de la política tecnológica en el comportamiento innovador de las empresas y el empleo en México: una aproximación econométrica".

Edición y producción: Fides Ediciones
Coordinación editorial del IIEC: Graciela Reynoso Rivas

fides.ediciones@gmail.com
www.fidesediciones.com.mx

Prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos de esta obra por cualquier medio o procedimiento, sin autorización escrita o expresa de la UNAM.

Hecho en México.

PRÓLOGO

Mikel Buesa

Catedrático

Universidad Complutense de Madrid

Han transcurrido ya más de dos décadas desde que, con la ayuda de Joost Heijs, me hice cargo de la dirección del Instituto de Análisis Industrial y Financiero de la Universidad Complutense de Madrid (IAIF-UCM). Nuestro trabajo –y digo nuestro porque pronto Joost Heijs me sucedería en el cargo de director– tomó como eje central de la actividad investigadora a la economía de la innovación y, sobre todo, dentro de ella, al estudio de los sistemas regionales de innovación en el ámbito europeo y a la evaluación de las políticas tecnológicas.

Mediante la obtención de ayudas para proyectos y becas, logramos reunir a un elenco de jóvenes investigadores muy capaces que, sin duda, dieron impulso a nuestro instituto. Hemos contado, desde los inicios, con estudiantes de postgrado procedentes de las dos orillas del Atlántico, de América y de Europa; entre ellos, de forma casi continuada, con doctorandos procedentes de México, así como con investigadores de este país, en particular del Instituto de Investigaciones Económicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (IIEc-UNAM), que realizaron estancias entre nosotros, hasta el punto de que, en muchas de las etapas de nuestro periplo, los españoles estábamos en franca minoría. Para la ciencia, es obvio que eso no importa, pues lo que concede la notoriedad no es el lugar donde uno ha nacido, sino el talento que ha logrado desplegar. Ese talento fue mucho, de manera que, hoy, varios de los que trabajaron con nosotros ocupan puestos destacados como profesores en universidades de ambos continentes.

Este libro es, en alguna medida, tributario de la experiencia que acabo de evocar, ya que está elaborado por investigadores o doctorandos procedentes de ambas instituciones. Se trata de una relación de colaboración muy fructífera con una labor muy destacada por parte de la doctora Delia Margarita Vergara Reyes, que se ha ocupado de la coordinación de este volumen en el IIEc de la UNAM.

El libro, centrado en la evaluación de la política tecnológica mexicana, se ha escrito, una vez más, desde las dos orillas atlánticas, dando así testimonio de la relación que nos une y de las amplias posibilidades que tiene la cooperación entre investigadores de distintas nacionalidades cuando no solo se habla un idioma común, sino que se comparte toda una experiencia de trabajo colectivo, de indagación parsimoniosa bien asentada sobre la teoría económica, de discusión racional sobre sus resultados, de gusto por la exposición ordenada y de afán por indagar en territorios poco hoyados por quienes nos han precedido.

Así es, creo yo, el libro que el lector tiene en sus manos: novedoso, bien construido, redactado con rigor, pedagógico y orientado a dar respuestas positivas a los problemas que, en el terreno tecnológico, afligen a nuestra sociedad. En México, lo mismo que en España, aunque no debemos confundir los planos en los que ambos países se ubican, asistimos a la necesidad de impulsar el desarrollo tecnológico interno y extender sobre el tejido productivo el “fuego” de la innovación –permítame el lector que evoque, así, los versos de *Las flores del mal*, en los que Charles Baudelaire describió el deseo de “caer en el abismo, ... al fondo de lo ignoto, para encontrar lo nuevo”–, hasta el punto que nos jugamos en ello nuestro futuro económico. De ahí que la política tecnológica tenga una labor destacada, pues sabemos, desde Kenneth J. Arrow, que el mercado, libre de trabas, no asigna eficientemente los recursos a la creación de conocimientos. Pero que esto sea así no implica que cualquier acción estatal, cualquier diseño de la política, cualquier instrumentación de esta sea válida para tal cometido, pues también hay fallos del gobierno que lastran su actividad. De ahí que la evaluación de las políticas sea imprescindible para corregir errores y mejorar los resultados. Y, sobre todo, para mostrar a los ciudadanos para qué sirven los impuestos que dejan en manos de su gobierno.

De eso va el libro: de la evaluación rigurosa y bien medida de las políticas que ponen en manos de las empresas ayudas financieras para desarrollar la tecnología. En este asunto, ha habido una larga trayectoria de estudios más o menos acertados, pero en tiempos recientes se han desarrollado instrumentos estadísticos que, junto a la disponibilidad de datos

microeconómicos obtenidos en las encuestas sobre innovación, permiten afinar mucho la evaluación. El Propensity Score Matching o método de emparejamiento es indudablemente uno de los más prometedores, sobre todo, por su precisión conceptual y por su capacidad para discriminar entre lo que las empresas hacen por su propio impulso y lo que se debe a la acción gubernamental. El lector encontrará aquí una detallada exposición de los fundamentos de esta técnica de análisis y del modo al que debe ajustarse su aplicación, incidiendo no solo en los aspectos teóricos, sino también en los problemas prácticos que se suelen plantear en la investigación empírica. Y también podrá ver una aplicación del citado método a la evaluación de las ayudas a la innovación empresarial en México, lo que contribuirá a un mejor entendimiento de las fortalezas y debilidades de la política del país en esta materia.

Sin embargo, el libro tiene también otras perspectivas porque sus autores nos hacen ver, antes de entrar en la técnica analítica, cuáles han sido las ideas que, a lo largo del tiempo, hemos utilizado los economistas para comprender el fenómeno de la innovación y para constatar su función crucial en el desarrollo económico, tal como formuló anticipadamente Joseph Alois Schumpeter en su teoría del desenvolvimiento económico, escrita, en 1911, bajo el influjo del pensamiento clásico – y también marxista, pues, no en vano, como apuntó en cierta ocasión su discípulo Paolo Sylos Labini, Schumpeter era, además de un neoclásico, un marxista de derechas –, pero, sobre todo, de la observación del imponente impulso que el desarrollo industrial ulterior a la Guerra civil arrastró a los Estados Unidos hasta la primacía de la economía mundial. Las ideas de Schumpeter aún nos inspiran, aunque no sean las únicas en las que beben las fuentes de nuestra disciplina, tal como se destaca en el libro, pues la economía de la innovación ha experimentado un amplio desarrollo, a lo largo de las últimas siete décadas, de la mano, primero, del enfoque neoclásico y, después, de la teoría evolucionista.

Además de las ideas y enfoques de la economía de la innovación, está la tarea que esta tiene en la determinación de la capacidad competitiva de las empresas y de las naciones dentro de nuestro mundo globalizado. El bienestar de los ciudadanos se asienta, en buena medida, sobre esa capacidad competitiva, como se muestra en un capítulo de gran interés para nuestro propósito. La competitividad, como concepto, no está exenta de controversias e interrogantes, pero no cabe la menor duda que de que los países con mayores niveles de bienestar asientan su presencia en la economía global sobre la base de los avances científicos y tecnológicos a diferencia de los

que solo confían en las inversiones de capital para reproducir modelos productivos estandarizados donde cuenta principalmente el bajo nivel de los salarios y, cuando las cosas van mal, ajustan a la baja el tipo de cambio. Nuestro reto es, precisamente, el del tránsito de un modelo al otro. Y creo que este libro constituye una modesta, pero importante, contribución a tal aspiración.

PREFACIO

Esta obra es el resultado de la investigación “Efectos de la política tecnológica en el comportamiento innovador de las empresas y el empleo en México: una aproximación econométrica”. En virtud de que en México los estudios sobre evaluación son escasos y parciales, ya que normalmente se refieren a algún instrumento concreto, el objetivo de este estudio ha sido evaluar el efecto de la política tecnológica en el esfuerzo innovador, desde un enfoque microeconómico, y experimentar con la aplicación de métodos cuantitativos existentes, en particular el *Propensity Score Matching* (PSM).

Durante la realización de este trabajo, se efectuó una amplia búsqueda de materiales relacionados con el tema de interés, y se lograron conocer y revisar distintos estudios. Frente a las limitaciones encontradas, como el hecho de que los estudios internacionales son de difícil acceso –en ellos se han desarrollado y probado metodologías que, por su fiabilidad, se han convertido en las más utilizadas–, se consideró oportuno elaborar el presente trabajo como libro-manual para futuras investigaciones que, con toda seguridad, contribuirán a la difusión de conocimientos sobre el tema. Además, se ha creado un inventario con las características y resultados de los estudios de evaluación existentes, en los cuales la variable más analizada, con respecto al efecto de las ayudas a las actividades de innovación empresarial, es el gasto en investigación y desarrollo (I+D). Nos sorprendió que para el caso de México no se encontrara ninguno que lo estudiara. Este inventario de 27 estudios está disponible en la página web del IIeC-UNAM [Vergara *et al.* 2019] y se actualizará de forma periódica. Los resultados obtenidos han sido posibles gracias al trabajo realizado por el equipo de investigación, formado

por investigadores de la Universidad Complutense de Madrid y de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Estamos convencidos de que el avance tecnológico transforma continuamente a las sociedades; su utilización en todos los sectores de la actividad económica, social y política es cada vez más apreciable para promover el crecimiento económico, que se espera incida en el aumento del nivel de bienestar de las personas. Para encausar el desarrollo de los países mediante la incorporación de innovaciones tecnológicas, las medidas de política económica, en particular las que fomentan la ciencia, tecnología e innovación (PCTI), toman relevancia en la economía basada en el conocimiento. El avance tecnológico requiere una política proactiva donde el Estado, junto al resto de agentes del sistema de innovación, identifique las oportunidades, tomando en cuenta el conocimiento y capacidades acumuladas en el tiempo para mejorarlas y llegar a la frontera tecnológica. Por ende, se buscan nuevas fuentes de crecimiento basadas en la innovación, por lo que las políticas para generar nuevo conocimiento, su difusión y aplicación ocupan un lugar central en las estrategias para lograrlo.

Debido a su relevancia, se necesita saber cuáles de estas políticas, en particular las que apoyan (ayudan) las actividades de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), son las más convenientes; por esto, es necesario desarrollar o utilizar metodologías que permitan conocer los efectos que estas tienen, y evaluar si realmente las políticas desarrolladas permiten elevar la productividad y competitividad empresarial.

En las últimas dos décadas, se ha observado un cambio radical en la evaluación de las ayudas a la I+D e innovación empresarial. En el pasado, se evaluó el impacto de tales ayudas básicamente a partir de encuestas *ad hoc* y estudios de caso, analizando casi de forma exclusiva el efecto en las empresas beneficiadas. Actualmente, se dispone de información más amplia contenida en las encuestas de innovación, así como de bases de datos robustas de un gran número de países que permiten estimar el impacto de las ayudas con base en modelos econométricos, los cuales aceptan simular métodos experimentales comparando el comportamiento de las empresas con y sin ayudas para la innovación.

La limitación metodológica esencial, respecto a la evaluación de las ayudas a la innovación empresarial, es el problema de sesgo de selección. No se puede comparar, sin más, a las empresas con y sin ayudas porque el impacto medido de forma directa estaría sesgado, ya que las empresas que han obtenido ayudas son, por definición, distintas a las no beneficiadas. Por lo tanto, la diferencia en el gasto en I+D de ambos grupos no reflejaría de

forma simultánea tales desigualdades globales del conjunto con el impacto de las ayudas. Tal sesgo existe, primero, porque las ayudas no están distribuidas de forma aleatoria o al azar. Segundo, aunque teóricamente todas las empresas que realizan innovación podrían acceder a las ayudas, resulta que muchas de ellas no tienen acceso debido al diseño del apoyo o su aplicación, o debido al tipo de instrumento. Además, se puede identificar un grupo de empresas que se autoexcluyen deliberadamente de las ayudas.

La tarea de los investigadores sería aislar el efecto de las ayudas de otros efectos externos; una de las formas estándar sería el método de emparejamiento o el PSM. En este método, se identifica para cada empresa beneficiada una empresa de control equivalente, con base en la probabilidad de participar o *propensity score* (PS, por sus siglas en inglés) en las ayudas. El PS se estima para todas las empresas, receptoras o no de ayudas, lo que permite simular una situación cuasiexperimental, aleatorizando su asignación al grupo de ellas con y sin ayudas, y también deja solucionar así el sesgo de selección. Sin embargo, el PSM cuenta con diversos problemas prácticos, por lo que la idoneidad del grupo de control se debe revisar detenidamente y asegurar el cumplimiento de los supuestos que hay detrás de este método.

Aunque el PSM como método de evaluación se realiza, desde los años de 1980, en un amplio número de campos (como la medicina, las relaciones laborales y la sociología) no es un instrumento utilizado ampliamente por parte de los investigadores que realizan evaluación de políticas públicas para el caso de México. Esto se debe, posiblemente, a la falta de bases de datos con suficientes unidades de análisis para que se permita su utilización, aunque desde la aparición de bases de datos potentes y públicamente accesibles se ha abierto un gran abanico para su aplicación. En el ámbito internacional, se ha utilizado el PSM en la evaluación de las ayudas para el desarrollo tecnológico de las empresas a partir de los primeros años de este siglo XXI y, desde entonces, se ha publicado un amplio número de estudios –se han identificado más de 60– con este método.

Este libro-manual tiene como objetivo explicar cómo debe utilizarse de forma correcta el método PSM y la manera de aplicarlo al campo de las políticas de innovación empresarial. Existen algunos manuales o guías escritos en inglés [Caliendo y Koepeinig, 2008; Heinrich *et al.*, 2010] que explican los pasos a seguir para aplicar el PSM, pero no se ha detectado ningún manual detallado en español que, además, esté enfocado en la evaluación de las ayudas a la innovación empresarial. Por eso, el objetivo principal de este libro es explicar esta metodología que hoy es una de las más aceptadas para ser utilizada en la evaluación del impacto de las políticas que fomentan la I+D

e innovación en las empresas con base en las encuestas de innovación secundarias o bases de datos secundarios similares. Además de ofrecer detalladamente –paso por paso– la aplicación del PSM, se presentan, con una visión crítica de su idoneidad, las restricciones y requisitos de su uso, así como las ventajas respecto a otros tipos de modelos econométricos usados para evaluar el impacto de políticas a nivel microeconómico, por ejemplo, el Método de Variables Instrumentales (VI) o el Modelo de dos etapas de Heckman.

La estructura del libro está compuesta de siete capítulos. Los dos primeros, constituyen una introducción a los que presentan de manera específica la metodología del PSM.

En el capítulo 1 –escrito por Delia Margarita Vergara Reyes y Joost Heijs– se retoman las ideas de los autores históricamente más relevantes (entre otros: Smith, Schumpeter, Solow, Freeman, Nelson y Winter) así como una revisión de la tarea de la innovación en la teoría neoclásica *versus* evolucionista. También se explica la creciente importancia de la innovación para asegurar un alto nivel competitivo respecto a los demás determinantes que influyen sobre el nivel competitivo de un país o una empresa, como la inversión en capital, el nivel de los salarios y la internacionalización. Se incluyen, además de los argumentos teóricos, datos empíricos que confirman la importancia creciente de la innovación para la reactivación de la economía mexicana.

Por otra parte, en el capítulo 2, también en coautoría por Delia Margarita Vergara y Joost Heijs, se parte de la idea (hipótesis) de que en el desarrollo de los países –basado en la incorporación de innovaciones tecnológicas– la PCTI, tiene una función fundamental, principalmente, en la economía basada en el conocimiento. El avance tecnológico requiere una política proactiva donde el Estado, junto al resto de agentes del sistema de innovación, identifique las oportunidades, tomando en cuenta el conocimiento y capacidades acumuladas en el tiempo para mejorarlas y llegar a la frontera tecnológica o, incluso, ampliarla. Se destacan los elementos clave de la política en ciencia, tecnología e innovación, cuyos principales avances teóricos y empíricos se han dado en los países desarrollados (en particular en Europa), y se intuye que los subdesarrollados los han tomado como modelo para diseñar sus instrumentos internos de fomento a la innovación; en este caso, se analiza la evolución de la PCTI en los países pioneros en su construcción y las características generales de su implementación en México.

Los siguientes capítulos tratan los problemas metodológicos y conceptuales que conllevan una buena evaluación y los supuestos en los que se

basan. Por esto, el capítulo 3 –escrito por Joost Heijs y Delia Margarita Vergara Reyes– inicia con una revisión breve de los conceptos teóricos básicos respecto a la evaluación, muchos de ellos necesarios para entender o interpretar cada una de las metodologías aplicadas en este libro. Se explica uno de los conceptos principales de la evaluación de las ayudas –el de adicionalidad– y las distintas formas de medirlo, seguido por un debate sobre sus limitaciones para justificar los programas públicos de apoyo a la innovación, así como la dificultad de medir la adicionalidad en la práctica. En estas secciones –de carácter metodológico– se profundiza, sobre todo, en el problema básico de los evaluadores: cómo se debe modelizar la causalidad de tal forma que la diferencia estimada entre las empresas innovadoras beneficiadas y no beneficiadas se pueda atribuir, sin duda alguna, a las ayudas y no a otras causas (causalidad atribuible a las ayudas).

En el capítulo 4, se introducen, desde una visión conceptual, algunos de los aspectos prácticos que se deben tener en cuenta en el momento de diseñar la evaluación, y se orienta la aplicación correcta de los métodos de emparejamiento, dando los elementos para la elaboración del capítulo 5 (los capítulos 4 y 5 han sido elaborados por Alex J. Guerrero y Joost Heijs), de tal manera que, en este último, se explica en detalle uno de los métodos de evaluación más utilizados en la literatura empírica: los métodos de emparejamiento. El propósito que tienen estos capítulos es, por un lado, explicar los problemas metodológicos y las limitaciones que afrontan los evaluadores y, por otro, que se puedan utilizar como una guía práctica para los investigadores que requieren usar y aplicar correctamente el PSM. En consecuencia, en esta parte, se profundiza en los conceptos y supuestos básicos de los métodos de emparejamiento. Este método se basa en la identificación para cada una de las empresas beneficiadas de un “clon” perfecto que no haya obtenido ayudas. Es decir, para cada empresa beneficiada se identifica una empresa no beneficiada con exactamente las mismas características y la diferencia en el gasto de I+D entre ambos grupos (sin y con ayuda) sería una estimación correcta del impacto de las ayudas. De hecho, en esta parte medular del libro se pretende ofrecer un tipo de manual para aplicar el método PSM, por lo que, en el capítulo 5, se enseña con detalle cómo se debe aplicar este método desde el punto de vista conceptual, así como en la práctica, utilizando el programa Stata. Además, con el ejemplo práctico elaborado y desarrollado, se muestran los distintos pasos de cómo aplicar el método de emparejamiento para estimar el efecto de las políticas públicas, centrando el análisis en la presencia y corrección de errores. Por ello, de forma intencionada, se incluyen en los modelos iniciales algunos

errores o problemas que los investigadores encuentran habitualmente en la práctica. El objetivo es enseñar cómo identificar tales errores y, además, ofrecer un abanico de posibles soluciones para superar los problemas detectados. En su elaboración, se han utilizado los datos de las encuestas de innovación de España. Básicamente porque, en el caso de España, se dispone de un amplio número de observaciones –siendo siempre un aspecto esencial para realizar buenos modelos econométricos– y, además, los datos están disponibles en internet en forma de datos de panel (para más información, véase la página web de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, FECYT: <https://bit.ly/3v4RJhO>). Por esta razón, los datos españoles permiten explicar mucho mejor las opciones, limitaciones y los problemas prácticos que se generan durante la aplicación del método PSM. El acceso a los microdatos de México es más complejo y limitado para el propósito antes señalado.

Después de estos capítulos de “enseñanza”, en el capítulo 6 –elaborado por Delia Margarita Vergara Reyes, Alex J. Guerrero, Guillermo Arenas y Joost Heijs– se parte del supuesto de que la intervención del Estado en el fomento de actividades de innovación debería propiciar un efecto en términos de adicionalidad financiera; es decir, las subvenciones públicas deben generar un gasto en innovación, adicional, en las empresas receptoras de las mismas, ya que tal aumento extraordinario mejoraría las condiciones de crecimiento económico de México y la composición competitiva de sus empresas. De manera introductoria, se estudian algunos indicadores del gasto en I+D en México, así como la exposición de los resultados de los pocos estudios empíricos previos que han evaluado el impacto de estas ayudas. Se explican las características de las fuentes de datos y las variables utilizadas. Para el impacto real de las ayudas en el caso de México, se analizan dos aspectos: primero, el perfil de las empresas que han obtenido ayudas con mayor o menor frecuencia, es decir, se identifican aquellos tipos de empresas que en parte han sido excluidas de las ayudas; segundo, se analiza el impacto de las ayudas en forma de adicionalidad financiera mediante el método PSM. Para comprobar la fiabilidad de nuestros análisis, se contrasta la robustez de los resultados con el modelo de variables instrumentales. Este método simula, de alguna forma, una distribución aleatoria entre las empresas beneficiarias y las que no han sido apoyadas con fondos públicos. Ambos enfoques metodológicos (PSM y VI) simulan, de algún modo, una situación cuasiexperimental para superar el problema de selección y poder comparar de forma adecuada el gasto en I+D o innovación de las empresas con ayudas (empresas beneficiadas) con este gasto en el grupo

de las empresas no apoyadas (grupo de control). En resumen, se obtiene el perfil de las empresas beneficiadas y se realizan los controles de idoneidad del *matching*, para asegurar que el efecto estimado encontrado se debe a las ayudas recibidas.

En el último capítulo, se presentan las conclusiones generales, y reflexiones sobre los principales hallazgos de este estudio.

Esta investigación ha sido realizada gracias al Programa UNAM-PAPIIT IN302317. Asimismo, se extiende un agradecimiento, por el apoyo para esta publicación, al Instituto de Investigaciones Económicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, representado por su director, el doctor Armando Sánchez Vargas, y al Departamento de Ediciones; así como un reconocimiento a los dictaminadores que, con sus sugerencias y comentarios, permitieron enriquecer nuestro trabajo. También se agradece el apoyo técnico-académico de la maestra Graciela Reynoso.

Delia Margarita Vergara
Investigadora titular, IIEc-UNAM

REFERENCIAS

- Caliendo, Marco & Kopeinig, Sabine [2008], “Some practical guidance for the implementation of propensity score matching”, *Journal of Economic Surveys*, 22(1): 31-72.
- Heinrich, Carolyn; Maffioli, Alessandro & Vazquez, Gonzalo [2010], “A primer for applying propensity-score matching”, *Inter-American Development Bank*.
- Vergara Reyes, Delia Margarita, Heijs, Joost, Arenas Díaz Guillermo y Guerrero Picoita Alex Javier [2019], *Efectos de la política tecnológica en el comportamiento innovador y el empleo: análisis de contenido*, México, IIEc–UNAM. Recuperado de: <<https://bit.ly/3vVtSkp>>.

CAPÍTULO 1

ENFOQUES TEÓRICOS DE LA INNOVACIÓN Y LA POLÍTICA TECNOLÓGICA

Delia Margarita Vergara
Joost Heijs

1.1. *Introducción*

La innovación tecnológica ha tenido una función relevante en el crecimiento económico, se le ha considerado como el “motor” de este proceso. En el sistema capitalista es donde se incrementa el desarrollo tecnológico, en el cual el conocimiento es un elemento fundamental; a lo largo de la historia, el hombre siempre ha buscado diversas formas para conseguir satisfacer sus necesidades, conocer racionalmente lo que sucede en su entorno, y esto lo ha llevado a desarrollar la investigación científica, por lo que la acumulación de conocimiento a través del tiempo y su sistematización han tenido como resultado a la ciencia. Asimismo, por medio de la ciencia, se adquieren mayores conocimientos que al combinarse con las técnicas empíricas van sistematizando los métodos de producción que corresponden a un determinado marco sociocultural y económico.

El objetivo de este capítulo es realizar una revisión de las líneas de pensamiento más importantes respecto a la importancia de la innovación para el crecimiento y desarrollo económico: la teoría neoclásica versus evolucionista. Esto se realiza en las primeras secciones; en la segunda parte, se amplía este análisis explicando la creciente importancia de la innovación para asegurar un alto nivel competitivo conforme a los demás determinantes que influyen sobre el nivel competitivo de un país o una empresa, como la inversión en capital, el nivel de los salarios y la internacionalización. Se incluyen, además de los argumentos teóricos, algunos datos empíricos que confirman la importancia creciente de la innovación para la reactivación de la economía mexicana. No cabe duda de que un sistema de innovación potente y competitivo no surge de forma espontánea, sino que requiere una planeación estratégica de largo plazo donde el liderazgo del Estado sea fundamental. Las políticas de ciencia, tecnología e innovación (PCTI) han cumplido una tarea importante en la creación de la riqueza en los países más avanzados.

Este capítulo se estructura así: en la siguiente sección, se relaciona la función de la innovación tecnológica con el crecimiento económico a partir de los argumentos proporcionados por los grandes pensadores de la economía: Adam Smith, Karl Marx y Joseph Alois Schumpeter, y se definen con más detalle los dos enfoques teóricos actuales –la teoría neoclásica y la

teoría evolucionista— y el marco teórico de los sistemas de innovación. En la sección 1.3, se analiza la importancia de la innovación como determinante de la competitividad de acuerdo con los demás aspectos que influyen sobre ella, y en las subsecciones se compara la importancia de la innovación con la de la inversión en capital, el coste salarial y la estrategia basada en la internacionalización. Mientras que, en la última sección, se plantean algunas conclusiones respecto a la situación del nivel competitivo de México y su estrategia para salir de la crisis.

1.2. *Economía de innovación: principales enfoques teóricos*

1.2.1. El cambio tecnológico en el pensamiento de Smith, Marx y Schumpeter

Tal ha sido la relevancia del estudio sobre las causas del crecimiento económico que ha sido analizado por grandes pensadores. Smith, considerado el padre de la economía, en su obra *Investigación de la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones*, publicada en 1776, aseguraba que el trabajo que se lleva a cabo en cada nación es el principio que permite su abastecimiento anual “de todas las cosas necesarias y convenientes para la vida, y que anualmente consume el país. Dicho fondo se integra siempre, o con el producto inmediato del trabajo, o con lo que mediante dicho producto se compra de otras naciones” [Smith, 1997: 3]; además, identificó la división del trabajo como el avance más importante de las facultades productivas del proceso de trabajo, a las aptitudes, destrezas, así como la forma en que se organiza.¹ El hecho de que la producción aumentara con el mismo número de personas, cada una de ellas elaborando una parte del producto, permitió que se lograra una mayor destreza de cada trabajador (especialización), se redujera el tiempo que generalmente se pierde cuando se pasa de una tarea a otra, y por la utilización de un gran número de máquinas que facilitan y abrevian el trabajo capacitando a un obrero para hacer la labor de muchos

¹ Una modificación que actualmente se denominaría una *innovación organizativa*, mientras que la “industrialización”, sería una forma de innovación de proceso. Esta revolución tecnológica ha generado un verdadero cambio de paradigma que no solo ha afectado al sistema productivo, sino a la sociedad en su conjunto, como el proceso de urbanización.

[Smith, 1997]. La identificación del efecto de la introducción de la maquinaria en el proceso de producción para elevar la productividad fue un paso importante para la teoría; con el tiempo, se le llamaría de diferentes formas, por ejemplo, *progreso tecnológico*, y es hasta la década de 1980 cuando se maneja con mayor énfasis el concepto de *innovación*.

Este proceso ha tenido una labor esencial en la transformación de la sociedad a través de la historia. Smith [1997] identificó dos formas por las que se crearon las máquinas en las que se encontraba subdividido el trabajo: 1) por artesanos, quienes al utilizarlas para efectuar una operación sencilla hicieron uso de su imaginación y se enfocaron en buscar nuevos métodos más rápidos y fáciles para realizarla; 2) por medio del ingenio de los fabricantes, que convirtieron la producción de maquinaria en un negocio particular. A estos fabricantes, Smith los llamaba filósofos u hombres de especulación, debido a su capacidad de observación que les permitía adquirir el conocimiento que les daba la posibilidad de combinar o coordinar las propiedades de los objetos más disímiles.

De acuerdo con Marx, en su obra *Contribución a la crítica de la economía política* [1859], “En la producción social de su vida, los hombres entran en determinadas relaciones necesarias e independientes de su voluntad, relaciones de producción, que corresponden a un determinado grado de desarrollo de sus fuerzas productivas materiales” [Marx, 2008: 4], y estas se van transformando en el tiempo, dando origen a otros métodos, técnicas, herramientas, que permiten mejores productos y procesos, por lo que la producción de máquinas es una industria humana. Marx, en su obra *Progreso técnico y desarrollo capitalista*, sostiene:

La naturaleza no construye máquinas, ni locomotoras, ferrocarriles, electric telegraphs, selfacting mules, etc. Son, estos, productos de la industria humana: material natural, transformado en órganos de la voluntad humana sobre la naturaleza o de su actuación en la naturaleza. *Son órganos del cerebro humano creados: por la mano humana*; fuerza objetivada del conocimiento. El desarrollo del capital fixe² revela hasta qué punto el conocimiento

² En su escrito, Marx define: “Capital fixe, o capital que se consume en proceso mismo de producción, es en un sentido riguroso, medio de producción [...] En esa calidad suya de medio de producción su valor de uso puede consistir en el hecho de ser solo condición tecnológica para efectuarse el proceso (los lugares en los que ocurre el proceso de producción), así como en el caso de los edificios, etc.; o en que es una condición inmediata para el operar del verdadero medio de producción como todas las materias instrumentales”. [Marx, 1989: 215].

o “knowledge” social general se ha convertido en *fuerza productiva inmediata* y, por lo tanto, hasta qué punto las condiciones del proceso de la vida social misma han entrado bajo los controles del general intellect remodeladas conforme al mismo. Hasta qué punto las fuerzas productivas sociales son producidas no solo en la forma humana del conocimiento, sino como órganos inmediatos de la práctica social, del proceso vital real. [Marx, 1982: 227-228].

Al mismo tiempo, identifica que la tendencia por la utilización de las máquinas en la producción es el despido continuo de obreros, tanto de empresas mecanizadas como artesanales, pero, por otra:

[...] un reclutamiento constante de los mismos, desde el momento que en un determinado grado de desarrollo de las fuerzas productivas el plusvalor puede aumentar solo a través del incremento de obreros ocupados simultáneamente. Esta atracción y repulsión son características y, en consecuencia, es característica también de la continua oscilación del nivel de vida del obrero [Marx, 1982: 187].

Marx y Engels plantean, en el capítulo uno del *Manifiesto del Partido Comunista* [1848], que la cantidad de trabajo aumenta con el desenvolvimiento del maquinismo y de la división del trabajo, ya sea por la prolongación de la jornada, o por la intensidad del movimiento de las máquinas [Marx y Engels, 2019]. Señalan que el capital (burguesía) existe revolucionando incesantemente los instrumentos de trabajo y, con ello, las relaciones sociales que determinan los distintos modos de producción, en un incesante derrumbamiento de todo el sistema social, hecho que distingue al capitalismo de cualquier otro modo de producción.

Las ideas marxistas han trascendido en el enfoque heterodoxo de la innovación, en particular, el realizado por Schumpeter, quien analizó con profundidad la teoría marxista. Con una visión propia, en su trabajo *Capitalismo, socialismo y democracia*, publicado en 1942, plantea:

[La economía capitalista] está, incesantemente, revolucionada desde dentro por un nuevo espíritu de empresa, es decir, por la introducción de nuevas mercancías o nuevos métodos de producción o nuevas posibilidades comerciales en la estructura industrial, tal como existe en cualquier momento. Todas las estructuras existentes y todas las condiciones de vida económica se hallan siempre en un proceso de transformación, toda situación es derribada

antes de que haya tenido tiempo de desarrollarse plenamente. En la sociedad capitalista el progreso económico significa derrumbamiento [Schumpeter, 1971: 60].

El desenvolvimiento económico se debe a los cambios espontáneos y discontinuos (innovaciones), estos comienzan de acuerdo con su perspectiva, por iniciativa de los productores (capitalistas, empresarios), quienes inducen a los consumidores a necesitar cosas nuevas o diferentes en algunos aspectos a las que existen. Asimismo, el proceso de producción consiste en combinar materiales y fuerzas contemporáneos; considera que el proceso de producción puede ser la elaboración de otras cosas, o las mismas, pero con métodos distintos, es decir, una combinación diferente de materiales y fuerzas.

De acuerdo con Christopher Freeman³ [1994], Marx y Schumpeter, comparten el postulado fundamental de que el capitalismo es un sistema cuya evolución está asociada a las innovaciones técnicas y organizativas. En años recientes, se ha incrementado la aceptación de que las innovaciones son el motor del crecimiento económico; por ejemplo, el Banco Mundial [2010] expuso que las innovaciones han sido fundamentales en la historia del hombre, permitiendo el aumento de la población, el ingreso per cápita y el bienestar; por lo tanto, reconoce que la innovación se ha convertido en un factor transcendental como fuente de riqueza, empleo y bienestar social.

1.2.2. La economía del cambio tecnológico desde un enfoque neoclásico

En esta subsección se realiza una breve descripción sobre la forma en que las dos grandes escuelas de pensamiento económico –el neoclásico y la evolucionista– incluyen la función de la innovación y, especialmente, la del Estado en sus teorías. Las aportaciones teóricas relacionadas con crecimiento económico y sus determinantes han considerado, de diferente forma, la participación de la tecnología en este proceso. El enfoque neoclásico (subjetivo) y el evolutivo (objetivo) también son conocidos como ortodoxo y heterodoxo, respectivamente. En el primero, la tecnología está dada; en el segundo, se consideran los elementos que permiten su desarrollo,

³ Destacado exponente de la teoría evolutiva o neoschumpeteriana.

dentro de un proceso evolutivo. Es decir, la teoría neoclásica utiliza la lógica formal para estudiar y analizar los hechos económicos en el corto plazo que ocurren sin variación, es decir, estáticos; por el contrario, para el enfoque evolutivo, la sociedad y la economía están en constante cambio, realizan un análisis dinámico.

Las concepciones teóricas neoclásicas se derivan del enunciado de utilidad expuesto por los clásicos; los economistas neoclásicos surgieron en la segunda mitad del siglo XIX, también se les llama teóricos de la “utilidad marginal”. Desde este enfoque, el estudio de la economía se realiza con una visión simplificada de la realidad fundamentada en una serie de supuestos que excluyen algunos aspectos para analizar otros, y sus modelos tienen una estructura de equilibrio económico general, en donde se establecen relaciones de interdependencia expresadas matemáticamente. Asimismo, los modelos propuestos por los neoclásicos son distintos en cuanto a “las características de la función de producción, en la capacidad de generar progreso tecnológico en si existe un gobierno que pone impuestos y se gasta la recaudación, o si se considera un mercado internacional de capitales en el que prestar y pedir prestado” [Sala-I-Martin, 2000: 10].

El enfoque neoclásico sobre el Estado plantea que este debe asegurarse del buen funcionamiento de la libre competencia; garantizar los derechos de propiedad de los individuos; administrar la justicia; sostener aquellas instituciones y obras públicas útiles a la sociedad, y mantener el orden de los intercambios. Queda fuera de su participación determinar lo que se debe o no producir, ya que para los neoclásicos la producción de mercancías debe responder a la demanda del mercado, y los consumidores deben estar dispuestos a pagar por ellas. Tampoco necesita, de acuerdo con este enfoque, verificar si una empresa produce con eficiencia, debido a que suponen que por medio de la competencia se quedan las empresas más rentables, eliminando a los productores menos capaces; de esta manera, la participación estatal se reduce a corregir las fallas del mercado para asegurar un adecuado funcionamiento de sus estructuras, con el objetivo de que la actividad económica logre un nivel de competencia cercano al de los mercados perfectos.

Robert Solow [1956] sostiene que toda teoría depende de suposiciones que no son del todo ciertas, de tal manera que la habilidad de teorizar con éxito es realizar suposiciones simplificadoras para que los resultados finales no sean inconsistentes. Por lo tanto, es importante que las suposiciones centrales sean razonablemente realistas para que los resultados sean confiables. De hecho, para la economía neoclásica, la empresa es una función de

producción simplificada que, combinando diversas cantidades de factores y tecnología, determina la cantidad, el producto y el precio. La función de producción representa las restricciones tecnológicas y económicas de la empresa. El supuesto de la teoría económica es que la producción realizada por las empresas es homogénea porque sus productos son altamente sustitutos entre ellos, son elaborados con una tecnología semejante y su destino es un mercado de competencia perfecta. Este tipo de mercado se basa en el supuesto de la aceptación de precios por parte de la demanda y de la oferta (compradores y vendedores). Como son precio-aceptantes, los empresarios deciden si se produce una unidad más, por lo que se compara el ingreso adicional de vender una unidad (utilidad marginal) con el costo adicional de producirla (costo marginal).

La teoría neoclásica define tres factores que determinan la oferta o producción de una economía, el factor trabajo, L_t es la cantidad de trabajadores en el momento t ; un segundo es el capital K_t , el cual se relaciona con las máquinas u otros dispositivos materiales que las empresas utilizan en el proceso de producción; las máquinas son consideradas bienes materiales adquiridos por medio de transacciones comerciales. Un tercer factor es la tecnología o conocimiento; por lo tanto, la función de producción se define como “aquellas funciones matemáticas que representan combinaciones de los factores capital, trabajo y tecnología” [Sala-I-Martin, 2000: 13]. El conocimiento tecnológico lo consideran un factor de producción no rival, ya que puede ser reutilizado sin que se altere su costo y propiedades. Asimismo, las funciones de producción deben cumplir tres propiedades: 1) rendimientos constantes a escala (si $\alpha + \beta = 1$); 2) la productividad marginal de todos los factores es positiva pero decreciente, y 3) condiciones de Inada,⁴ estas exigen que la productividad marginal del capital se aproxime a cero cuando tiende a infinito y que tienda a infinito cuando el capital se aproxima a cero. El modelo neoclásico de crecimiento es estocástico si la función de producción no satisface la condición Inada en cero; cualquier ruta posible converge a cero con probabilidad de que los shocks económicos sean lo suficientemente volátiles.

Es importante señalar que dentro de la teoría neoclásica no se explica el origen de la tecnología, ya que la consideran como algo dado, solo “información”, sin reconocer que es el resultado de la inversión en investigación

⁴ Debido a que el economista japonés Ken-Ichi Inada fue el primero que expuso estas condiciones, reciben su nombre.

y desarrollo (I+D)⁵ de las empresas o de procesos de investigación en ellas o en otras organizaciones. En palabras de Joseph Stiglitz [2000:100]: “Los recursos que se dedican a la producción de nuevos conocimientos –los gastos en investigación y desarrollo (I+D)– pueden concebirse como una clase especialmente importante de gastos en información”. La idea sobre la tecnología como información lleva a considerar que los resultados de la I+D y las nuevas tecnologías sean un bien público [Arrow, 1962] disponible libremente en el mercado, y el coste de su adaptación e implementación tiende a cero porque todas las empresas y países tendrían un nivel tecnológico parecido.

Aunque los grandes pensadores como Smith, Marx y Schumpeter subrayaron la función de la innovación para el crecimiento, su incorporación en los modelos teóricos y en los estudios empíricos es más bien tardía. El trabajo de Solow [1956] es pionero en el análisis empírico basado en su modelo de la contabilidad del crecimiento o modelo exógeno de crecimiento, donde se centra en la capacidad productiva de un país en términos per cápita. Los primeros estudios asignan una tarea muy importante a la innovación como variable explicativa del crecimiento de la productividad, indicando que la inversión en capital solo explica entre 10 y 15 % del aumento de la productividad, y la innovación, entre 80 y 90 % [Solow, 1956; Kendrick, 1961].

Cabe mencionar que existen nuevos modelos de crecimiento neoclásicos, “modelos de crecimiento endógeno” [Lucas, 1988; Romer, 1990; Grossman y Helpman, 1991; Aghion y Howitt, 1992; Mankiw *et al.*, 1992]; que niegan el carácter exógeno de la innovación y cuestionan la existencia de rendimientos marginales de los factores de producción. En ellos se considera a la competencia como imperfecta; la remuneración del esfuerzo innovador de los empresarios, y al conocimiento tecnológico se le ve como un bien público “no puro, por su doble carácter de bien no rival y parcialmente excluible. La no rivalidad se asocia a la posibilidad de utilizarlo en una actividad económica sin impedir o reducir su uso simultáneo en otra” [Hounie, *et al.* 1999: 12]. Los trabajos de Paul Romer y Robert Lucas introducen la innovación como un componente endógeno en los modelos de crecimiento y permiten refinar el modelo de la contabilidad del crecimiento, incluyendo no solo la inversión en capital, sino también la inversión

⁵ Para el enfoque evolutivo, se trata de actividades que generan conocimiento para crear nuevas aplicaciones, no solo información, “todo trabajo creativo realizado sistemáticamente para incrementar el volumen de conocimiento, incluido el del hombre, la cultura y la sociedad, y el uso de esos conocimientos para crear nuevas aplicaciones” [OECD, 2002: 47], refiriéndose a las actividades sin un objetivo comercial directo.

en I+D.⁶ En realidad, los estudios de la contabilidad del crecimiento miden la llamada productividad total de los factores (PTF),⁷ que refleja todo lo que no se puede explicar mediante los demás determinantes neoclásicos. Es decir, una parte sustancial del crecimiento económico no se puede explicar por mayor utilización de capital y trabajo que representa el residual de Solow. Esta parte del crecimiento, comúnmente etiquetado como *productividad total de factores*, implica las mejoras en la eficiencia de la producción, debido a la innovación en las empresas líderes y al *catching-up* por parte de las empresas (países) seguidoras y los cambios estructurales causados por las inversiones en industrias emergentes. Recientemente, se han incluido otros aspectos en este sistema de contabilidad, como la inversión en infraestructuras y los gastos públicos. Algunos estudios sugieren que 50 % de la PTF depende de la inversión en capital y capital humano [Jones y Romer, 2010; Broughel y Thierier, 2019]. Distintos autores relacionan el crecimiento también con la parte institucional [Acemoglu y Robinson, 2012; North, 1990] aunque otros consideran el sistema de innovación como parte de la estructura institucional [Acemoglu y Robinson, 2012].

Respecto a la labor de la productividad total de los factores en el caso de México, el INEGI⁸ reporta que estos aportan al crecimiento económico del sector manufacturero 3 % para el periodo 1991-2019. Velazquez y Jurado (2016) mencionan que, a pesar de encontrar un impacto positivo entre las variables tecnológicas y el crecimiento económico en México, el aporte de estas en el crecimiento no ha sido suficiente. Por esta razón, la evidencia empírica sugiere una política tecnológica bien establecida que permita aumentar los niveles de las variables de innovación. Similares resultados fueron encontrados para el caso regional mexicano en el estudio de Ríos & Marroquín (2013), donde sostienen que la incorporación de innovaciones tecnológicas en el proceso productivo impacta de manera positiva en el crecimiento del PIB per cápita en el nivel regional. Dichos autores también

⁶ El interés de la empresa en tales inversiones se recoge en estos modelos porque Romer [1990], y Aghion y Howitt [1992] otorgaron al innovador derechos monopolísticos sobre su innovación a través del sistema de patentes. De esta manera, los innovadores pueden recuperar el coste fijo inicial de la innovación por medio del margen de beneficio que obtienen de la comercialización de su patente.

⁷ Para una revisión de la literatura al respecto, véase Van Beveren [2012], Isakson [2009] o Comín [2010].

⁸ La información se puede consultar en <<https://bit.ly/3uvr1OU>>.

afirman que los efectos encontrados no son suficientemente significativos para tener un crecimiento sostenido, ya que los impactos son muy pequeños.

1.2.3. La teoría evolucionista y el enfoque de sistemas de innovación

En esta parte, se exponen algunos de los conceptos básicos en que se fundamenta la corriente evolucionista y sus implicaciones plasmadas en el enfoque de sistemas de innovación, sobre todo, para entender su importancia respecto al crecimiento económico y al diseño de las políticas de ciencia y tecnología (PCT).

El enfoque evolutivo tiene una visión radicalmente opuesta en cuanto a la teoría neoclásica en casi todos sus aspectos. En lugar de una visión estática, donde el mercado es un fenómeno perfecto con agentes totalmente homogéneos, donde cada uno de ellos dispone de toda la información relevante y, por lo tanto, toman decisiones racionales óptimas, los evolucionistas consideran la economía como un sistema holístico, interdependiente e imperfecto, en el que los agentes son un conjunto de actores heterogéneos, cuyo *stock* y acceso a los conocimientos depende de la experiencia y capacidad de aprendizaje acumulado en el pasado.

Por otro lado, el enfoque evolutivo rechaza tajantemente la existencia de un “equilibrio natural” de los mercados que vuelven a su estado inicial, y también la idea de que las empresas buscan de forma continua “maximizar sus beneficios”. Según la teoría evolucionista, la economía es una entidad cambiante (dinámica) en continuo desequilibrio, debido a que los (nuevos) conocimientos están distribuidos de forma asimétrica, incluso, pueden dejar obsoletas a las tecnologías de los competidores (creación destructiva), donde sobreviven las empresas con una mejor capacidad de ajustarse a la realidad cambiante,⁹ y en vez de maximizar los beneficios a corto plazo, pretende incrementarlos en el largo plazo.

Los planteamientos del enfoque evolutivo (neoschumpeteriano) se fundamentan en las ideas de Schumpeter, quien explicaba que “cada método de producción empleado en un momento dado se inclina ante la exigencia del

⁹ Igual que en la naturaleza, no son los más fuertes los que sobreviven, sino los que mejor saben adaptarse. Existen bastantes ejemplos de empresas que fueron las más grandes en su sector debido a su liderazgo tecnológico y que actualmente son empresas –aun siendo grandes– mucho más pequeñas (por ejemplo, IBM o Nokia).

punto de vista económico. Estos métodos consisten en ideas de contenido no solamente económico, sino también físico” [1967: 27]. Sus principios contrastaban con los neoclásicos en cuanto a la tendencia al equilibrio, debido a que el proceso de desenvolvimiento ocurre con alteraciones espontáneas y discontinuas, es decir, nuevas combinaciones y/o aplicaciones basadas en conocimientos existentes¹⁰ –innovaciones–¹¹ que aparecen en el ámbito de la vida industrial y comercial, y no en las necesidades de los consumidores; con ello, se ubica a la empresa en el centro del desarrollo tecnológico. Schumpeter consideró la innovación como un fenómeno compuesto de una multiplicidad de fenómenos y los sintetizó en cinco categorías. La primera se refiere a la innovación de producto en forma de un nuevo bien o de la mejora de la calidad de un bien, mientras que la segunda, a la innovación de proceso, que consiste en la introducción de un nuevo método de producción para la empresa. Las otras tres son: la apertura de un nuevo mercado, la introducción de nuevas fuentes de materiales (materias primas) para la producción y las nuevas formas de organización de cualquier industria.

Asimismo, en la economía capitalista, las nuevas combinaciones suponen la eliminación de las antiguas;¹² sin embargo, pueden coexistir al lado de las anteriores,¹³ aunque se considera que las nuevas tendrán un mayor valor que el obtenido anteriormente. “Sin desenvolvimiento no hay ganancia, y sin esa no hay desenvolvimiento [...] para el sistema capitalista, sin ganancia no habría acumulación de riqueza” [Schumpeter, 1967: 159]. Por lo tanto, Schumpeter, a diferencia de los neoclásicos, considera que la innovación es

¹⁰ “Recalling that production in the economic sense is nothing but combining productive services, we may express the same thing by saying that innovation combines factors in a new way, or that it consists in carrying out new combinations” [Schumpeter, 1939: 87-88].

¹¹ Cabe señalar que organismos internacionales, como la OECD, toman como base las ideas de Schumpeter para definir a la innovación (véase el *Manual de Oslo* [2005]).

¹² Schumpeter [1939] introduce el concepto de *creative destruction*, donde las tecnologías radicales dejan las anteriores obsoletas. No solamente sustituyen las viejas tecnologías, sino, incluso, en algunos casos –las llamadas revoluciones tecnológicas–, pueden generar un cambio de paradigma técnico, económico y social [Schumpeter, 1939; Pérez, 2005], como ha sido el caso de las tecnologías de información y comunicación, el automóvil o la química pesada.

¹³ Recuérdese que, además de la creación destructiva, existiría la creación acumulativa, donde las innovaciones radicales existentes son la base de las mejoras incrementales dentro una trayectoria tecnológica [Schumpeter 1942; Dankbaar y Visser, 2010] o bien para crear productos complementarios.

una mutación económica interna que surge de las distintas combinaciones de materiales e intereses de los empresarios; realiza un análisis dinámico y no estático, ya que la competencia, por medio de la innovación tecnológica, se determina por la capacidad que tiene cada empresa para generar continuamente nuevos productos y servicios que le aseguren una ganancia al empresario, generando una situación de monopolio temporal. Tales ganancias son extraordinarias y las mantienen hasta que los competidores consiguen el mismo nivel tecnológico. Las actividades de I+D representan un alto costo y riesgo para lograr una innovación; por lo tanto, una situación de monopolio temporal es considerada una ventaja para recuperar las inversiones realizadas.

Richard Nelson y Sidney Winter, autores evolucionistas, en su obra *An Evolutionary Theory of Economic Change* [1982], exponen a lo largo del libro su postura sobre algunos de los temas de la teoría neoclásica u ortodoxa, fundamentando sus objeciones a los supuestos neoclásicos en el análisis de la innovación tecnológica, con el propósito de diferenciarla de la teoría evolutiva, para la cual este estudio constituye una de las piezas fundamentales en su construcción. En ella analizan una amplia gama de fenómenos asociados con el cambio económico (crecimiento económico), resultado de las variaciones en la demanda de productos o de las condiciones de abastecimiento de factores, o de la innovación por parte de las empresas, así como la respuesta de las empresas y la industria a las condiciones cambiantes del mercado, el crecimiento económico y la competencia a través de la innovación, además, de comprender, en entornos teóricos estilizados, el desarrollo de los acontecimientos económicos a lo largo del tiempo.

De tal manera, Nelson y Winter plantean una alternativa teórica a la ortodoxia, introducen la idea de “selección natural económica”, tomando ideas básicas de la biología. En su enfoque, consideran que los entornos de mercado proporcionan la posibilidad de éxito para las empresas comerciales, la cual está muy relacionada con su capacidad para sobrevivir y crecer, de ahí, las connotaciones de “evolucionaria” o “evolutiva”, pues se interesan por los procesos de cambio progresivos en el largo plazo. Asimismo, suponen que las regularidades que se observan en el presente (no se interpretan como una solución a un problema estático) son el resultado de procesos dinámicos que se producen a partir de las condiciones conocidas o estimadas en el pasado.

Contrario a la teoría ortodoxa, en donde la empresa es maximizadora de las ganancias determinadas exógenamente y se considera que están estimuladas por las ganancias, los evolucionistas buscan diversas formas para mejo-

rarlas. Por ello, no se asume la idea de que realizan sus ganancias sobre conjuntos de opciones bien definidas y exógenamente determinadas, sino que se considera que las empresas, en un momento dado, adquieren ciertas capacidades, procedimientos y reglas de decisión, las cuales, con el tiempo, se van transformando debido a los esfuerzos realizados para la solución de problemas y eventos aleatorios. Tal proceso implica una gran heterogeneidad entre la forma de actuar de las empresas, su estructura organizativa y su forma de competir. En este sentido, definen la innovación como “los diversos procesos a través de los cuales evolucionan las tecnologías a lo largo del tiempo” [Nelson y Winter, 2000: 181]. De esta forma, se trata de un proceso de aprendizaje continuo en el que tanto el *input* como el *output* tecnológico son conocimientos, por lo que las empresas innovan mediante el aprendizaje y la creación de conocimiento [Nelson & Winter, 1982]. Estos pueden ser externos o desarrollados internamente, o por cooperación; por lo tanto, la tecnología no es un bien público de libre uso como la información, ya que contiene un elemento sustancial de aprendizaje y conocimiento acumulado. Del mismo modo, “por teoría entendemos un esquema intelectual coherente que integre el conocimiento existente y permita hacer predicciones que vayan más allá de los hechos particulares” [Nelson y Winter, 2000: 3].

El principal objeto de estudio de la teoría evolutiva o evolucionismo es el cambio tecnológico como base del crecimiento económico en el corto y, principalmente, en el largo plazo, con una visión distinta a la ortodoxa. El evolucionismo considera la actuación de los individuos y de las organizaciones en el establecimiento del ritmo y dirección del progreso tecnológico. Richard y Katherine Nelson afirman que, desde la perspectiva de la teoría evolucionista, el crecimiento económico que se ha experimentado necesita ser entendido como el resultado de la introducción progresiva de nuevas tecnologías que fueron asociadas con niveles de productividad laboral cada vez más altos, y de la habilidad de producir nuevos o mejores bienes y servicios [Nelson & Nelson, 2002].

Otro aspecto muy importante de la teoría evolucionista del cambio tecnológico es la diferencia entre innovación en forma de “conocimientos tácitos” y en forma de “información codificada”. Desde la perspectiva neoclásica, las tecnologías y los resultados de la I+D serían un “bien público”, ya que se basaría en información claramente codificada y accesible para todo el mundo. El debate sobre conocimientos tácitos se inicia a partir del trabajo de Micheal Polanyi [1958], que indica hasta qué medida o qué parte de las innovaciones o conocimientos se pueden describir o codificar y transferir fácilmente [Lundvall y Borrás, 1997].

La codificación de las innovaciones implica la transformación de los conocimientos nuevos en información en un formato simplificado y, en un principio, facilita y abarata su transferencia entre los agentes del sistema de innovación y hacia el tejido productivo, por ejemplo, imitando directamente un diseño o fórmula química, por lo que transformaría la “innovación” en un bien público y su transferencia tecnológica sería rápida y sin apenas costos [Arrow, 1959]. La teoría evolucionista critica la conceptualización de tecnología como si fuera solo información codificada, y en cuyo caso el mercado de “bienes tecnológicos” cumpliría los supuestos neoclásicos de la información perfecta y simétrica. Según los evolucionistas, la transferencia de tecnologías y conocimientos de unas empresas a otras o de unas industrias a otras constituye –debido a sus elementos tácitos– una operación difícil y costosa para su receptor, que, además, tiene que pagar los costos de adquisición, los costos de aprendizaje y los costos de oportunidad, derivados del retraso en el tiempo de la adopción y del proceso de adaptación de la innovación respecto al competidor.

Aparte del carácter intangible del conocimiento –inherente al progreso tecnológico–, resulta que el propio proceso de la codificación tiene sus límites “técnicos” a la hora de describir de forma exacta las tecnologías; además, el inventor o la empresa innovadora no siempre tienen interés en codificar sus conocimientos, ni mucho menos hacerlos públicos. Todo ello impide o dificulta que los conocimientos sean bienes públicos fáciles de transferir [Lundvall y Borrás, 1997; Polanyi, 1958]. También se puede destacar que no todas las empresas que reciben información externa de las nuevas tecnologías tienen la misma capacidad de aplicarlas o rentabilizarlas. Resulta que una empresa necesita conocimientos tácitos para entender y poder aprovechar de forma óptima la información codificada, lo que significa que el supuesto neoclásico de información perfecta no existe [Lundvall y Borrás, 1997]. La existencia de conocimientos tácitos y complejos de forma complementaria a la información codificada implica que no todas las innovaciones están disponibles en el mercado, que existe una gran variedad en las capacidades tecnológicas y productivas entre las empresas con información muy dispersa sobre futuras innovaciones.

Todo ello sitúa la tarea del aprendizaje (acumulación de conocimientos en el tiempo) en el centro del desarrollo económico y la competitividad, y resalta la visión histórica de la capacidad tecnológica basada en la experiencia [Lundvall, 1997: 6]. Bengt-Åke Lundvall define el aprendizaje como la creación de nuevas competencias y establecimiento de nuevas habili-

dades. Incluso en los sectores de baja tecnología el aprendizaje resulta crucial para la incorporación de nuevas tecnologías. El aprendizaje, como acumulación de un *stock* de conocimientos, se desarrolla a partir de la I+D propia, la transferencia tecnológica y la interacción o colaboración con los agentes del entorno. Este aprendizaje se acumula en las personas (investigadores); por lo tanto, el capital humano o personal cualificado es un activo esencial para la empresa. El aprendizaje debe crear la capacidad tecnológica que se puede definir como la facultad de entender, dominar y adaptar las tecnologías adquiridas y la capacidad para la adaptación de desarrollos tecnológicos futuros y de generación de innovaciones tecnológicas. Esto implica que las empresas no solamente deben saber utilizar nuevas tecnologías, sino que deberían ser conscientes del desarrollo tecnológico futuro para poder valorar, reconocer, seleccionar y absorber las tecnologías relevantes para la empresa [Cohen y Levinthal, 1989: 569], e, incluso, estar preparadas para poder reaccionar en el momento que ocurren cambios tecnológicos inesperados. La capacidad tecnológica de la empresa depende de su esfuerzo en el pasado, por lo que la teoría evolucionista asigna mucha importancia a la trayectoria histórica de la empresa o al conjunto de los agentes de un país.

El aprendizaje no solo es importante para la empresa y su proceso interno de innovación, sino también para el conjunto de los agentes del sistema de innovación, donde los sistemas de innovación se basan en la interacción y complementariedad entre los agentes; por ello, la teoría evolucionista se puede considerar como un enfoque holístico. En las últimas décadas, se ha observado una división del trabajo creciente en las actividades innovadoras, no solo en una sola empresa (donde participan los departamentos de ingeniería, de I+D, de producción, de ventas y servicios posventas, etc.), sino que, en ocasiones, existe la participación de un amplio número de agentes e instituciones a las cuales, en su conjunto, se define como sistema de innovación. Es decir, existen múltiples fuentes de conocimientos codificados y tácitos que habrían de identificarse y después interiorizarse según los intereses de cada empresa. La creciente división de las actividades de I+D e innovación implica, al mismo momento, una importancia creciente de la tarea de la cooperación e interacción entre los distintos agentes del sistema innovador. Esto conduce a otros dos conceptos claves para explicar y entender la teoría evolucionista: el modelo lineal *versus* el modelo interactivo del cambio tecnológico.

1.2.3.1 Modelo lineal *versus* modelo interactivo

El modelo interactivo o evolucionista combina el cambio tecnológico con los conceptos de aprendizaje y *path dependency* con los procesos dinámicos de aprendizaje mutuo y retroalimentaciones. Es decir, es un modelo sistémico y holístico. Hasta mediados de la década de 1970, la teoría económica consideraba que la tecnología era básicamente información y que su proceso de producción era resultado de la acción secuencial de las instituciones de investigación –exógena al sistema económico– y de las empresas innovadoras; predominaba el pensamiento neoclásico, donde se consideraba que la tecnología sería información en forma de un bien público fácil de copiar; por lo tanto, niega la necesidad de aprendizaje. La teoría lineal de la innovación sugiere que el producto o resultado (*output*) está altamente relacionado de forma lineal con el factor de entrada (*input*), y que esta relación se resume en la función de producción.

Este modelo del cambio tecnológico conceptualiza la I+D como una actividad aislada, llevada a cabo en centros de investigación y que no se deja influir por incentivos desde el mercado u otras unidades de la empresa. Este modelo, el modelo lineal del cambio tecnológico, fue hasta la década de 1980 la base teórica de la política tecnológica de la mayoría de los países desarrollados. El modelo lineal niega de manera virtual factores como la influencia de instituciones, estrategias y actitudes competitivas de otras empresas o países, o los factores relacionados con la demanda y educación, por lo que las políticas de ciencia y tecnología (PCT) basadas en ese modelo¹⁴ están dirigidas hacia la generación o creación de invenciones¹⁵ mediante el establecimiento de centros de investigación, el apoyo a la I+D básica para tecnologías claves o la financiación directa de las actividades de investigación empresariales;¹⁶ la innovación se considera exógena al proceso productivo.

¹⁴ También conocido como las políticas de oferta o de empuje tecnológico o científico.

¹⁵ Estas invenciones serían ofrecidas (modelo de oferta) a las empresas, que al incorporarlas a la producción adquieren el carácter de innovación (la invención en el mercado).

¹⁶ Llama la atención la existencia de líneas de investigación que se basan en aplicaciones de nuevas tecnologías en artefactos o bienes innovadores sin que los inventores tengan el conocimiento científico para su elaboración; por ejemplo, el desarrollo de la tecnología para conservar frutas y verduras en botellas fue exitoso, pero los inventores no tenían conocimiento de las razones de su éxito. Cincuenta años más tarde, Louis Pasteur ofreció una explicación científica al respecto [Eschner, 2017].

Un modelo teórico alternativo y opuesto al modelo lineal del cambio tecnológico sería el modelo interactivo o evolucionista, desarrollado en la década de 1980, que implica cambios radicales para la gestión tecnológica de las empresas o el diseño de la política tecnológica por parte de la Administración pública. Este modelo se basa en la idea de una interacción continua entre los distintos actores y elementos durante todo el procedimiento de innovación y la comercialización posterior de los resultados, así como el carácter endógeno del sistema productivo de la innovación. Incluso, una vez que el producto o proceso están plenamente introducidos en el mercado, persiste la interacción mediante el perfeccionamiento y diversificación de los productos y procesos de producción y de las tecnologías utilizadas. Mientras que el modelo lineal destaca solamente las actividades tecnológicas del departamento de I+D, el modelo interactivo subraya las capacidades tecnológicas de la empresa en general, considerando la gestión de la innovación como un proceso estratégico y corporativo donde tendría que estar implicada toda la empresa, incluidos sus distribuidores y clientes.

La capacidad tecnológica de una empresa se basa en su “saber-hacer” y tiene una dimensión tácita y acumulativa. Las nuevas tecnologías o innovaciones se consideran conocimientos con aspectos tácitos no codificables, y la transferencia tecnológica es considerada como difícil y costosa en tiempo, recursos humanos y fondos financieros. El modelo interactivo considera la innovación como un proceso dinámico o interrelacionado con efectos de retroalimentación continuos entre las distintas etapas, y, además, todo este proceso se desarrolla en un ambiente cambiante [Malerba y Orsenigo, 1996], donde los actores y competidores reaccionan con una conducta rutinaria a cada uno de los cambios o buscan romper, mediante innovaciones, los equilibrios competitivos existentes, generando, así, los cambios. La función del aprendizaje o la creación de capacidades tecnológicas resulta fundamental para poder apropiarse de los “conocimientos” tecnológicos futuros generados por otros organismos del sistema o en otros países [Lundvall y Borrás, 1997].

Como ya se ha indicado, el proceso de aprendizaje y las experiencias previas determinan su capacidad tecnológica y emprendedora, lo que, a su vez, establece la capacidad de absorción. Esta última es probablemente el factor más importante para asegurar una transferencia exitosa de los resultados científicos hacia la investigación aplicada y productos comerciales, ya que es una de las formas más relevantes de absorber y aprender conocimientos tácitos. Como señalan Wesley Cohen y Daniel Levinthal, “when outside knowledge is less targeted to the firm’s particular needs, a firm’s

own R&D becomes more important in permitting it to recognize, assimilate and exploit such valuable knowledge” [1989: 572]. La falta de capacidades tecnológicas y de absorción de los agentes individuales (empresas, científicos, universidades, etc.) de sistemas sectoriales o nacionales de innovación para adaptarse a los cambios tecnológicos profundos u otras amenazas se conoce también como problema de encerramiento o de dependencia de la trayectoria del pasado [Edquist & Johnson, 1997].¹⁷ También en el diseño de las PCTI podría existir tal efecto de encerramiento porque a menudo los planes se diseñan de forma consecutiva con una inercia, sin evaluar de forma amplia su éxito o adecuación a nuevas oportunidades y amenazas.

Las implicaciones de este enfoque conceptual, en términos de las PCTI, son profundas. Las ideas de la teoría evolucionista con su modelo interactivo y la importancia del aprendizaje sugieren un conjunto de los instrumentos de la PCT mucho más amplio que solo la oferta de recursos y la creación de conocimientos dentro de un modelo lineal. La teoría evolucionista aboga por un sistema de innovación, donde interacción y cooperación, como forma de aprendizaje colectivo, tienen una labor central, junto a la participación del Estado, mediante una PCTI que apoye, fomente y desarrolle la capacidad de aprendizaje tanto de las empresas como de las instituciones que generan y difunden el conocimiento, como los centros de investigación, universidades, instituciones de educación superior. La innovación y cambio estructural no vienen de la nada, deben ser puestos en marcha en un sistema económico mediante acciones concretas y canales específicos [Vivarelli, 2015].

1.2.3.2 La teoría evolucionista y el crecimiento económico desigual

Mientras que la teoría neoclásica no es capaz de explicar las diferentes velocidades del crecimiento económico entre países, la teoría evolucionista explica bien los distintos niveles de desarrollo. Para Christopher Freeman:

[Esta competencia “imperfecta” entre los empresarios] fundamentalmente en términos de innovaciones industriales, constituye la base del desarrollo

¹⁷ En inglés, se usan los conceptos *lock-inn* y *path dependency*.

económico [...] el énfasis aparece en el lado de la oferta, es decir, en la inversión autónoma [...] se contempla el desarrollo económico fundamentalmente como un proceso de reasignación de los recursos entre las industrias. Este proceso provoca automáticamente cambios estructurales y desequilibrios, aunque solo sea por la existencia de una distinta tasa de cambio tecnológico desigual en cada industria. [Freeman, Clark y Soete, 1985: 54-55].

También considera que:

Schumpeter siempre mantuvo que la proliferación de innovaciones tenía un desarrollo desigual con respecto al tiempo y al espacio, y esta fue la forma en que dichas innovaciones se extendieron y conformaron la revolución industrial británica. Las innovaciones no se extendían de manera uniforme sobre todas las regiones del país, solo lo estaban en unas pocas industrias al principio, y se fueron difundiendo relativamente despacio al resto de los países europeos [Freeman, 2004: 56].

Se puede decir que el evolucionismo es una teoría apreciativa; se han formulado taxonomías y modelos formales sobre la teoría de la empresa, los modelos de organización industrial, estructuras de mercado, los determinantes del comercio internacional y trayectorias tecnológicas, donde la heterogeneidad empresarial –incluso dentro un mismo sector– se considera la regla más que una excepción. Además, Giovanni Dosi, Christopher Freeman y Silvia Fabiani [1994] consideran que los modelos evolucionistas se concentran en las propiedades dinámicas de los sistemas económicos dirigidos por procesos de aprendizaje, mientras que ignoran (en una primera aproximación) la asignación óptima de recursos.

Cabe destacar que los evolucionistas teorizan sobre el éxito de la innovación tecnológica en términos de competitividad, que no solo radica en el esfuerzo de la empresa, sino que tiene que ver directamente con el ambiente nacional donde se desempeñan, por lo que es importante la tarea que cumplen las instituciones:

Las características de las empresas no se distribuyen al azar en los sectores y países; por el contrario, ciertos rasgos tienden a fortalecerse debido a su interacción con el entorno, y los amplios mecanismos institucionales que

rigen las interacciones acentúan la posibilidad de crear modelos de aprendizaje colectivos. [Cimoli y Dosi, 1994: 670].

1.3. *Innovación versus competitividad: la función de las empresas y la política tecnológica*

En esta parte del capítulo, se profundiza en la importancia de los distintos determinantes (como los costes salariales, la intensidad de capital por trabajador y el esfuerzo innovador) de la competitividad en países, regiones y empresas con base en las aportaciones teóricas y en combinación con datos empíricos. Además, el debate muestra que la relevancia de cada uno de los determinantes depende del nivel de desarrollo de cada país. Por lo tanto, se ofrecen los indicadores de diversos países con un nivel de desarrollo muy desigual para identificar en qué situación se encuentra México y por qué la innovación sería un determinante cada vez más importante para aumentar su productividad y, por ende, asegurar su crecimiento económico en el futuro. De hecho, en este capítulo se sostiene que, a largo plazo, la innovación sería la única forma para que un país como México pueda generar una mejor posición competitiva y un crecimiento económico sostenible.

1.3.1. Competitividad *versus* productividad

La *competitividad* es un término que ha causado polémica por mucho tiempo debido a su complejidad. Surgió y se desarrolló en el campo de la administración y ha sido la base para el análisis estratégico empresarial [Lall, *et al.*, 2005]; sin embargo, es frecuente su uso para referirse a la capacidad de los países para producir bienes y servicios que cumplen con los estándares internacionales, logrando ventajas competitivas. Casi todos los autores reflejan directa o indirectamente que la función esencial de la competitividad es la productividad. De hecho, Paul Krugman sostiene que: “para una economía con muy poco comercio internacional la competitividad resultaría ser una forma divertida de referirse a la ‘productividad’ y no tendría nada que ver con la competencia internacional” [1994: 32]. Según este autor, la “competitividad” estaría determinada casi de forma completa por factores domésticos, principalmente por la tasa de crecimiento de la productividad, ya que la capacidad de un país para mejorar su nivel de vida

depende casi enteramente de los factores de crecimiento interno más que de alguna competencia por el mercado mundial.¹⁸

Aunado a la tarea principal de la productividad para definir la competitividad, existen diferencias respecto a este concepto en el plano macro y microeconómico. A nivel micro, se puede sostener que las empresas buscan posicionarse sobre sus competidores en el mercado, ofreciendo bienes o servicios específicos que los demás no proporcionan o, bien, los ofrecen a costes mayores; para ello, generan capacidades para competir y mantenerse en el mercado de diversas formas y en diferentes contextos. El President's Commission on Industrial Competitiveness (PCIC)¹⁹ [1985] fue uno de los primeros en considerar la competitividad de un país como "el grado en que, bajo condiciones de mercado libres y justas, puede producir bienes y servicios que cumplan con la prueba de los mercados internacionales y al mismo tiempo expandir la renta real de sus ciudadanos".²⁰

En la literatura económica, se trata el tema de la competitividad básicamente desde dos perspectivas. El enfoque neoclásico la define, desde un punto de vista abstracto y macroeconómico, como un mercado de competencia perfecta, y analiza las implicaciones de tal mercado para el desarrollo económico. Desde la visión de la teoría de organización industrial –de índole microeconómica– se ofrece una aproximación mucho más práctica y cercana a la realidad. Trata a la competitividad real entre empresas, industrias y/o países, donde son agentes heterogéneos con una racionalidad limitada [Simon, 1990]. Durante la década de 1980, los dos niveles de análisis, micro *versus* macro, se utilizaron en gran medida por separado. Sin embargo, a partir de los trabajos publicados en esa década y en la siguiente, en torno

¹⁸ Esta idea se ajusta de forma indirecta a la definición de competitividad utilizada por la OECD y la Comisión Europea, que combinan la capacidad de competir en el mercado internacional con la condición de ofrecer a los habitantes de la nación un alto nivel de vida. Según la OECD [1992], la competitividad es el grado en que una nación puede, bajo condiciones de libre comercio y mercado justo, producir bienes y servicios que cumplan con la prueba de los mercados internacionales, al mismo tiempo que mantiene y expande los ingresos reales de su gente a largo plazo. La Comisión Europea [2001] utiliza una definición parecida indicando que la competitividad de una nación es la capacidad de una economía para proporcionar a su población altos y crecientes niveles de vida y altas tasas de empleo de manera sostenible.

¹⁹ Coming from the report of the President's Commission on Industrial Competitiveness [1985], written for the Reagan administration.

²⁰ Traducción de los autores.

a la competitividad de los países, se subrayó la interdependencia entre los planos nacional y empresarial.

Especialmente, los trabajos de Michael Porter [1985; 1990; 2004, 2008] y el enfoque de los sistemas nacionales de innovación [Nelson, 1993; Freeman, 1997; Lundvall, 1992] subrayan la interdependencia de la competitividad de las naciones y de sus empresas. Por un lado, la capacidad empresarial en el plano microeconómico (estructura interna de las empresas [Lippmann y Rumelt, 1982]) y sus recursos internos (como “la visión basada en los recursos de la empresa” [Barney, 1991; 2001]) requieren estructuras productivas macroeconómicas –y un tejido empresarial de carácter meso económico– que incentiven la mejora continua de la competitividad; asimismo, la existencia de empresas competitivas asegura un mejor desarrollo del sistema nacional de producción y/o innovación. Según Porter [1990], la competitividad depende de la productividad a largo plazo, cuyo aumento requiere un entorno empresarial que respalde la innovación continua en productos, procesos y gestión. Las cuatro condiciones subyacentes que impulsan –según Porter– la competitividad global de las empresas de un país incluyen: dotaciones de factores, condiciones de demanda, industrias relacionadas y de apoyo (clústeres o conglomerados), y la estrategia, estructura y rivalidad de las empresas. La competitividad de una nación depende, a su vez, de la capacidad de su industria para innovar y actualizarse. Las empresas obtienen ventaja frente a los mejores competidores del mundo, debido a la presión y al desafío de tener fuertes rivales nacionales, proveedores domésticos combativos y clientes locales exigentes.

Las diferencias entre países se pueden apreciar en la tabla 1.1., donde algunos indicadores reflejan diferentes niveles de desempeño que dan una idea sobre los determinantes de la productividad y, por ende, de la competitividad, incluyendo países de un nivel de desarrollo desigual. El grupo de países tiene un nivel de desarrollo diverso con el propósito de mostrar la importancia de la innovación. Se puede observar en la tabla que los países más avanzados –ubicados en la parte superior– son más competitivos, a pesar de tener un coste laboral mucho mayor, porque sus altos niveles salariales se compensan con un sistema productivo más eficiente (casi triplicando el *stock* de capital por trabajador de México) y una intensidad innovadora mucho mayor con un gasto en I+D de 3 % respecto al PIB, mientras que México solo tiene una intensidad innovadora de 0.6 por ciento.

Cabe resaltar que, en los países más competitivos en el ámbito internacional y económicamente más avanzados, las empresas forman el eje central del sistema de innovación. De acuerdo con Schumpeter: “Los emprendedores

(las empresas) forman la parte central de la economía, ya que son ellas las que convierten los resultados de las actividades en I+D –mediante el desarrollo tecnológico y la innovación– en productos para el mercado”[1911: 84]. Esta tarea central se refleja en los datos de la tabla 1.1 (columna 4), donde se observa que en los países más avanzados las empresas ejecutan entre 60 y 80 % del gasto en I+D, mientras que en los países menos desarrollados este porcentaje está por debajo de 33 %. Teniendo en cuenta la importancia de la

Tabla 1.1. *Indicadores de la competitividad, innovación y empleo*

	1. GDP pc-ppp ^a	2. Índice de competitividad global ^b	3. Gasto en I+D como % del PIB ^c	4. I+D empresarial sobre el total (%) ^{d, e}	5. Coste laboral (\$) ^f	6. Capital stock por trabajador (\$) ^g
Estados Unidos	37 100	5.9	2.8	72	39.3	346 500
Alemania	31 300	5.7	2.9	68	43.2	356 800
Japón	30 500	5.5	3.3	78	26.5	280 600
España	23 800	4.7	1.2	53	23.4	479 100
Rusia	20 600	4.6	1.1	59	5.8	107 200
México	12 600	4.4	0.6	31	3.9	129 900
Argentina	10 800	4.0	0.6	20	16.8	118 700
Brasil	10 300	4.1	1.2	36	8.0	128 900
Chile	9 000	4.7	0.4	34	6.8	149 700
Colombia	7 500	4.3	0.2	32	10.5	76 400
Egipto	5 900	3.9	0.7	6	s.d.	45 600
India	1 800	4.6	0.6	44	3.4	44 100
China	1 500	5.0	2.1	77	4.6	86 900

Fuente: elaboración propia con datos de: ^aProducto interior bruto per cápita (PIBpc) en paridad de poder de compra (PPP): indicadores 1, 9 y 10 [The World Bank Data base] ^bEconomic World Forum [2018]; ^cUnesco [2017; 2019]; ^dUnesco [2018]. Se trata al porcentaje de gasto en I+D ejecutado por las empresas, aunque para algún país es el gasto financiado por falta de datos; ^eLa mayoría de los datos se refieren a 2017. En el estudio de Heijs *et al.* [2020] indica que este porcentaje, para la mayoría de los países, es muy estable en el tiempo; ^fThe Conference Board [2016]. Los datos de China e India son aproximaciones debido a la falta de datos para algunos años concretos; los datos de Colombia y Chile se ha obtenido en OCDE/BID/CIAT [2016]; ^gPPP en \$ de 2011 Penn World Table.

innovación y la función central de las empresas, se puede entender que la gran mayoría de los países tiene una política de I+D e innovación que intenta promover y dinamizar el avance tecnológico de las empresas.

Es decir, son los países más avanzados o líderes mundiales²¹ que más gastan en I+D²² e innovación, y son los responsables de la mayor parte de la producción mundial de conocimientos (por ejemplo, las patentes) y de la gran cantidad de productos nuevos e innovadores. Además, estos países han conseguido –a pesar de tener los salarios más altos– bajos niveles de desempleo, menor tiempo de trabajo, jornadas más reducidas que permiten aumentar la calidad de vida, pues sus trabajadores disponen de más tiempo de descanso y vacaciones, con lo que se pueden realizar actividades de ocio (pasatiempo).

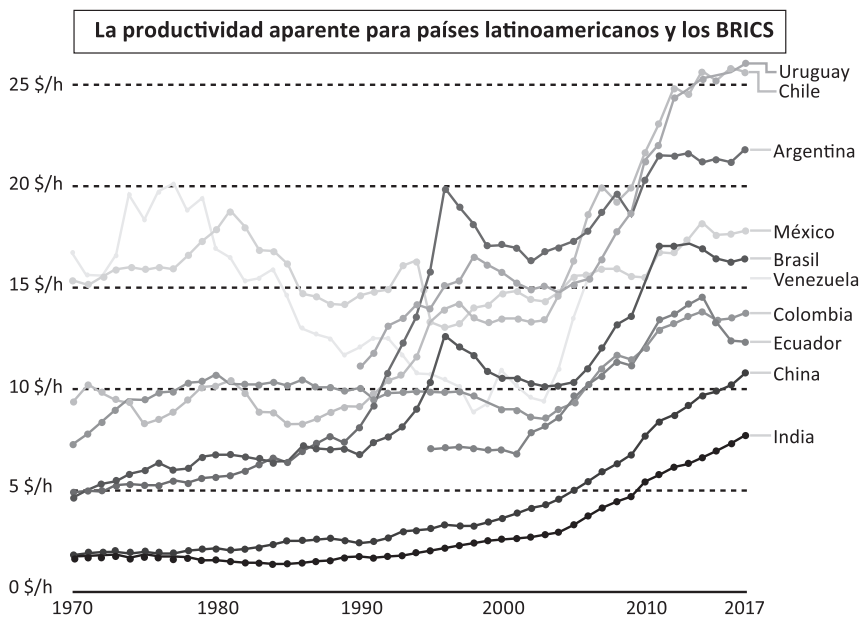
Los países de mayor potencial en I+D e innovación tienen la capacidad de competir en calidad y beneficios, pero otros, que carecen de estas ventajas, tienen que orientar su especialización económica hacia la búsqueda de ventajas en los costos, aunque ambas estrategias son en parte complementarias y cada país o región ofrece dentro de sus capacidades tecnológicas la mejor relación calidad-precio.

Como se ha señalado, la productividad es un indicador básico del nivel de la competitividad de un país, por lo que se han incluido dos gráficos que reflejan la tendencia de la productividad por hora trabajada a precios constantes en términos de paridad de poder de compra para el periodo 1970-2017. La primera figura recoge los datos para los países de la tabla 1.1 y se observa el aumento de la productividad para la mayoría de los países y la distancia importante entre los más avanzados y menos desarrollados. En la segunda figura se muestran los datos de los países de Latinoamérica y los grandes países emergentes: Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica (BRICS).

²¹ La excepción son las regiones o países con muchos recursos u otras ventajas naturales.

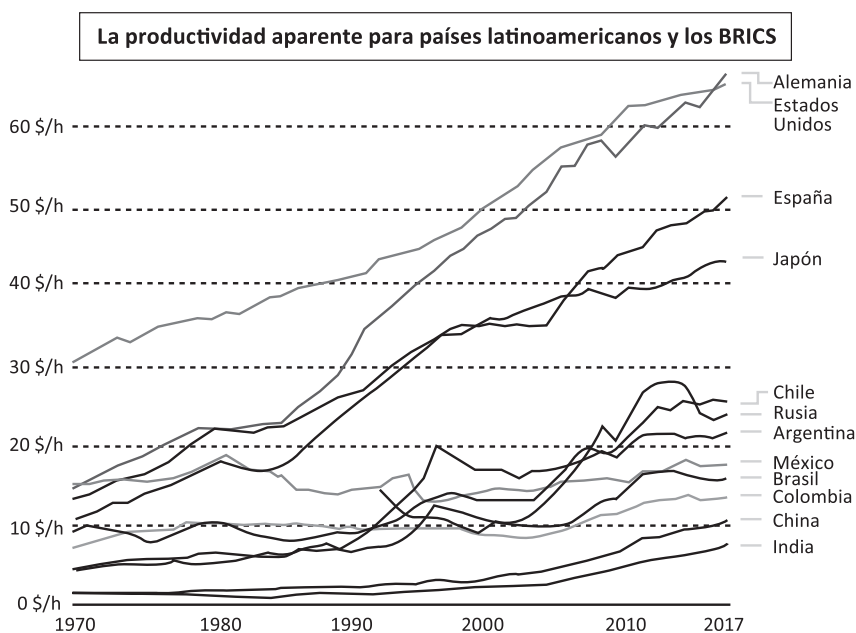
²² La relación entre riqueza de un país y su nivel de innovación está ampliamente secundada por la realidad. Los países más avanzados (América del Norte y Europa) gastan 48 % de gasto en I+D internacional, el sur de Asia y el Pacífico es responsable de otro 39 %, y el resto del mundo gasta 12 %. Por ejemplo, América Latina y el Caribe solo gastan 3.6 % y África un 0.8 %. En términos de la intensidad innovadora, los países más avanzados (América del Norte y Europa) gastan 2.4 % de su PIB en I+D, el sur de Asia y el Pacífico 2.1 %, y el resto de las regiones 1 % o menos. Por ejemplo, Latinoamérica y el Caribe tienen una intensidad innovadora tan solo de 0.7 %, Europa del Este de 1 % y África 0.4 % [Unesco, 2014].

Figura 1.1a La productividad por hora trabajada (productividad aparente) a precios constantes en términos de paridad de poder de compra para el periodo 1970-2017



Fuente: Basado en Feenstra et al. (2015).

Figura 1.1b La productividad aparente para países latinoamericanos versus algunos países avanzados



Fuente: Basado en Feenstra et al. (2015).

Se puede observar que el nivel de productividad de México aumenta muy poco, subiendo de USD 15.23 en 1970 a USD 17.72 en 2017. Mientras que la productividad mexicana solo aumentó 16 % en casi medio siglo, los demás países latinoamericanos de la figura 1.1b reflejan una tendencia creciente, multiplicando su nivel de productividad laboral de 3 a 5 veces y los países BRICS de 5 a 7 veces. Esto refleja el estancamiento de la competitividad de la economía mexicana.

1.3.2. La relevancia de la innovación *versus* la inversión en capital

En esta sección se subraya la importancia de la innovación en comparación con algunos determinantes tradicionales de la competitividad (internacional), como la inversión en capital, los costos salariales, la penetración en los mercados internacionales y, por supuesto, la innovación con especial énfasis en el concepto de los rendimientos marginales decrecientes del aumento del *stock* de capital por trabajador en términos de productividad. La forma básica para mejorar o generar la competitividad de un país escasamente industrializado, que al mismo tiempo elevaría la calidad de vida de los trabajadores, sería mediante la inversión en capital. Todavía existe un gran número de países y/o regiones de muchos países intermedios donde la industrialización apenas se ha iniciado o donde existe un tejido industrial anticuado (obsoleto) de maquinaria poco eficiente y con externalidades negativas para el medioambiente. La transición de un sistema productivo artesanal, en el que predominan sectores intensivos en trabajo, hacia una economía industrial –aumentando drásticamente la intensidad en capital por empleado– generaría, inicialmente, un proceso de convergencia económica, como se ha observado recientemente en el caso de China, India o Brasil.

En esta fase inicial del desarrollo económico de un país, la inversión en capital generaría, a corto plazo, un crecimiento rápido de la productividad laboral y, por ello, una convergencia económica rápida al inicio del proceso de industrialización por parte de los países menos desarrollados. Pero tal inversión de capital –aumentando la intensidad de capital por trabajador– perdería, a partir de un cierto momento, su empuje potencial sobre el aumento de la productividad laboral, debido al efecto de rendimientos marginales decrecientes (RMD) en términos de productividad.

Una vez que una economía llega a un cierto nivel de *stock* de capital por trabajador, el aumento en términos de productividad por empleado, provocado por un aumento de las inversiones en capital, se estanca. A partir de

ese momento, en países con un desarrollo intermedio, como España, la única opción para aumentar de forma clara la productividad sería invertir en factores de producción más modernos –de mayor capacidad productiva– o confeccionar mejores bienes en cuanto a calidad y funcionalidades, o, en términos de Nathan Rosenberg [1982], mejorar la eficiencia creando una producción cualitativamente mejorada y/o aumentando el volumen total de la misma. Es decir, a largo plazo, solo se puede asegurar un crecimiento sostenido de un país o región y/o un alto nivel de vida mediante la innovación de procesos de producción y productos.

En el caso de México, el nivel de capitalización (véase tabla 1.1) está en alrededor de USD 130 000.00 por trabajador, siendo un nivel muy alejado de los países más avanzados, como Estados Unidos, Alemania y Japón. Dentro del conjunto de los países de un nivel de desarrollo intermedio, la intensidad de capital por trabajador mexicano está por encima de Rusia o Argentina, y muy parecida a la de Brasil. Esto significa que la inversión en capital no se ha agotado aún como una forma de mejorar los niveles de competitividad, aunque, debido a los rendimientos marginales decrecientes, ya no contaría con el empuje que poseía en las primeras fases del proceso de industrialización mexicano, y tendría que ir acompañado de una estrategia basada en la innovación.

1.3.3. Reducción de los costos salariales como forma de competir

La función de los costos como determinante de la competitividad (internacional) es ampliamente reconocida. Por ello, el precio del empleo (los salarios) y los ajustes en términos de tipo de cambio se podrían considerar esenciales para poder competir. La moderación salarial como forma de recuperar la competitividad –tendencia acentuada durante la gran crisis económica de este siglo– es un aspecto relacionado con la productividad, a menudo, mal interpretado. Tal moderación no siempre es acertada y aparentemente solo funciona a corto plazo. La mejora de la competitividad se puede obtener a corto plazo y también mediante la disminución de los salarios. Pero si los competidores de otros países siguen la misma estrategia, los beneficios se desvanecen, conduciendo a una competición destructiva que genera un proceso recesivo en cadena asentado en un continuo deterioro de los salarios, y se volvería a la situación inicial sin que ningún país haya mejorado su

situación competitiva.²³ La innovación sería el camino para mejorar la productividad y, por consiguiente, la competitividad; con esto, cada trabajador sería, mediante el uso de máquinas modernas, capaz de producir más unidades en menos tiempo, aumentando, así, el valor añadido de su actividad (innovación de proceso) y permitiéndole competir con sus competidores extranjeros. Un país como España solo podrá ser competitivo si ofrece productos con una relación calidad–precio mejor que sus competidores.

Otra razón es que la reducción de los salarios no es una opción real para muchos países con un costo salarial intermedio (como España, Grecia, Portugal o, incluso, Argentina o Colombia), ya que no pueden competir con países con salarios realmente bajos. Como se observa en la tabla 1.1, los países económicamente más avanzados tienen un costo laboral (CL) de unos USD 40.00 por hora, mientras que países como México y China están en alrededor de USD 4.00 e India, incluso, por debajo de USD 2.00. De esta manera, para muchos países –incluso aquellos con costos laborales intermedios como Argentina o Colombia (con un CL por encima de los USD 10.00)– será difícil rivalizar con base en salarios aún más bajos, y habrá que competir en términos de calidad, prestaciones del producto o productividad, reorientando las actividades productivas hacia una economía de conocimiento. Ante esto, lo que realmente importa es el costo laboral unitario (CLU), que es la remuneración por asalariado, dividido entre la productividad por ocupado. El CLU se puede mejorar controlando los costos salariales o aumentando la productividad laboral. Esta, a su vez, se puede mejorar aumentando la cantidad producida o produciendo productos de un mayor valor añadido, es decir, más innovadores. De hecho, los países con salarios altos (Estados Unidos y Alemania) compensan sus altos costos laborales mediante una mayor intensidad de capital y, sobre todo, por medio de la introducción de productos nuevos, es decir, la innovación. En la tabla 1.1, se puede observar que el capital per cápita de estos dos países triplica el nivel de México y, sobre todo, se observa una diferencia todavía más acentuada respecto a su gasto en I+D y el porcentaje de empresas innovadoras; este último es una necesidad que tiene en cuenta los RMD del capital por trabajador.

Una política tradicionalmente aplicada por muchos países para promover o mantener su nivel de competitividad en el mercado internacional ha sido

²³ Es evidente que el efecto sobre la competitividad depende de que la producción de un país sea más o menos intensiva, en empleo, que la de sus competidores, pero existe teóricamente una situación donde ninguno de los países ha ganado o perdido competitividad.

la reducción de los costos mediante el ajuste de los tipos de cambio. Igual que en el caso de una reducción salarial, se trataría de una forma artificial de bajar los precios sin que realmente se aumente la productividad o producción real. Además, al igual que se ha observado en el caso de la reducción de los salarios, si la misma política se aplica en los demás países, se volvería a al estado inicial, sin que ningún país haya mejorado su situación.

Por lo tanto, se puede argumentar que un modelo de crecimiento basado en salarios bajos y ajustes en el tipo de cambio, alejado de la inversión en capital y, especialmente, en innovación, contrastaría con el objetivo de crear un mayor bienestar para su población, que solo puede conseguirse con una mayor productividad laboral. De hecho, existen algunos países –como Singapur entre la década de 1960 y 1970– que implementaron una política de aumento salarial continuo (<https://bit.ly/3qbMLOk>), para forzar a las empresas a que apostaran por la innovación y por una mayor intensidad de capital por trabajador. No se debe olvidar que, al final, una política de salarios reales bajos es incompatible con el objetivo de un mayor nivel de bienestar. Y, como se ha indicado, en términos de desarrollo, a partir de un cierto nivel económico, no se puede competir en salarios bajos, sino que la única forma de competir se debe enfocar en aspectos de innovación.

En otras palabras, a largo plazo, la única forma de mantener un crecimiento sostenible y de crear un mayor nivel de vida para la población sería producir bienes con un alto valor añadido y/o aumentar de forma sustancial la productividad (innovación de proceso); ambos son necesariamente la consecuencia del proceso de innovación donde el crecimiento no depende –a largo plazo– del precio del trabajo, es decir, de los salarios.

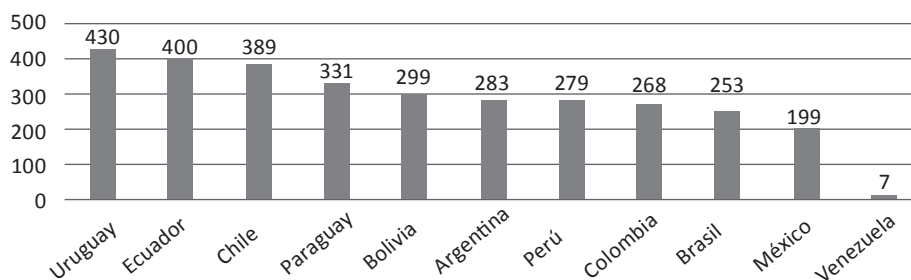
Observando el nivel de salarios de México, se puede concluir que este país cuenta con unos costos laborales relativamente bajos. En el anexo 1.1, se recoge un estudio del Instituto de la Economía Alemana [IWD, 2018], en el que se publican los costos salariales para 2016 de 45 países, donde México ocupa el puesto 37.²⁴

²⁴ Entre los países de esta lista que cuentan con costos salariales menores a México, se encuentran siete países del viejo bloque soviético (incluidos Rumania y Rusia). Se puede observar que en la tabla 1.1 que Rusia tiene un costo salarial mayor que México, y en el anexo 1.1 tiene un costo menor. Las discrepancias se deben a diferencias metodológicas. La tabla 1.1. recoge el nivel salarial global, mientras que el estudio de IWD se basa en los salarios del sector manufacturero. Además, en este tipo de comparaciones, los datos de un año a otro pueden verse alterados por los tipos de cambio. Este hecho no influye sobre las conclusiones aquí mencionadas, ya que en este capítulo se indican, sobre todo, las tendencias y su relación con la competitividad.

Sin embargo, esta tabla no recoge datos de los países menos desarrollados o en desarrollo. Resulta que el costo laboral de México es parecido al de China e India, aunque no cabe duda de que existe un gran número de países con salarios aún más bajos. Parece que entre el grupo de países con un desarrollo industrial similar al de México tiene un costo salarial bajo, por lo que sería competitivo en este aspecto, aunque no puede presentarse como un país de salarios bajos que le permita competir en costo en vez de calidad y prestaciones de su producto, es decir, la innovación. Otro aspecto sorprendente es que el nivel salarial de México es menor a lo que se podría esperar, tomando en cuenta su nivel de capital por trabajador. Por esto, se debe insistir de nuevo en la importancia de la innovación tanto para ganar competitividad como para mejorar el nivel de vida de sus habitantes. “El origen habría que buscarlo en el deterioro sistemático de la productividad media del capital, toda vez que la economía habría registrado ahorros positivos en la cuantía de los insumos de mano de obra” [Hernández Laos, 2005: 21]. Además de los costes salariales medios en la figura 1.2, se indican los costes salariales mínimos de diversos países de América Latina, donde México continúa en los últimos lugares.

El salario mínimo en México ha estado contenido por la política gubernamental, para corregir las finanzas públicas y abatir la inflación. “A la vez, su rezago servía para comprimir los costos laborales –vía precios y no tanto vía productividad–; una ventaja competitiva de la inserción de México en la economía mundial” [Moreno-Brid, *et al.*, 2014: 83-84].²⁵

Figura 1.2 *Salario mínimo mensual en países seleccionados de América Latina para 2020 (en dólares estadounidenses)*



Fuente: Statista [2020].

²⁵ A partir de 2018, el salario mínimo aumento 10 %, y en 2019, 16 %, por iniciativa del nuevo gobierno (2018-2024).

Todas estas cifras son difíciles de interpretar en términos de ventajas o desventajas. No cabe duda de que un salario menor pueda implicar ciertas ventajas –sobre todo para el sector de turismo o del sector manufacturero–, pero, como ya se indicó, no es una estrategia que a largo plazo asegure una mayor productividad. Según Krugman (1994), la capacidad de un país para mejorar su nivel de vida depende casi enteramente de su capacidad de aumentar su productividad, mientras que la moderación salarial y los salarios bajos detectados para el caso de México implican una pérdida continua del nivel de vida –medida en el salario real–. Las estimaciones de la Oficina Internacional de Trabajo [2018], indican que el promedio del salario real en México ha disminuido desde 2008 casi un 20 %, mientras que los habitantes de otros países emergentes han visto crecer su poder de compra entre 20 y 60 % (igual que Brasil, Sudáfrica, Turquía, Indonesia o India), y China, incluso, ha visto duplicar su salario real. Tal situación implica una carga laboral (horas de trabajo semanales o diarias) importante. Los estudios de la International Labour Office (ILO) estiman que en los países más avanzados 10 % de los trabajadores superan la semana laboral de 50 horas, mientras que en los países en desarrollo casi una tercera parte de los trabajadores superan esta barrera. En el caso de los países latinoamericanos, este porcentaje llega a 22 % y en México está en 29 % [OCDE, 2019].

A manera de conclusión, tanto desde una perspectiva social²⁶ como en términos de mejora de la productividad, sería indeseable que México siga en el sendero de la moderación salarial para conseguir un mayor nivel de competitividad a costa de los trabajadores que, además, no participan en los beneficios obtenidos en el mercado internacional; por el contrario, México debe apostar por un cambio de estrategia productiva basada en el conocimiento.

1.3.4. La internacionalización del mercado como forma de crear competitividad

Promover la internacionalización de las empresas y su penetración en los mercados internacionales puede ser una estrategia para crear un sistema productivo nacional más competitivo. La presión del mercado internacional obliga a las empresas a un extraordinario esfuerzo para ofrecer productos de una mayor calidad-precio. En efecto, se considera que en economías nacionales sobreprotegidas (proteccionismo), donde las empresas no soportan la

²⁶ Para los lectores interesados, se puede destacar el trabajo de Heijs y Arenas [2020], donde se tratan las paradojas sociales y económicas de la relación entre innovación y empleo.

presión competitiva del mercado internacional, se genera, a menudo, un sistema productivo menos innovador y competitivo, ya que las empresas nacionales pueden permitirse el lujo de ser menos eficientes sin perder su cuota del mercado. Por otro lado, la competitividad de las economías nacionales a nivel internacional se mide frecuentemente conforme a su éxito en los mercados internacionales, reflejado en las ganancias o pérdidas de cuotas.

Sin embargo, tal proceso de internacionalización está directamente ligado a la capacidad innovadora de las empresas, debido a que las grandes empresas multinacionales –en su gran mayoría pertenecientes a los países avanzados– que en muchos sectores dominan el mercado internacional no solo son el motor del sistema innovador nacional, sino que lideran el sistema innovador global. Este tipo de empresas son responsables de 55 % del gasto en I+D internacional y 90 % de la I+D empresarial [EP, 2018], de manera que la ausencia de este en empresas multinacionales potentes de un cierto país dificultaría mucho su crecimiento. Todo ello no implica que las pymes no tienen posibilidades de competir en el mercado internacional, pero, en su caso, la innovación es casi una obligación.

El trabajo de Ascensión Barajas [2006], basado en estudios de casos de empresas medianas, debate la idea de que los conceptos de internacionalización de la empresa e innovación se convierten en un binomio indisoluble y estratégico donde necesariamente ambos se refuerzan mutuamente. La mayor parte de estos factores son intangibles, es decir, no tienen un valor material y cuantificable, y “los gestores que han entendido que innovar era la solución han sabido conjugar sus capacidades internas con el acceso al conocimiento externo, siempre evitando perspectivas miopes y considerando el mundo como su entorno de referencia” [Barajas, 2006: 81]. También es verdad que algunas de las empresas solo han podido entrar en el mercado mundial por medio de los *activos complementarios*²⁷ de las grandes multinacionales, como, entre

²⁷ Según David Teece [1986], los activos complementarios son activos necesarios para la comercialización exitosa de las nuevas innovaciones, tanto para su introducción inicial en el mercado como para su utilización y difusión. Pueden ser genéricos, en este caso, porque no requieren un ajuste específico para comercializar las nuevas innovaciones, por lo que su rentabilidad no depende solo de este nuevo producto, como la maquinaria productiva tradicional, canales de distribución tradicionales o las infraestructuras básicas de transporte y telecomunicaciones. Por otro lado, existen los activos complementarios especializados que implican una dependencia entre la innovación y el activo. Se trataría de activos (destrezas y habilidades humanas o activos físicos) que pierden total o parcialmente su valor, mientras que el producto (nuevo) deja de comercializarse. Por esta razón, las inversiones en ellos son arriesgadas. En algunas ocasiones, solo las

otros, el acceso a sus canales de distribución y logística de transporte, o compartiendo –aunque sea de forma indirecta– su reputación o confiabilidad. Es decir, en el momento de querer concurrir con éxito en el mercado internacional, se debe competir con las grandes multinacionales que controlan gran parte del mercado y canales de distribución. Por esto, competir en estos mercados resulta muy difícil. En realidad, las políticas tecnológicas estatales deberían concentrarse no solo en el gasto en I+D, sino también en la gestión de su comercialización mediante estos activos complementarios.

Aunque no cabe duda de que la competición en el mercado internacional implica una presión a las empresas para mejorar al máximo la relación calidad-precio de sus bienes, Krugman [1994], en su trabajo *Competitividad: una obsesión peligrosa*, aclara que no se puede simplificar la medición de la competitividad de un país, según su fuerza o éxito en el mercado internacional, como si de una empresa se tratara. Las empresas multinacionales y los países compiten de forma muy diferente en el mercado, puesto que dichas multinacionales venden casi toda su producción en el mercado internacional, mientras que los países (grandes) –y por ello la mayoría de sus empresas– venden solo una parte relativamente pequeña de su PIB en el exterior [Krugman, 1994]. Como indica Raúl Prebisch “la solución no está en crecer a expensas del comercio exterior, sino de saber extraer de un comercio exterior cada vez más grande, los elementos propulsores del desarrollo” [1950: 7], que son, en gran parte, la modernización del sistema productivo y una mejora de sus capacidades tecnológicas.

Por lo tanto, un debate elemental, con unas consecuencias importantes respecto a la innovación empresarial, la comercialización de las innovaciones y al diseño de las políticas de innovación, sería la función de la estructura de mercado y –como se acaba de indicar– la importancia de contar con grandes empresas multinacionales. Este tema es especialmente importante en el caso de países latinoamericanos, como México, donde la inmensa mayoría de las empresas son pequeñas y medianas (pymes) con escaso acceso a muchos de los activos complementarios, que, además, afrontan barreras de entrada importantes para entrar en los mercados internacionales.

grandes empresas pueden afrontarlo generando un monopolio y barreras de entrada en el mercado importante. Si el innovador o inventor inicial no dispone de tales activos especializados o no es capaz de contratarlos y/o desarrollarlos (a tiempo), las empresas seguidoras o imitadoras que sí disponen de ellos podrían apropiarse de una parte más o menos importante de los beneficios. Este problema afectaría sobre todo a las pymes y a la gran mayoría de las empresas en los países menos avanzados.

Otro aspecto de la internacionalización como forma de crear ventajas competitivas nacionales sería la atracción de inversiones extranjeras. “La inversión extranjera directa puede ser crucial para estimular el cambio y la innovación, y para traer nueva tecnología y conocimiento a un país” [De Mello, 1997; Álvarez y Marín, 2013; Aubert, 2005; Heijts, 2006], como lo ilustran los ejemplos de China y Malasia. La inversión de las empresas extranjeras no solo implica aportación en términos de fondos financieros, sino también la introducción de nuevas tecnologías productivas, organizativas y comerciales [Blomstrom, 2003].

Las empresas nacionales pueden aprender de sus competidores extranjeros mediante la interacción directa con ellos como proveedores o clientes o porque su presencia en el mercado nacional les permite obtener de forma indirecta tales conocimientos. En el primer caso, serían externalidades deseadas o por medio de acuerdos explícitos o implícitos entre las empresas extranjeras, mientras que los efectos de desbordamiento serían indirectos y no deseados, como la imitación, la movilidad de capital humano, etc. A estos efectos indirectos, se les incluye el mayor esfuerzo innovador de las empresas nacionales generado por la presión competitiva de las empresas extranjeras.

Las implicaciones de este debate respecto a la política de I+D+i no son del todo baladíes, ya que las ventajas fiscales y subvenciones directas para tales actividades pueden ser una forma de atraer a las empresas extranjeras.

1.4. *Reflexiones finales*

Analizando los datos y argumentos mencionados, se puede llegar a diversas conclusiones. La primera: la competitividad de un país depende, cada vez más, de la capacidad de las empresas para realizar innovaciones, por lo que una cultura innovadora sería primordial para su futuro económico. A partir de los enfoques teóricos, se puede tener un mayor alcance de apreciación, confirmando la importancia de impulsar las actividades de innovación para lograr mejores resultados en el crecimiento, y mejorar la productividad que permitirá mejores condiciones en las empresas para su competencia en los mercados locales e internacionales. La competitividad depende esencialmente de la productividad –medida en términos de valor añadido por trabajador– que, a su vez, depende de la capacidad de innovación de producto (calidad y prestaciones), de la eficiencia productiva basada en las innovaciones de proceso y su difusión en el sistema productivo. Segunda: la presencia de grandes empresas –especialmente empresas multinacionales con ventajas de escala en I+D y que

disponen de activos complementarios— se puede considerar básica para un sistema de innovación o para la competitividad de un país. Por esta razón, los países menos desarrollados con gran presencia de pymes y microempresas, y con ninguna o muy pocas empresas multinacionales tienen una gran desventaja. Y tercera: se debe conseguir un equilibrio entre las actividades científicas y la transformación de sus resultados en innovaciones, lo que requiere buenas capacidades innovadoras por parte de las empresas.

En la segunda parte del capítulo, se ha reflejado un debate sobre las interrogantes y controversias de los distintos determinantes de la competitividad, como la inversión en capital, la reducción de salarios y, sobre todo, la importancia de la innovación. Por medio del análisis y los datos empíricos presentados, parece claro que solo se puede obtener un alto nivel de bienestar si un país o región basa su competitividad en el avance científico y en el cambio tecnológico. Aún con el hecho de que la gran mayoría de las empresas del mundo no innovan, esto implica que se puede competir, obtener beneficios y lograr sobrevivir en el mercado sin llevar a cabo tales actividades; sin embargo, los datos empíricos confirman que los países más competitivos y con un mayor nivel de desarrollo económico son los más innovadores. Además, según aumenta el nivel de bienestar (salario medio) y la intensidad de capital por trabajador en el sector productivo, la innovación se hace cada vez más importante para asegurar la competitividad y el crecimiento económico.

El gran salto histórico del bienestar económico y el nivel de vida se basa en la industrialización, siendo, en realidad, una transformación del proceso productivo mediante la innovación de proceso, que generó un enorme aumento de productividad.²⁸ Desde el inicio de la industrialización, se ha visto —en los países avanzados— un aumento del nivel de vida por medio de inversiones en el desarrollo y la difusión de bienes de capital.²⁹ En el debate sobre los RMD del capital por trabajador en términos de productividad, se ha resaltado el efecto cambiante de la función de la inversión en capital. Al inicio del proceso de desarrollo de un país —todavía en una situación preindustrial—, un aumento relativamente pequeño de capital por trabajador genera un aumento grande de la productividad —con un efecto importante

²⁸ Por ejemplo, las primeras máquinas del sector textil (máquina Crompton de 1780) multiplicaron la productividad por 25, y desde la fase preindustrial hasta la década de 1990, la productividad del sector textil se ha multiplicado 1 250 veces [Freeman *et al.*, 2001].

²⁹ Incluyendo la maquinaria y el saber, como técnico, del proceso productivo, la infraestructura pública (para el transporte, las telecomunicaciones, etc.) y en capital humano.

sobre el nivel de vida y la convergencia económica—. Sin embargo, debido a los RMD, el efecto agregado de la inversión en capital sobre la productividad se hace cada vez menor, por lo que las empresas o países con un alto nivel de capital por trabajador deben buscar otra forma de mejorar la productividad y, por ende, de competir.

También la función de los salarios y el ajuste del tipo de cambio –otros dos de los determinantes tradicionales de la competitividad– han visto alterar su importancia, y ambos han perdido cierto potencial para mejorar la competitividad de los países más avanzados. Según vaya aumentando el nivel de bienestar económico de un país –que por definición implica costos salariales crecientes–, será cada vez más difícil de competir en costos. Tampoco los ajustes en el tipo de cambio tendrán suficiente poder de compensación para alterar la situación competitiva de estos países respecto a aquellos con salarios bajos que compiten en los mercados internacionales por medio de costos. Además, se ha comentado que los ajustes en términos de salarios y tipo de cambio para bajar los costos son mecanismos artificiales, ya que la mejora de la competitividad se puede obtener a corto plazo mediante una disminución de los salarios o un ajuste del tipo de cambio. Pero si los competidores de otros países siguen la misma estrategia, los beneficios disminuirían y se entraría en una competición destructiva, que genera un proceso recesivo en cadena, asentado en un continuo deterioro de los salarios, y se volvería a la situación inicial sin que ningún país haya mejorado su situación competitiva.

En ambos casos, se trata de un ajuste del precio sin que este se base en un aumento real de productividad. Es decir, no se aumenta el bienestar del país gracias a una mayor producción por habitante. Por esta razón, la innovación sería el único camino para mejorar la productividad y, por consiguiente, la competitividad; de esta manera, cada trabajador, mediante el uso máquinas modernas, sería capaz de producir más unidades en menos tiempo o producir productos de mayor calidad y prestaciones, aumentando, así, el valor añadido de su actividad y permitiéndole enfrentarse con sus competidores extranjeros.

Cabe destacar que esta visión de las diversas secciones refleja, sobre todo, la realidad aparente de los países más avanzados, pero su entendimiento puede ofrecer lecciones respecto al modelo de desarrollo de los países menos avanzados.³⁰ Como ya se ha dicho, aunque una empresa no necesariamente

³⁰ Los autores de este capítulo son conscientes de que las causas del subdesarrollo no solamente se basan exclusivamente en los determinantes de la competitividad aquí tratados. Existen muchos autores que explican mejor las causas del subdesarrollo, entre otros, Singer [1950]; Prebisch, [1950, 1968]; Chang, [2004], y Harvey *et al.* [2010].

deba ser innovadora para competir, se puede deducir que para un país o región la innovación es fundamental para ser competitivos y tener un mayor nivel de bienestar. Y es justamente en los países menos desarrollados donde la presencia de las empresas innovadoras es muy baja, y, además, estos países tienen desventajas en términos del tamaño de sus empresas, la falta de multinacionales propias y de activos complementarios.

Una política de moderación salarial beneficiaría principalmente a las empresas menos innovadoras con un valor añadido menor de sus productos. Sin embargo, un país que quiera crear para sus ciudadanos un alto nivel de bienestar a largo plazo y sostenibilidad en el mercado debe iniciar una política económica no basada en salarios bajos, sino en innovación, asegurando que la cultura empresarial de ese país se aleje de la búsqueda de beneficios a corto plazo. Se debe conseguir que las empresas no consideren la innovación como un costo a corto plazo, sino como una inversión estratégica con efectos a largo plazo. Para ello, un gobierno, como el de México, debería recuperar su empuje por medio de políticas para promover la innovación y, al mismo tiempo, asegurar que estas ayudas se utilicen de forma efectiva y eficiente con una modernización institucional de los distintos agentes públicos (y privados) de I+D.

De forma muy breve, se ha referido la necesidad de tener acceso a activos complementarios para introducir con éxito las innovaciones en el mercado, donde un aspecto directamente relacionado es el tamaño de las empresas y/o la tarea de las empresas multinacionales. Este debate es muy importante para países en desarrollo –como México– o con un nivel de desarrollo intermedio –como España, Grecia o Portugal–, cuyo sistema productivo está basado primordialmente en empresas pequeñas y medianas que se encuentran con muchas barreras de entrada al momento de entrar en los mercados internacionales, especialmente, si depende de activos complementarios costosos de difícil acceso, principalmente los canales de distribución y marcas de confianza. No se debe olvidar que la propiedad de la gran mayoría de los activos complementarios está dominada por las grandes empresas multinacionales y/o por los propios países avanzados, mientras que la estructura productiva de los países en desarrollo o de un nivel económico intermedio tiene relativamente pocas empresas grandes y, aún menos, empresas multinacionales. Tales empresas deberían ser una locomotora para empujar el desarrollo económico de sus países y para promover la creación de una

En este capítulo, se ha tratado de analizar la función general de estos determinantes y explicar algunas implicaciones para los países en desarrollo.

red de cooperación (tipo clúster, en términos de Porter). Dichos conglomerados deberían facilitar el acceso de las pymes a los activos complementarios necesarios para poder comercializar con éxito sus innovaciones en el mercado nacional y, sobre todo, a nivel internacional.

Por todo ello, resulta difícil para las empresas de los países en desarrollo –como México– competir en los mercados internacionales con sus innovaciones. No cabe duda de que el nivel tecnológico de estos países es muy bajo, pero, incluso, si un talento excepcional consigue realizar inventos importantes y convertirlos en innovaciones, su éxito en los mercados internacionales está muy lejos de estar asegurado. Por lo tanto, se justificarían las ayudas a la innovación, especialmente, en el caso de las pymes que intentan competir en el mercado internacional afrontando mercados, a menudo, muy competitivos. Además, se podría derivar –respecto a la política de I+D y de innovación– la necesidad de crear ventajas de escala, entre otras, promoviendo la cooperación entre las empresas y la creación de clústeres. O, quizás tales políticas deberían tener en cuenta la creación de activos complementarios para las empresas de su país.

Por último, se puede destacar que los datos de México reflejan una situación preocupante porque su nivel de desarrollo ha quedado estancado. Los datos de la productividad laboral son representativos de este estancamiento, no solo porque en casi 50 años solo ha aumentado 16 %, sino porque los demás países analizados en los gráficos, varios de ellos partiendo de un nivel de desarrollo mucho menor, han sido capaces de crecer y mejorar el nivel de vida de sus trabajadores. Por esto, México debe repensar su modelo de crecimiento, y, como se ha señalado, la innovación sería uno de los factores importantes para la recuperación.

REFERENCIAS

- Acemoglu, Daron & James A. Robinson [2012], *Why Nations Fail: The Origins of Power, Prosperity, and Poverty*, New York, Crown Business.
- Aghion, Philippe & Howitt, Peter [1992], "A Model of Growth Through Creative Destruction," *Econometrica*, 60(2), 323-351.
- Alvarez, Isabel & Marin, Raquel [2013], "FDI and Technology as Levering Factors of Competitiveness in Developing Countries", *Journal of International Management*, 19(3): 232-246.
- Aragón-Sánchez, Antonio & Sánchez-Marín, Gregorio [2005], "Strategic Orientation, Management Characteristics and Performance: A Study of Spanish SMEs", *Journal of Small Business Management*, 43(3): 287-308.
- Arnold, Erik & Giarracca, Flora [2012], "Getting the Balance Right: Basic Research, Missions and Governance for Horizon 2020", *Technopolis* [Group]. Research Report prepared for the European Association of Research and Technology Organisations published as a working paper University Twente, Netherlands. Recuperado en <<https://bit.ly/3hQf6Y7>>.
- Arrow, Kenneth J. [1962], "Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention". In National Bureau of Economic Research, NBER (ed.), *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors* (609-626), Princeton, Princeton University Press.
- Aubert, Jean-Eric [2005], *Promoting Innovation in Developing Countries: A Conceptual framework, Policy Research Working Paper*, 3554. World Bank, Washington, D.C., The World Bank.
- Barajas, Ascensión [2006], "Innovación e internacionalización, un binomio indisoluble: Presentación de ocho casos empresariales", *ICE, Revista De Economía* (830).
- Barney, Jay [1991], "Firm Resources and Sustained Competitive Advantage", *Journal of Manangement*, 17(1): 99-120. Recuperado de: <<http://bit.ly/2VXU5SF>>.
- _____ [2001], "Is the Resource-Based "View" a Useful Perspective for Strategic Management Research? Yes", *Academy of Management Review*, 26(1): 41-56.
- Broughel, James & Thierer, Adam D. [2019], "Technological Innovation and Economic Growth: A Brief Report on the Evidence", *Mercatus Research Paper*.
- Chang, Ha-Joon [2002], *Kicking Away the Ladder: Development Strategy in Historical Perspective*, London, Anthem Press.

-
- _____ [2012], “Kicking Away the Ladder: Neoliberalism and the ‘Real’ History of Capitalism”, in *Developmental Politics in Transition* (pp. 43-50), London, Palgrave Macmillan.
- Chang, Ha-Joon & Salomón, Mónica [2004], *Retirar la escalera: la estrategia del desarrollo en perspectiva histórica*, Madrid, Catarata.
- Cimoli, Mario & Dosi, Giovanni [1994], “De los paradigmas tecnológicos a los sistemas nacionales de producción e innovación”, *Comercio Exterior*, 44(8): 669-682.
- Cirera, Xavier; Frías, Jaime; Hill, Justin & Li, Yanchao [2020], *A Practitioner’s Guide to Innovation Policy: Instruments to Build Firm Capabilities and Accelerate Technological Catch-Up in Developing Countries*, Washington, The World Bank . Retrieved from <<https://bit.ly/2Rw6Lhw>>.
- Cohen, Wesley & Levinthal, Daniel [1989], “Innovation and Learning: The two Faces of R&D Implications for the Analysis of R&D Investment”, *The Economic Journal*, 99(397): 569-596.
- _____ [1990], “Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation”, *Administrative Science Quarterly*, 35, 128-152.
- Comin, Diego [2010], “Total Factor Productivity”. In: Durlauf S.N., Blume L.E. (eds.) *Economic Growth. The New Palgrave Economics Collection*, London, Palgrave Macmillan. Retrieved from: < https://doi.org/10.1057/9780230280823_32>.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) [1992], *Indicadores de actividades científicas y tecnológicas*, México, Conacyt.
- Corona Juan M.; Dutrénit, Gabriela; Puchet, Martín & Santiag, Fernando [2013], “La co-evolución de las políticas de CTI, el sistema de innovación y el entorno institucional en México”, en Crespi, Gustavo y Gabriela Dutrénit, *Políticas de ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo. La experiencia latinoamericana*, México, FCCyT.
- Dankbaar, Ben & Visser, Geert [2010], “The Changing Role of the Firm”, in Ruud E. Smits, Stefan Kuhlmann & Phillip Shapira (eds.), *The theory and practice of innovation policy* (51-74), Cheltenham, Edward Elgar.
- De Mello, Luiz [1997], “Foreign Direct Investment in Developing Countries and Growth: A selective Survey”, *The Journal of Development Studies*, 34(1): 1-34.
- Dosi, Giovanni; Freeman, Christopher & Fabiani, Silvia [1994], “The Process of Economic Development. Introducing Some Stylized Facts and Theories on Technologies, Firms and Institutions”, *Industrial and Corporate Change*, 3(1): 1-45.
- Edquist, Charles [1997], *Systems of innovation: Technologies, Institutions and Organizations*, London, Psychology Press.

- Edquist, Charles & Johnson, Björn [1997], "Institutions and Organisations in Systems of Innovation", in Charles Edquist (ed.), *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*, Pinter, London: 41-63.
- Ennen, Edgar & Richter, Ansgar [2010], "The Whole is More than the Sum of its Parts-or is it? A Review of the Empirical Literature on Complementarities in Organizations", *Journal of Management*, 36(1): 207-233.
- ERA-watch [2009], *Analysis of Policy Mixes to Foster RD Investment and to Contribute to the ERA*, ERA-watch Network. Retrieved from <<https://bit.ly/37fj8Dl>>.
- Eschner, Kat [2017], "The Father of Canning Knew His Process Worked, But Not Why It Worked", *Smithsonian Magazine*. Retrieved from <<https://bit.ly/3zGm8FG>>.
- European Commission [2011], *European competitiveness report 2001*, Luxemburg. Retrieved from <<https://bit.ly/2TLrMWC>>.
- _____ [2015], *The 2015 EU industrial R&D Investment Scoreboard Report*. Retrieved from <<https://bit.ly/3xweITw>>.
- _____ [2017], *EU Industrial R&D Investment Scoreboard*. Retrieved from <<https://bit.ly/3wwwPjD>>.
- European Parliament [2004], "Science and Technology, the Key to Europe's Future - Guidelines for Future European Union Policy to Support Research", COM (2004) 353, Brussels.
- _____ [2005], *Report on Science and technology - Guidelines for future European Union policy to support research*. Retrieved from <<https://bit.ly/3wvxg5F>>.
- _____ [2018], *EU R&D Scoreboard*. Retrieved from <<https://bit.ly/3vcx8Cr>>.
- Freeman, Christopher [1994], "The Economics of Technical Change", *Cambridge Journal of Economics*, 18(5), 463-514.
- _____ [1995], "The 'National System of Innovation' in Historical Perspective", *Cambridge Journal of Economics*, 19, 5-24.
- _____ [1997], "The Diversity of National Research Systems", Ch. 1. In Barre, Remi, Gibbons, Michael, Maddox, John, Martin, Ben, Papon, Pierre (eds.), *Science in Tomorrow's Europe*, Paris, Economica International.
- _____ [2004], "Sistema de innovación continental, nacional y subnacional. Interrelación y crecimiento económico", *Ekonomiaz* (56), 46-83.
- Freeman, Christopher; Clark, John & Soete, Luc [1985], "La teoría schumpeteriana del ciclo económico y la innovación". En *Desempleo e innovación tecnológica. Un estudio de las ondas largas y el desarrollo económico*, Madrid, Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.

- Galbraith, John K. [1952], *A Theory of Price Control*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- Geroski, Paul [1995], “Markets for Technology: Knowledge, Innovation and Appropriability”, en Paul Stoneman, *Handbook of the economics of innovation and technological change*, New Jersey, Wiley-Blackwell.
- Grossman, Gene & Helpman, Elhanan [1991], *Innovation and growth in the global economy*, Cambridge, Mass., MIT press.
- Halty-Carrère, Maximo [1986], *Estrategias del desarrollo tecnológico*, México, El Colegio de México.
- Harvey, David; Kellard, Neil; Madsen, Jacob & Wohar, Mark [2010], “The Prebisch-Singer Hypothesis: Four Centuries of Evidence”, *The Review of Economics and Statistics*, 92(2), 367-377.
- Heijs, Joost [2006], “El papel de las empresas extranjeras en el desarrollo tecnológico de las economías nacionales”, *ICE, Revista de Economía* (830).
- Heijs, Joost; Buesa, Mikel, Vergara Reyes, Delia; Gutiérrez, Cristian; Arenas Díaz, Guillermo y Guerrero, Alex [2020], *Innovación, crecimiento y competitividad: El papel de la política tecnológica en España*, Madrid, Estudios de la Fundación, 94. La Fundación de las Cajas de Ahorros (Funcas).
- Heijs, Joost y Díaz, Guillermo A. [2020], “Innovación y empleo. Paradojas sociales y económicas”, *TEUKEN BIDIKAY. Revista Latinoamericana de Investigación en Organizaciones, Ambiente y Sociedad*, 11(16): 55-90.
- Helpman, Elhanan [2004], *The Mystery of Economic Growth*, Cambridge, Mass., Belknap, 33-34.
- Hernández Laos, Enrique [2005], “La productividad en México. Origen y distribución, 1960-2002”, *Economía UNAM*, 2(5): 7-22.
- Hounie, Adela, Pittaluga Lucía, Porcile Gabriel y Statolin Fabio [1999], La CEPAL y las nuevas teorías del crecimiento, *Revista Cepal* 68, Santiago de Chile.
- Isaksson, Anders [2009], “The UNIDO World Productivity Database: An Overview”, *International Productivity Monitor* (18).
- Instituts der deutschen Wirtschaft (IWD) [2018], *Teurer Standort Deutschland (Der Informationsdienst des Instituts der deutschen Wirtschaft*. Retrieved from <<https://bit.ly/2RDCqOs>>.
- Harvey, David; Kellard, Neil; Madsen, Jacob & Wohar, Mark [2010], “The Prebisch-Singer Hypothesis: Four Centuries of Evidence”, *The Review of Economics and Statistics*, 92(2), 367-377.
- Freeman, Christopher & Louçã, Francisco [2001], *As Time Goes by: from the Industrial Revolutions to the Information Revolution*. Oxford, Oxford University Press.

- Jones, Charles & Romer, Paul [2010], “The New Kaldor Facts: Ideas, Institutions, Population, and Human Capital”, *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2(1): 224-245.
- Kendrick, John [1961], *Productivity Trends in the United States*, Princeton, Princeton University Press.
- Krugman, Paul [1994], “Competitiveness: A Dangerous Obsession”, *Foreign Affairs* (73): 28-44.
- Lall, Sanjaya; Albaladejo, Manuel & Moreira, Mauricio M. [2005], *La competitividad industrial de América Latina y el desafío de la globalización*, Buenos Aires, BID-INTAL.
- Levin, Richard; Klevorick, Alvin, Nelson, Richard; Winter, Sidney; Gilbert, Richard & Griliches, Zvi [1987], “Appropriating the Returns from Industrial Research and Development”. *Brookings Papers on Economic Activity* (3): 783-831.
- Lippman, Steven A.; Rumelt, Richard P. [1982], “Uncertain imitability: An analysis of interfirm differences in efficiency under competition”, *The Bell Journal of Economics*, 418-438.
- Lucas, Robert [1988], “On the Mechanics of Development Planning”, *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3-42.
- Lundvall, Bengt-Åke; [1992] *National Systems of Innovation: Toward a Theory of Innovation and Interactive Learning*, London, Printer.
- [1997], “The Globalising Learning Economy: Implications for Innovation Policy Brussels”, *DG XII Comission of the EU*.
- Lundvall, Bengt-Åke & Borrás, Susana [1997], “The Globalising Learning Economy: Implications for Innovation Policies”, *Report of the TSER, Program DG XII*, Commission of the European Union, Brussels.
- Lundvall, Bengt-Åke; Johnson, Björn; Andersen, Esben & Dalum, Bent [2002], “National Systems of Production, Innovation and Competence Building”, *Research Policy*, 31(2): 213-231.
- Mankiw, Gregory; Romer, David & Weil, David [1992], “A Contribution to the Empirics of Economic Growth”, *The Quarterly Journal of Economics*, 107(2), 407-437.
- Malerba, Franco & Orsenigo, Luigi [1996], “Technological Regimes and Firm Behaviour”, in *Organization and Strategy in the Evolution of the Enterprise* (42-71), London, Palgrave Mcmillan.
- Marx, Karl [1982], “Progreso técnico y desarrollo capitalista. Manuscritos 1861-1863”, en *Cuadernos de Pasado y Presente*, 93, México, Siglo XXI.
- [2008], Contribución a la crítica de la economía política, Editorial Siglo XXI, México. Recuperado de <http://ecopol.sociales.uba.ar/wp-content/uploads/sites/202/2013/09/Marx_Contribuci%C3%B3n-a-la-cr%C3%ADtica.pdf>.

- Marx, Karl y Engels, Friedrich [2019], *Manifiesto comunista*. Alianza Editorial, Madrid, España. Recuperado de: <<https://bit.ly/2WVz63A>>.
- Metcalfe, J. Stan [1994], “Evolutionary Economics and Technology Policy”, *The Economic Journal*, 104(425), 931-944.
- Metcalfe, Stan & Georghiou, Luc [1997], “Equilibrium and Evolutionary Foundations of Technology Policy”, Centre for Research on Innovation and Competition (CRIC), The University of Manchester.
- Moreno-Brid, Juan; Garry, Stefanie y Monroy-Gómez-Franco, Luis [2014], “El salario mínimo en México”, *Economía UNAM*, 11(33), 78-93.
- Moyeda Mendoza, Candelario & Arteaga García, Julio [2016], “Medición de la innovación, una perspectiva microeconómica basada en la ESIDET-MBN 2012”, *Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 7(1), 38-57.
- Nelson, Richard [1993], *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*, Oxford, Oxford University Press on Demand.
- Nelson, Richard & Winter, Sidney [1982], *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge/Massachusetts/London, The Belknap Press of Harvard University Press.
- _____ [2000], “En busca de una teoría útil de la innovación” [“In Search of a Useful Innovation Theory”], *Cuadernos de Economía*, XIX (32): 179-223.
- Nelson, Richard & Nelson, Katherine [2002], “Technology, Institutions, and Innovation Systems”, *Research Policy*, 31(2), 265-272.
- North, Douglass [1990], *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) [1992], *Technology and the Economy: the Key Relationships*, OECD.
- _____ [1997] *Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Survey Data - The OSLO Manual*, Paris, OECD.
- _____ [2005], *Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation*, Paris, OECD.
- _____ [2009], *OECD Reviews of Innovation Policy Mexico*, Paris, OECD.
- _____ [2016], *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2015*. Retrieved from <<https://bit.ly/3viL57K>>.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos/Banco interamericano de Desarrollo/ Centro Interamericano de Administraciones Tributarias (OCDE/BID/CIAT) [2016], *Impuestos sobre los salarios en América Latina y el Caribe: Resumen*.

- Organización Internacional de Trabajo, International Labour Office (ILO) [2018], *2018 Global Wage Report 2018/19: What Lies behind Gender Pay Gaps*, Geneva.
- Pérez, Carlota [2000], “Cambio de paradigma y rol de la tecnología en el desarrollo”, *Charla en el Foro de apertura del ciclo “La ciencia y la tecnología en la construcción del futuro del país”*, organizado por el MCT, Caracas, junio. Recuperado de <<https://bit.ly/35IypeW>>.
- _____ [2005], *Revoluciones tecnológicas y capital financiero: la dinámica de las grandes burbujas financieras y las épocas de bonanza*, México, Siglo XXI.
- Polanyi, Michael [1958/1962], *Personal Knowledge. Towards a Post-Critical Philosophy*, London, Routledge. Retrieved from <<https://bit.ly/3yemouv>>.
- Porter, Michael [1985], “The Value Chain and Competitive Advantage”, in *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*, New York, FreePress, 43: 214.
- _____ [1990], *The Comparative Advantage of Nations*, New York, Free Press and Macmillan.
- _____ [1985], *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance, with a new introduction*, New York, Free Press.
- _____ [2008], *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*, New York, Free Press, Simon and Schuster.
- Prebisch, Raúl [1950], “Crecimiento, desequilibrio y disparidades: Interpretación del proceso de desarrollo económico”. En *Estudio Económico de América Latina y el Caribe* (3-89). Recuperado de <<http://hdl.handle.net/11362/1110>>.
- _____ [1968], “Development Problems of the Peripheral Countries and the Terms of Trade”. *Economics of Trade and Development*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Ríos Bolívar, Humberto & Marroquín Arreola, Juan. [2013], “Innovación tecnológica como mecanismo para impulsar el crecimiento económico. Evidencia regional para México”, *Contaduría y Administración*, 58(3): 11-37.
- Romer, Paul [1990], “Endogenous Technological Change”, *Journal of Political Economy*, 98 (5-part II).
- Rosenberg, Nathan [1982], *Inside the Black Box; Technology and Economics*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Sala-I-Martin, Xavier [2000], *Apuntes de crecimiento económico*, Barcelona, Antoni Bosch.
- Singer, Hans [1950], “The Distribution of Gains between Investing and Borrowing Countries”, *American Economic Review* (11): 473-485.

- Schumpeter, Joseph [1911], *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*, Duncker-Humboldt, Leipzig. Se cita de la traducción española: *Teoría del desenvolvimiento económico* [1944], Fondo de Cultura Económica, México.
- _____ [1934], *The Theory of Economic Development*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- _____ [1939], *Business cycles: A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalism Process*, vol. 1: (161-174), New York, McGraw-Hill.
- _____ [1942], *Socialism, capitalism and democracy*, Harper and Brothers. Se cita de la traducción española: Schumpeter, Joseph [1971], *Capitalismo, socialismo y democracia*, Madrid, Aguilar.
- _____ [1967], *Teoría del desenvolvimiento económico*, México, Fondo de Cultura Económica.
- Simón, Blanca [1997], *Las subvenciones a la industria en España. Una aplicación de la teoría de los grupos de presión*, Madrid, Consejo Económico y Social.
- Simon, Herbert [1990], "Bounded Rationality". In *Utility and Probability* (15-18), London, Palgrave Macmillan.
- Smith, Adam [1997], *Investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones*, México, Fondo de Cultura Económica.
- Solow, Robert [1956], "A Contribution to the Theory of Economic Growth", *Quarterly Journal of Economics*, 70(1): 65-94.
- Statista [2020], "Salario mínimo mensual en países seleccionados de América Latina en 2021". Recuperado de <<https://bit.ly/3bMtbSY>>.
- Stiglitz, Joseph [2000], *La economía del sector público*, España, Antoni Bosch.
- Teece, David J. [1986], "Profiting from Technological Innovation: Implications for Integration, Collaboration, Licensing and Public Policy", *Research Policy*, 15(6): 285-305.
- The World Bank [Data base], "GDP per capita, PPP (constant 2017 international \$)". Retrieved from <<https://bit.ly/3wnISYH>>. (Consultado por última vez el 3 de junio 2021).
- Unesco [2014], *Global Investment in R&D Report*. Retrieved from <<https://bit.ly/2RFzeBN>>.
- _____ [2018], *How much does your country invest in R&D?* Retrieved from: <<http://uis.unesco.org/apps/visualisations/research-and-development-spending/#!lang=en>>.
- _____ [2019], *R&D Data Release*. Retrieved from <<https://bit.ly/3hMZLYw>>.
- Van Beveren, Ilke [2012], "Total Factor Productivity Estimation: A Practical Review", *Journal of Economic Surveys*, 26(1): 98-128.

- Velazquez, Guillermo & Jurado, Josué [2016], “Innovación tecnológica: un análisis del crecimiento económico en México (2002-2012): proyección a 2018”, *Análisis Económico*, 31(78): 145-170.
- Vence, Xavier (coord.) [2007], *Crecimiento y políticas de innovación*, Madrid, Pirámides.
- Vergara Reyes, Delia Margarita; Heijts, Joost; Arenas Díaz, Guillermo y Guerrero, Alex [2019], *Efectos de la política tecnológica en el comportamiento innovador y el empleo: análisis de contenido*. Recuperado de <<https://bit.ly/3vVtSkp>>.
- Vivarelli, Marco [2015], “Structural Change and Innovation in Developing Economies: A Way Out of the Middle Income Trap?”, Bonn, Institute of Economics, Scuola Superiore Sant’Anna, IZA.
- Vossen, Robert [1998], “Relative Strengths and Weaknesses of Small Firms in Innovation”, *International Small Business Journal*, 16(3): 88-94.
- Yu, Wantao; Jacobs, Mark; Chavez, Roberto & Feng, Mengying [2019], “Data-Driven Supply Chain Orientation and Financial Performance: The Moderating Effect of Innovation Focused Complementary Assets”, *British Journal of Management*, 30(2): 299-314.
- Zhou, Xiaolin [2019], “A Review of Complementary Assets”, *American Journal of Industrial and Business Management*, 9(9): 1772-1780.

CAPÍTULO 2

EVOLUCIÓN DE LA POLÍTICA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

Delia Margarita Vergara
Joost Heijs

2.1. *Introducción*

Para encausar el desarrollo de los países, basado en la incorporación de innovaciones tecnológicas, las medidas de política económica, en particular, las de ciencia, tecnología e innovación (PCTI), toman relevancia en la economía fundada en el conocimiento. El avance tecnológico requiere una política proactiva donde el Estado, junto al resto de agentes del sistema de innovación, identifique las oportunidades, tomando en cuenta el conocimiento y capacidades acumuladas en el tiempo para mejorarlas y llegar a la frontera tecnológica o, incluso, ampliarla. Los indicadores de desempeño económico (véase el capítulo 1) han demostrado que en los países en donde las empresas tienen una mayor inversión en actividades de innovación, así como las habilidades en su aplicación, han logrado mejorar su crecimiento y las condiciones de vida de sus ciudadanos. Sin embargo, hay países que no han tenido, por diversas causas, un crecimiento con base en la generación y aplicación de innovaciones tecnológicas, lo que tiene como consecuencia una amplia brecha que cada vez es más difícil cerrar, alejándolos de la posibilidad de tener una mejor situación económica y que esta se extienda a toda la sociedad. Por ello, es fundamental, tanto en países desarrollados como en los subdesarrollados o en desarrollo, aumentar el gasto en actividades de ciencia, tecnología e innovación (CTI); los primeros, con el fin de que sus empresas continúen participando en esfuerzos para lograr un mayor crecimiento y desarrollo sostenible en el largo plazo, y para que los segundos alcancen mejores tasas de crecimiento y desarrollo que favorezcan las condiciones de su población.

El objetivo de este capítulo es destacar los elementos clave de la PCTI, e indicar los principales avances teóricos y empíricos que se han implementado en los países desarrollados (en particular en Europa). Se intuye que los subdesarrollados los han tomado como modelo para diseñar sus instrumentos internos de fomento a la innovación; en este caso, se analiza la trayectoria que ha seguido México en su PCTI. El trabajo tiene la siguiente estructura: en la siguiente sección, se exponen los conceptos de la PCTI y su justificación desde un enfoque teórico y conceptual. La sección 2.3 recoge los orígenes de la PCTI y su evolución global en los países pioneros en el

desarrollo de tales políticas, con especial hincapié en el caso de Europa. En la sección 2.4, se exponen las características generales de la PCTI de México, mientras que en la sección 2.5 se ofrecen algunas reflexiones finales.

2.2. *El concepto de la política de ciencia, tecnología e innovación y su justificación*

2.2.1. El concepto de las PCTI

Cabe confirmar que el desarrollo de los países se basa cada vez más en lo que actualmente se llama “la economía basada en el conocimiento”, economías que se fundamentan directamente en la producción, distribución y uso del conocimiento y la información [Foray y Lundvall, 1996; Cowan y Van Paal, 2000]. Como se ha demostrado en el capítulo anterior, parece que también para México no hay duda de que –a largo plazo– la innovación sería la única forma para crear una mejor posición competitiva y un crecimiento económico sostenible.

Tal avance tecnológico no surge de forma espontánea, sino que requiere de una política proactiva donde el Estado, junto a los demás agentes del sistema de innovación, inicie un proceso de identificación de las oportunidades, teniendo en cuenta las capacidades tecnológicas acumuladas de los sistemas de innovación, seleccione prioridades y planifique políticas a largo plazo. Por lo tanto, la contribución del Estado es necesaria para desarrollar y fortalecer el avance tecnológico y para mejorar su aplicación en la industria con el propósito de mejorar la estructura productiva que lleve a la elaboración de productos con mayor valor agregado.

Aunque el Estado solo tiene una función marginal dentro del sistema de innovación, su tarea como facilitador de un sistema que funciona de forma adecuada es muy importante; por lo menos, en el caso de que las empresas no sean capaces de responder a los problemas por sí mismas, el Estado tendría que intervenir y liderar la transición mediante las medidas adecuadas de las PCTI. Tales políticas también serían necesarias para lograr mejores tasas de crecimiento económico que coadyuven a elevar el nivel de vida de las personas, pero no cualquier composición de las PCTI (*policy mix*) es conveniente. Sería importante diseñar la política económica más adecuada con el propósito de lograr los objetivos económicos que se consideran relevantes.

La PCTI se refiere, en realidad, a distintas actividades del progreso tecnológico dirigidas a la ampliación de los conocimientos y su posterior uso

para el sistema productivo y para solucionar problemas sociales o medioambientales. Resulta que, desde un enfoque teórico, no siempre es fácil trazar la frontera entre ciencia, desarrollo tecnológico e innovación. Todavía más difícil sería separarlos en el momento de analizar ciertos programas de la PCTI, ya que algunos incluyen simultáneamente medidas de distintas vertientes. La diferencia entre la política científica y la tecnológica es que la ciencia está basada en conocimientos, leyes y conceptos teóricos, mientras que la tecnología tiene que ver con la creación de nuevos “artefactos” y otras formas de desarrollar aplicaciones prácticas. La política de innovación se define en la literatura de forma muy diversa. Algunos autores –basándose en el significado de la palabra *innovación*– incluyen solo aquellas medidas que afectan a la investigación y desarrollo (I+D) aplicada y su posterior introducción en el mercado, y otros autores utilizan una definición mucho más amplia, incluyendo incluso la I+D básica enfocada hacia aplicaciones potenciales [Borrás y Edquist, 2018; Chaminade y Lundvall, 2019].

Cristina Chaminade y Bengt-Åke Lundvall definen las diferencias entre los tres de la siguiente manera. Según ellos, la política científica trata:

[L]a promoción de la producción de conocimiento científico y, como tal, se ocupa de la asignación de recursos entre diferentes actividades científicas. La política científica podría servir a diferentes objetivos, desde la pura curiosidad por comprender el mundo hasta objetivos específicos militares como la bomba atómica [Jaffe *et al.*, 2015, citado en Chaminade y Lundvall, 2019: 5].

Según el marco teórico basado en el modelo lineal –de corte neoclásico–, los resultados científicos se convierten automáticamente –con apenas costes financieros o en el tiempo– en productos aptos para el mercado con una comercialización inmediata. De hecho, para esta corriente, la política tecnológica o de innovación se consideraba más bien una extensión de la política científica [Mowery, 1994]. Como segundo tipo de políticas, Chaminade y Lundvall [2019] definen el concepto de la *política tecnológica* (PT)¹ como la

¹ Otros autores tienen una visión más amplia de lo que es la política tecnológica (PT), ya que no lo limitan a sectores o tecnologías estratégicas [Stoneman, 1987; Mowery 1994]. Chaminade y Lundvall [2019] definen la PT como aquellas: “políticas que de forma intencionada influyen sobre las decisiones de las empresas de desarrollar, comercializar o adoptar nuevas tecnologías” (p. 8).

promoción del desarrollo y uso de tecnologías consideradas de importancia estratégica para el país. Tal definición se ajusta a la idea de las políticas enfocadas a una misión, y de que existen tecnologías específicas con una importancia estratégica para asegurar el nivel de competitividad en las tecnologías claves emergentes (tecnologías de propósito general u horizontales) o para desafíos sociales o medioambientales. La tercera vertiente de las políticas es –según estos autores– la *política de innovación*, que se basa en un acoplamiento de la política de ciencia y tecnología. Este tipo de política “tiene como objetivo intervenir en el proceso de innovación en su conjunto, desde la ciencia (exploración) hasta la aplicación de tecnologías específicas, su introducción en el mercado y su amplia difusión (explotación)”. Según ellos, “la política de innovación presta atención no solo a los aspectos científicos y tecnológicos, contenidos en las innovaciones, sino también al marco institucional y a los cambios más amplios que son necesarios para que las innovaciones se introduzcan en el mercado y se utilicen” [Chaminade y Lundvall, 2019: 5].²

Esta descripción es muy inclusiva, ya que permite englobar dentro de las políticas de innovación todas las medidas que afectan a los diversos componentes del sistema de innovación. También Susana Borrás y Charles Edquist [2013] utilizan una definición amplia: “innovation policy as all combined actions that are taken by public organizations and influence innovation processes” [6]. Son tan extensas que solo distinguen de forma implícita las tres vertientes de las actividades mencionadas, posiblemente, porque para muchos sectores es difícil distinguir dónde acaba la ciencia y dónde empieza la innovación. A veces, son dos actividades indisolubles como el desarrollo en el campo de la biotecnología y la medicina,³ mientras que en otros sectores es relativamente fácil de distinguir entre las actividades consideradas como científicas, tecnológicas y de innovación, sobre todo, para los sectores tradicionales donde la ciencia es a menudo un *input* indirecto y muy lejano.

Estas definiciones asignan poca importancia a una de las funciones principales de los gobiernos –y por ende de las PCTI– para impulsar el crecimiento económico y el bienestar de la población de su nación. La

² La Unión Europea, por su parte, define la política de innovación como “interface between research and technological development policy and industrial policy and aims to create a conducive framework for bringing ideas to market” [Parlamento Europeo, 2020].

³ Un ejemplo muy actual sería el desarrollo de las vacunas para la COVID-19, donde los análisis científicos y su aplicación en vacunas van mano en mano.

primera de ellas tiene una relación directa con la prosperidad nacional; es decir, el aumento de la producción material propiciará más empleos, recursos, etc., y un mejor nivel de vida para los ciudadanos. Para ello, es importante diseñar la política económica más adecuada con el propósito de lograr los objetivos económicos que se consideran relevantes. En este aspecto, las PCTI tienen una función esencial. Debido al amplio número de objetivos –directos o indirectos:

Promocionan la innovación y el desarrollo tecnológico para influir en el desarrollo del sistema productivo del país con el objetivo de fortalecer el crecimiento económico, crear ventajas comparativas para sus empresas y para solucionar problemas sociales y ambientales de la sociedad en su conjunto [Heijs, 2001].

Las PCTI permiten referirse a tres tipos de actividades del progreso tecnológico cuando se solapan o no está claro a qué se refieren. De tal manera, cabe reiterar que la ciencia se orienta a la ampliación del conocimiento. La tecnología se considera como la creación de inventos, “artefactos” y nuevas aplicaciones, y estos pueden estar basados en los conocimientos científicos existentes, pero también pueden ser fruto de una visión empresarial, no basados en conocimientos formales, sino tácitos. En el caso de la innovación, se trataría del proceso de introducción de invenciones o desarrollos tecnológicos, nuevos procesos o productos comercializados en el mercado. La utilización del término *intencionada* resulta relevante porque excluiría (igual que en las definiciones de Stoneman [1987] y Mowery [1994]) aquellas políticas que influyen en la innovación, pero que para tal efecto no han sido intencionadas. Por otro lado, la definición hace hincapié en el objetivo último que deberían tener todas las políticas públicas y, por ende, la PCTI: la generación de una mejora del bienestar social para la sociedad en su conjunto y asegurar su sostenibilidad a largo plazo.

2.2.2. Fundamentos e instrumentos de la PCTI: un enfoque neoclásico

Desde el punto de vista de la teoría neoclásica, la intervención estatal en la economía se justifica en el caso de que existan fallos que impidan el funcionamiento óptimo del libre mercado. Según esta perspectiva, la intervención estatal solamente estaría justificada en el caso de que la asignación “auto-

mática” de los recursos para la generación y difusión de nuevas tecnologías, basada en “la mano invisible” del libre mercado, no fuese apropiada en términos de bienestar, alejándose del óptimo de Pareto. Esta dislocación puede implicar tanto la falta de esfuerzos de inversión como duplicidad y superabundancia de inversiones, y se basa en los diversos fallos del mercado del bien llamado “innovación”. Quizá el fallo de mercado más relevante respecto a la justificación de la PCTI es la falta de apropiabilidad de los resultados tecnológicos derivados de la inversión en I+D e innovación por parte de las empresas. La falta de apropiabilidad convierte a la tecnología en un bien público que –una vez publicado– será libremente accesible para todo el mundo, generando externalidades para la economía en su conjunto. Los conceptos *externalidades*, *bienes públicos* y *el problema de apropiabilidad* parten de la misma idea global; el conocimiento, en muchos casos, es un bien fácil de copiar (bien público⁴), y su uso y comercialización no está limitado a aquellos agentes económicos que lo producen (problema de apropiabilidad), creando externalidades para las empresas imitadoras o seguidores tecnológicos.⁵ El concepto de la innovación como si fuera un bien público que genera automáticamente externalidades tiene diversas implicaciones respecto al diseño de las PCTI. Primero, si las empresas no pueden apropiarse de los beneficios generados por sus inversiones en I+D e innovación, no existen incentivos para invertir en tales actividades. Por ello, el gobierno debe asegurar la apropiación sin que tal protección impida el progreso tecnológico. Segundo, el Estado podría invertir en la I+D pública para desplazar la frontera tecnológica de su sistema productivo, generando de esta forma bienes públicos utilizables para todas las empresas [Nelson, 1959; Arrow, 1962].

⁴ Como se ha explicado en el anterior capítulo, no todos los conocimientos son “bienes públicos”. Existen muchas innovaciones que están basadas en la acumulación de conocimientos tácitos y experiencias difíciles de transferir, y en tales casos, la imitación resulta difícil y costosa. Las implicaciones respecto a la PCTI se analizan más adelante en este estudio.

⁵ Desde el punto de vista de las empresas líderes en innovación, se pueden definir las externalidades como aquellos resultados de sus inversiones en I+D que podrían ser utilizados por otros agentes económicos sin tener que pagar su valor en el mercado. Resulta que las empresas que inician sus actividades innovadoras más tarde se benefician, mediante la imitación de patentes y la movilidad de recursos humanos, de las inversiones de otras empresas. Esta estrategia bajaría los rendimientos de las inversiones en I+D de las empresas líderes en innovación, por lo que no tendrían tantos incentivos para innovar.

Un segundo conjunto de fallos de mercado se deriva de la incertidumbre que envuelve la actividad innovadora, basada en aspectos como la presencia de mercados virtuales de futuro que implica una incertidumbre comercial, los riesgos tecnológicos del desarrollo de un nuevo producto y sus costes finales, y la asimetría de información respecto a los desarrollos en paralelo de las tecnologías de competidores y su reacción en términos competitivos. El proceso de innovación se desarrolla dentro de un marco dinámico con alto nivel de incertidumbre, debido al hecho de que la información manejada está basada en expectativas con un componente especulativo y distribuido de manera asimétrica. Esta situación implica algunos riesgos graves sobre el resultado tecnológico y económico, porque:

Agentes privados que buscan ganancias asignarían o invertirían recursos en la exploración y desarrollo de nuevos productos o procesos de producción si saben, o creen saber, de la existencia de ciertas oportunidades tecnológicas todavía no explotadas, si esperan que exista un mercado para estos nuevos productos o procesos, y, finalmente, si esperan beneficios económicos netos respecto a los costes derivados de la innovación [Dosi, 1988: 1120].

Respecto a la incertidumbre y los riesgos económicos, el Estado podría emplear dos vías principales de actuaciones. Por un lado, una función activa, optando por la inversión pública en tecnologías claves, costosas y con gran importancia para el desarrollo del sistema productivo, ir asumiendo los riesgos financieros de un eventual fracaso. Por otro, puede asumir una función menos activa, dejando las iniciativas al mercado e interviniendo como fiador, además de garantizar a los bancos la recuperación de los créditos en el caso de la existencia de problemas financieros derivados de los proyectos de innovación. Una actividad complementaria sería la elaboración de estudios prospectivos del impacto potencial de las nuevas tecnologías y las oportunidades que brindan a los inversores.

Otros fallos de mercado serían las invisibilidades y las ventajas de escala. Se necesita una masa crítica mínima de recursos (gastos en I+D, recursos humanos y acumulación de experiencia) para poder obtener resultados mínimos a un coste y nivel de eficiencia razonable. Por lo tanto, sin la existencia de una infraestructura pública de CTI –accesible a las empresas– no solo las pymes, sino incluso las grandes empresas tendrían problemas para poder desarrollar las actividades a un coste aceptable.

Para concluir, los fallos de mercado enfatizan el problema neoclásico de incentivos del mercado que –debido a las características específicas de los

conocimientos como un bien– no aseguraría una asignación eficiente u óptima de los recursos, por lo que se requiere la intervención del Estado [Nelson, 1959; Arrow, 1962]. Las políticas consideradas de corte neoclásico, respecto a la provisión de nuevos conocimientos e innovaciones, son básicamente tres: 1) las leyes de protección de la propiedad intelectual (PPI); 2) la inversión pública directa en la I+D pública en las universidades y organismos públicos de investigación (OPI) y en la creación de una infraestructura de grandes instalaciones y equipamiento científico, y 3) los subsidios y ventajas fiscales para la I+D empresarial.⁶ Gran parte de las políticas de corte neoclásico están basadas en la oferta o –dicho de otro modo– la provisión directa de nuevos conocimientos, tecnologías o infraestructuras CTI.

2.2.3. La PCTI dentro del marco conceptual evolucionista y sistémico

La teoría evolucionista reconoce la existencia de los mecanismos que hay detrás de los fallos de mercado y considera su existencia como un argumento importante de llevar a cabo PCTI, pero en lugar de considerarlos como un problema de equilibrio y asignación óptima de recursos, los concibe como obstáculos del buen funcionamiento del sistema de innovación. Es decir, su existencia no se debe al mal funcionamiento del mercado neoclásico porque los mercados perfectos no existen. Según la teoría evolucionista, no solo la divergencia entre los beneficios privados y sociales justificaría las PCTI, sino también el mal funcionamiento del sistema de innovación, por sí mismo, –que dificulta el desarrollo de ciertos tipos de innovación y conocimientos científicos–, requiere una intervención estatal.

El marco conceptual de los fallos del sistema viene definido desde la teoría evolucionista y de la literatura basada en el sistema nacional de innovación (SNI). Estas corrientes centran su atención en los problemas de articulación de los distintos agentes referidos a su capacidad de reconocer las oportunidades y amenazas tecnológicas (proceso de selección), y reaccionar adecuadamente (proceso evolutivo) y en su capacidad de acceder e

⁶ Existen otros instrumentos que podrían ayudar a solucionar los fallos de mercado, como la provisión de información sobre las amenazas y oportunidades que brindan las tecnologías emergentes que ayuda a solucionar la falla conocida como la información imperfecta.

integrar la información externa con el conocimiento interno [Vence, 2007; Metcalfe, 2003]. En este proceso, no sobrevive la especie más fuerte –o la empresa más poderosa o la tecnología dominante–, sino la empresa que se adapta mejor a las circunstancias. La interacción es básica en este proceso evolutivo; es decir, los fallos sistémicos se generan debido al mal funcionamiento del proceso de I+D y a la interacción deficiente entre los agentes del Sistema Nacional y Regional de Innovación (SNRI) [Lundvall y Edquist, 2010; Woolthuis *et al.*, 2005].

La literatura que define el concepto de los fallos sistémicos recoge distintos errores del funcionamiento y de la configuración del sistema de innovación, y ofrece un amplio conjunto de los objetivos o instrumentos de la PCTI que pretende aliviarlos:⁷ fallos en las capacidades y comportamiento de agentes individuales del SNRI; fallos en la configuración e idoneidad de la infraestructura de CTI; fallos de interacción y coordinación entre los agentes del SNI; fallos de transformación y evolución del SNRI en su conjunto (efecto de encerramiento); fallos institucionales (legales, políticos, sociales y culturales); fallos o amenazas contextuales (macroeconómicos); fallos de la difusión y propagación de las tecnologías (claves), y fallos en el diseño de la política de ciencia, tecnología e innovación. Esta clasificación de los fallos es puramente analítica y muchos de sus aspectos interactúan entre sí o se solapan [Wieczorek y Hekkert, 2012].

Cada fallo sistémico puede manifestarse en tres dimensiones, aunque la diferencia entre ellos es más bien gradual. La primera dimensión comprendería la presencia y ausencia de ciertos agentes y elementos en el SNI –y en su contexto–, que dificulta el buen funcionamiento del sistema o que pueda obstaculizar o facilitar la transformación del sistema, como la ausencia de leyes o ciertos actores. La segunda dimensión sería el análisis estático o la foto de la situación actual de los agentes individuales o del sistema en su conjunto. Se trataría de analizar las capacidades y el funcionamiento de los agentes, y su comportamiento y orientación que deberían ser adecuadas tanto a nivel individual como a nivel del sistema, como la interacción con otros agentes, la orientación adecuada de sus actividades en I+D e innovación, su capacidad tecnológica y de absorción, y su visión como emprendedor capaz de transformar los resultados de la I+D en innovaciones y comerciali-

⁷ En este capítulo, no se pretende debatir cada uno de estos fallos, pero para más detalles se pueden consultar los trabajos de Smith [2000], Edquist [2010], Bergek *et al.* [2010] y, especialmente, los de Woolthuis *et al.* [2005] y Wieczorek y Hekkert [2012].

zarlas en el mercado. La tercera dimensión será la capacidad de transición o transformación necesaria debido a un cambio brusco y/o inesperado en el contexto económico o tecnológico –como la aparición de competidores y/o de nuevas tecnologías y los nuevos problemas sociales, o de salud tan graves como la COVID-19 o la protección del medioambiente– o la habilidad para corregir las capacidades inadecuadas que han quedado obsoletas. Es decir, se trata de la aptitud de los agentes para resolver los fallos sistemáticos actuales detectados y la facultad de adaptación de cada uno de los agentes y del sistema, en su conjunto, a las necesidades futuras. Tal enfoque dinámico trata de saber cómo responden los agentes a los problemas actuales y futuros, y en qué medida son perceptibles al problema de encerramiento en el camino.⁸

Los diversos argumentos del enfoque evolutivo y sistémico, presentados como fallos del sistema y que justificarían la intervención del Estado, han tenido como resultado la aparición de un amplio número de instrumentos muy diversos.⁹ Muchos de estos instrumentos se enfocan en el eje central de esta corriente: el aprendizaje como forma de la acumulación de conocimientos –con su correspondiente peligro de un efecto de encerramiento– y la interacción y colaboración entre los agentes. Los instrumentos típicos de la PCTI para afrontar este fallo son las subvenciones a los proyectos de innovación cooperativa; la creación de centros tecnológicos enfocados hacia la transferencia tecnológica y la conversión de conocimientos científicos en productos para el mercado;¹⁰ la política para la creación de clústeres o

⁸ Referido a los conceptos de *lock-inn* y *path dependency*, donde las oportunidades de un país o empresa dependen de las decisiones en su pasado (*path dependency*) y su capacidad de cambiar (*lock-inn*).

⁹ En esta sección, solo hay espacio para comentar muy brevemente algunos de ellos. Para una revisión muy completa de estos instrumentos se puede consultar el *Compendium of Evidence on the Effectiveness of Innovation Policy Intervention*, publicado por National Endowment for Science, Technology and the Arts (NESTA), que recoge 18 informes resumidos sobre intervenciones en políticas de innovación que van desde incentivos fiscales para I+D hasta servicios de asesoramiento, regulación, políticas de clústeres y contratación pública de innovación. Se puede consultar en <https://bit.ly/2Ryiwwa>. Otro estudio muy interesante sería el Informe de Cirera *et al.* [2020].

¹⁰ Un ejemplo muy interesante son los institutos Fraunhofer de la I+D aplicada, cuyas subvenciones son un porcentaje fijo sobre los ingresos que obtienen vendiendo sus resultados en el mercado privado (a las empresas). Para una revisión de estos centros como instrumento de la PCTI, véase Heijs y Baumert [2007; 2008].

sistemas sectoriales de innovación; las plataformas tecnológicas para el aprendizaje y la experimentación, etcétera.

Las ayudas para la cooperación en I+D (público-privado o entre empresas¹¹) es uno de los instrumentos tradicionales para promover la interacción. La importancia que asigna la teoría evolucionista a la cooperación e interacción en I+D como forma de aprendizaje se confirma en los estudios empíricos [Bozeman, 1997; Tether, 2002; Belderbos *et al.*, 2004; Heijs, 2005]. Por ejemplo el estudio de Heijs subraya que los motivos más importantes para cooperar son la existencia de complementariedades en términos de capacidades tecnológicas y posibilidad de adquirir experiencia y conocimientos no disponibles en la empresa, debido a que las empresas consideran tales motivos mucho más importantes que la reducción de costos. Tales iniciativas no solo sirven para promover o acelerar la transferencia tecnológica correspondiente, sino también para reorientar las actividades de I+D pública hacia los intereses del sistema productivo. De hecho, uno de los fallos frecuentes del sistema de I+D pública (universidades y otros organismos públicos de investigación) es la falta de interés de sus resultados para la aplicación en el sistema productivo. Además, en los casos en que existe tal interés, las empresas deben tener la capacidad de reconocerlos y de asimilarlos. Por esto, la teoría evolucionista propone crear, entre otros, mecanismos que deberían servir para superar este problema.

Otro aspecto o fallo sistémico directamente relacionado con el anterior sería la falta de una cultura emprendedora en el sistema público de I+D y, también, la falta de una cultura de innovación en las empresas. Entre las políticas de corte evolucionista que pretenden promocionar el uso de los resultados científicos en el mercado, se encuentran las campañas que promueven la cultura emprendedora en el sistema público de I+D. Existen diversas formas de promoción,¹² como las asignaturas obligatorias de *entrepreneurship* en las universidades politécnicas, los concursos de ideas y becas para desarrollar ideas.¹³ Una forma más de mejorar la cultura emprendedora

¹¹ Para una revisión amplia de este tipo de políticas, véase el informe de NESTA escrito por Cunningham y Gök [2012].

¹² Uno de los informes de NESTA ofrece una revisión de tales políticas, véase Ramlogan y Rigby [2014].

¹³ Alemania ha implementado diversas iniciativas al respecto. En Heijs [2008a y 2008b], se ofrece un trabajo muy práctico sobre cómo se deben llevar a cabo tales políticas y cuáles son sus factores de éxito.

en las universidades sería el reconocimiento académico de las actividades de transferencia tecnológica.

Además, otro grupo de instrumentos importantes basados en la teoría evolucionista y el concepto sistémico de la economía lo componen las políticas de la demanda.¹⁴ Según esta teoría, la política neoclásica se enfoca en la promoción de la oferta de nuevos conocimientos y tecnologías. Es decir, considera que el Estado debería asumir una función proactiva donde promueva la demanda de bienes innovadores, creando un mercado potencial. Si se consigue aumentar esta demanda, las empresas tendrán más interés en invertir en I+D e innovación. Algunos de los instrumentos de tales políticas implican el apoyo a la difusión de nuevas tecnologías y la transferencia tecnológica; la política de la compra pública basada en bienes “mejorados” de mayor calidad y prestaciones; la implementación de nuevos estándares tecnológicos o de mayores exigencias legales en términos de calidad o seguridad –lo que obliga a las empresas a innovar–, y las campañas de información a favor de nuevas aplicaciones y/o tecnologías (como la vigilancia tecnológica y estudios prospectivos¹⁵).

2.3. *Los orígenes de la PCTI y su evolución global*

2.3.1. Un enfoque científico basado en grandes proyectos (1950-1970)

Los orígenes de la intervención estatal en los avances tecnológicos serían difíciles de establecer con exactitud, pero durante toda la historia hubo momentos en que las ciudades, reinos o Estados fincaron proyectos de corte tecnológico o científico [Chaminade y Lundvall, 2019]. Desde hace siglos, los gobiernos han impuesto medidas para fines muy diversos, aunque en la mayoría fueron para mantener o mejorar la posición militar dominante o para optimizar la situación del sistema productivo y/o proteger las ventajas

¹⁴ Para una descripción de tales políticas, véase Edquist y Hommen [1999], Edler y Georghiou [2007] y Edler [2013]. Y para un trabajo enfocado hacia los países de Latinoamérica, véase Aracena y Sets [2010] o Cirera [2020].

¹⁵ Véase los trabajos sobre el impacto de los *foresight studies* de Harper [2013] y de Pietrobelli y Puppato [2016].

competitivas locales¹⁶ [Mowery, 1994; Chaminade y Lundvall, 2019]. Los inicios de una política científica y tecnológica moderna, sistemática y continuada se ubican en las décadas de 1940 y 1950. A pesar de la Guerra fría, los objetivos de la PCTI ya no estaban solamente orientados hacia la supremacía militar o hacia otros intereses políticos, sino que se aprecian los primeros signos de una política de innovación, basada en el reconocimiento de su importancia para el desarrollo económico [Lundvall *et al.*, 2005], aunque tal reconocimiento no es nuevo. Como indica Freeman [1991], la industrialización inicial de muchos países se consiguió debido a la intervención directa de los gobiernos, creando, entre otros elementos, grandes empresas públicas y el apoyo al desarrollo de los sectores relevantes y de alta tecnología, aunque actualmente muchos de ellos formen parte de los sectores tradicionales (como el sector textil, los altos hornos, astilleros, petroquímica y plásticos, productos metálicos) y han sido privatizados.

En la década de 1950 también se observan los primeros intentos de cooperación en la investigación, a nivel europeo, por parte de unos pocos países. El Tratado Constitutivo de la Comunidad Europea del Carbón y del Acero¹⁷ (CECA) de 1951 se podría considerar como un primer intento de iniciar una política europea en temas de investigación. Además, en 1954, se crea el primer centro de investigación de ámbito europeo, el CERN (Organización Europea para la Investigación Nuclear), para la realización de investigación básica en el área de la física de partículas. En 1957, se firman –por parte de los seis países de la CECA– otros dos tratados que marcan el camino de una política europea en investigación. El primero fue el de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (Euratom) que hacía referencia al deber de la comunidad de desarrollar la investigación y asegurar la difusión de los conocimientos técnicos. El otro es el Tratado Constitutivo de la Comunidad Económica Europea (CEE), donde solo se hacía referencia explícita a la investigación en agricultura basada en grandes proyectos. Por lo tanto, se puede concluir que la política científica común estaba inicialmente concentrada en pocos sectores estratégicos.

¹⁶ Existen muchos ejemplos de estas formas de protección, como la prohibición por parte de Inglaterra –al inicio de la Revolución Industrial– de exportar maquinaria textil [Davis, 1966], y a los ingenieros con habilidades en la construcción de fábricas textiles y maquinaria no se les permitió emigrar [Jeremy, 1977].

¹⁷ Firmado por seis países: Bélgica, Francia, Italia, Luxemburgo, Países Bajos y la antigua Alemania del Oeste.

2.3.2. Ampliación de la PCTI hacia la innovación, las pymes y la cooperación y el inicio del desarrollo de políticas regionales (1970-1995)

Una segunda etapa de aceleración del desarrollo de la PCTI –reflejada en un cambio de paradigma de tales políticas– se observa a partir de la década de 1970. La irrupción de Japón y otros países asiáticos en el mercado internacional con productos innovadores intensifica la competitividad apoyada en nuevas tecnologías. Otra tendencia relevante que impulsó en estos años una intensificación de las PCTI ha sido el estancamiento del crecimiento de la productividad en los países entonces más avanzados. Todo ello empeoró debido a la crisis de las décadas de 1970 y 1980.

La principal razón por la que la política de innovación se utilizó más ampliamente como concepto fue la desaceleración del crecimiento económico alrededor de 1970 y la persistencia de un crecimiento lento en comparación con las primeras décadas de la posguerra. Las razones de la desaceleración en el crecimiento de la “productividad total de los factores” no se entendían bien, pero se tenía la sensación de que tenía que ver con la falta de capacidad para aprovechar las oportunidades tecnológicas [Lundvall y Borrás, 2005: 612].

Esta preocupación se refleja en el debate sobre la *paradoja europea*, donde se sostiene que estos países no consiguen aprovechar la excelencia de sus investigadores científicos –expresada en su liderazgo internacional en publicaciones– para crear un liderazgo de su tejido productivo en términos de innovación [EC, 1995; Dosi *et al.*, 2006].

Es en esta época que se amplía el conjunto de los instrumentos de la PCTI. Para ello, se analizan los factores de éxito económico y del proceso de *catching up* de Japón y los tigres asiáticos (Corea del Sur, Singapur, Hong-Kong y Taiwán) identificando las políticas tecnológicas estratégicas de estos países lideradas por el Estado y dirigidas hacia una industrialización que se enfoca en las exportaciones [Mowery y Rosenberg, 1989; Freeman, 1987, Freeman y Perez, 1988; Mowery, 1994; Lall, 1996]. Un aspecto esencial de esta estrategia ha sido la interacción y colaboración entre todos los actores, como los proveedores, clientes, consumidores y competidores. Se observa que la interacción entre empresas –bajo la protección del Estado– implica un reforzamiento mutuo del nivel competitivo de las empresas del sector y de la nación en su conjunto. Tal éxito, basado en la cooperación y coordina-

ción de todos los agentes, ha sido estudiado en detalle y se conoce actualmente como el *diamante de Porter* [Porter, 1990].

En aquella época, también se sistematiza la política científica y tecnológica a nivel de la Comunidad Europea. La CEE crea, en 1974, el Comité sobre Investigación Científica y Técnica (CREST) y declara formalmente la necesidad de tener una política de ciencia y tecnología común. Originalmente, las iniciativas en el ámbito europeo trataban de grandes proyectos enfocados en la recuperación del crecimiento y la competitividad de las (grandes) empresas europeas,¹⁸ pero, en 1984, todas estas ideas, esfuerzos y tratados iniciados desde la década de 1950 se aúnan cuando entra en vigor el primer Programa Marco de Investigación y Desarrollo Tecnológico (PM). Este tenía, entre sus principales objetivos formales, la promoción de la competitividad basada en la innovación tanto en el sector agrícola como en el industrial; el desarrollo de nuevas tecnologías para mejorar la gestión de las materias primas y recursos energéticos (incluido el desarrollo de la energía nuclear); la mejora de las condiciones de vida y de trabajo (seguridad y salubridad), y de la disponibilidad de servicios e infraestructuras.

En realidad, durante la década de 1980, se genera un cambio de paradigma en el diseño de las PCTI. Primero, por la ampliación del conjunto de los instrumentos en los países pioneros de la PCTI con un enfoque cada vez más empresarial (especialmente en Estados Unidos y Alemania) y de corte horizontal, promoviendo el desarrollo y la difusión de las nuevas tecnologías productivas –especialmente las tecnológicas de telecomunicaciones e informática (TIC). Segundo, por la atención creciente hacia las políticas que promueven la cooperación y a los instrumentos dirigidos a las pequeñas y medianas empresas (pymes), reconociendo su tarea esencial en la innovación de carácter incremental y para la difusión de las tecnologías. Tal cambio de paradigma no implicaba que se dejaran de lado los antiguos instrumentos de grandes proyectos en Europa. De hecho, gran parte de los presupuestos para la PCTI se dedicaba a tales iniciativas, cuyos fondos eran

¹⁸ Por ejemplo, en Europa, se desarrolla un amplio número de iniciativas con proyectos de gran envergadura (para una lista de 40 iniciativas, véase Merritt y De Bauw [1985]). Una de ellas ha sido el programa estratégico europeo de investigación y desarrollo en tecnologías de la información (programa ESPRIT), para estimular la I+D europea en tecnologías de la información y telemática (la telemática surge en Francia a finales de los años 70s y es la unión de las telecomunicaciones y la informática), con el objetivo de alcanzar el nivel de Japón y Estados Unidos en un periodo de 10 años. Este plan ambicioso y decenal se basaba en la cooperación internacional para evitar duplicación de esfuerzos a nivel europeo.

destinados, principalmente, a las empresas muy grandes, en apoyo a los llamados “campeones nacionales” [Rothwell, 1985]. Además, durante este cambio paradigmático surgen, para el caso de Europa, las políticas tecnológicas a nivel regional. El panorama de las iniciativas regionales difería mucho por países –especialmente en algunas regiones de Alemania se desarrollaron en esa época (1980-1985) muchas iniciativas regionales de PCTI– pero se puede indicar que en la mayoría las políticas regionales estaban –y siguen estando– enfocadas en las pymes, la transferencia tecnológica y la difusión de las nuevas tecnologías. Además, estas políticas hoy siguen teniendo un carácter claramente empresarial y se podrían clasificar como una política tecnológica o de innovación, mientras que en el ámbito nacional y europeo las políticas se enfocan más a la investigación básica y aplicada.¹⁹

2.3.3. Consolidación del *policy mix* multinivel con un enfoque sistémico basado en estudios estadísticos y cualitativos (1995-2020)

La tercera etapa del desarrollo de las PCTI se inicia en la última década del siglo XX y, sobre todo, al principio de este siglo,²⁰ y tiene dos características propias importantes. La primera es la disponibilidad de información cada vez más completa sobre la configuración de los sistemas de innovación y su funcionamiento –tanto estadística como descriptiva– que ayuda a tomar las decisiones respecto al diseño de la PCTI. Esta información permite realizar estudios analíticos y las estadísticas cuantitativas que están basadas en un marco conceptual cada vez más avanzado y más o menos estandarizado.

La aparición de estas iniciativas coevoluciona, en parte, con los avances de los conocimientos académicos respecto a los conceptos del sistema nacional y regional de innovación y de la triple hélice. Estos conceptos, cuyas nociones se desarrollaron, en gran parte, en la década de 1990, han sido adaptados para poder elaborar estudios descriptivos que permitan

¹⁹ Esta distribución depende de cada país; existe en el caso de Alemania o España, mientras que en otros países tal distribución queda menos definida.

²⁰ La definición de los instrumentos y su momento de aparición en las etapas anteriores corresponden a las políticas novedosas en los países pioneros en tales políticas. A partir de aquí, se refieren básicamente a las tendencias observadas en los países europeos y la política de I+D e innovación en Europa.

realizar un análisis cualitativo de las fortalezas, amenazas, debilidades y oportunidades (Análisis DAFO) de los sistemas de innovación. Además, facilita la realización de análisis comparativos de los sistemas de distintos países e identifica mejoras prácticas relativas al diseño y la utilización de instrumentos de PCTI, así como las posibles soluciones de los fallos de los sistemas.

De hecho, la Unión Europea promueve, desde 2007, la realización de un conjunto de estudios anuales para 60 países, que ofrecen una descripción de los sistemas de innovación en combinación con un DAFO y con especial atención en las PCTI y su composición. Actualmente, están disponibles en internet los estudios para 60 países²¹ con un nivel de desarrollo muy variado, incluido México.²² Además, desde 1992, los países europeos realizan las encuestas de innovación y las de I+D, lo que implica un gran apoyo estadístico en el momento de tomar decisiones respecto al diseño de las PCTI; estas encuestas, incluso, revelan aspectos sorprendentes de algunos mitos esperados.²³

La segunda característica de esta tercera etapa sería la consolidación de la gran diversificación del conjunto de los instrumentos e iniciativas complementarias a nivel nacional, regional e internacional, tíbiamente iniciada en la etapa anterior. En esta etapa, ha aflorado un amplio número de instrumentos. Un análisis específico –creando un compendio de todos los instrumentos en el ámbito nacional para 2007– detecta un conjunto de 814 instrumentos clasificados en 39 líneas de actuación prioritarias, implementadas en un conjunto de 30 países europeos [Heijs y Martínez; 2010]. Aunque las PCTI de muchos países han sufrido recortes durante los años más duros de la crisis

²¹ El sitio web de RIO-PSF ofrece análisis, conocimientos, datos estadísticos y mejores prácticas sobre el diseño y la implementación de las PCTI para apoyar una mejor formulación de políticas en Europa. En su página web <<https://bit.ly/3f7Sv6E>> se dispone de informes de 60 países distintos: 28 países de la UE, 13 países asociados y 19 países de un nivel de desarrollo muy variado, como Argelia, Argentina, Rusia, Israel, EE.UU. o Egipto. Para muchos países, estos informes se realizan de forma anual desde 2007.

²² Para más información sobre el caso de México, véase la siguiente página web <<https://bit.ly/3xZvoUo>>.

²³ Según Edler y Fagerberg [2017], las encuestas de innovación realizadas en muchos países confirman que para varias empresas la preocupación de la apropiabilidad y la necesidad de una protección de la propiedad intelectual es un tema menor. Esta conclusión concuerda con la idea de Kline y Rosenberg [1986], que sugieren que el proceso continuo de las innovaciones incrementales es, a menudo, más importante para el éxito comercial que el invento inicial.

(2008-2010), la mayoría han apostado por la innovación como forma de recuperar la competitividad, asignando, de nuevo, fondos financieros a tales políticas.

También se consolidan e intensifican de forma sustancial las PCTI llevadas a cabo por la Unión Europea. En virtud del Tratado de Ámsterdam (1997), se toma la decisión formal de que la ejecución de programas de investigación europeos es una obligación. De hecho, este tratado incluye un capítulo específico sobre investigación y desarrollo tecnológico. Por otro lado, en 2000 la Unión Europea (UE) emprende una de sus iniciativas de PCTI más ambiciosa, creando el llamado Espacio Europeo de Investigación como parte de la Estrategia de Lisboa.²⁴ Los objetivos formales de este plan incluyen: organizar e integrar mejor los sistemas de investigación e innovación europeos y mejorar la cooperación entre la UE, los Estados miembros, sus regiones y sus partes interesadas. Además, se establece como objetivo global llegar a un gasto en I+D de 3 % respecto al PIB.

Actualmente, la UE cuenta con dos iniciativas básicas de las PCTI. La primera es la actualización de los ya mencionados Programas Marco, cuya nueva versión se denomina Horizonte 2020: El Programa Marco de Investigación e Innovación de la UE. Este programa²⁵ tiene como meta aunar la investigación e innovación y vertebrar su programa en torno a tres áreas prioritarias: ciencia excelente, liderazgo industrial y retos de la sociedad. Su objetivo es garantizar que en Europa se produzca ciencia y tecnología, de talla internacional, capaz de impulsar el crecimiento económico, donde las ideas más brillantes lleguen más rápidamente al mercado y puedan aplicarse en ciudades, hospitales, fábricas, tiendas y hogares lo antes posible [CE, 2014]. El Horizonte 2020 incluye grandes proyectos científicos de excelencia; acciones de coordinación, apoyo y redes; actividades de investigación e innovación que generan nuevos conocimientos o tecnologías y acciones

²⁴ En el mes de marzo de 2000, se celebró en Lisboa una reunión extraordinaria del Consejo Europeo que, bajo el título de “Empleo, reforma económica y cohesión social: hacia una Europa de la innovación y el conocimiento”, aprobó una estrategia global de política económica y social, en respuesta a distintos retos a los que se enfrentaban sus economías y, en particular, los relativos al menor crecimiento de la renta y de la productividad, así como al proceso de globalización.

²⁵ Para el resumen del plan y sus instrumentos, véase Comisión Europea [2014].

innovadoras, siendo “actividades más próximas al mercado”,²⁶ instrumentos específicos para las pymes, y becas de formación de investigadores.

Las justificaciones de la cooperación comunitaria en investigación e innovación son los costes crecientes de esta actividad con sus riesgos y la necesidad de competir internacionalmente con las nuevas tecnologías emergentes en sectores clave, como los de la biotecnología, las TIC, o la nanotecnología, aeronáutica y la tecnología energética [CE, 2004].

Por otro lado, la UE cuenta con las políticas de los fondos estructurales enfocadas hacia el desarrollo regional, cuyo objetivo principal es la convergencia de las regiones menos desarrolladas. Estos fondos de convergencia estaban tradicionalmente enfocados en la creación de infraestructuras físicas tradicionales (carreteras, puertos y aeropuertos, telecomunicaciones), pero desde 2007 la I+D e innovación han obtenido una función creciente, asignando cada vez más fondos a este tipo de programas.²⁷ Estos nuevos programas incluyen la innovación y el apoyo a las pymes como una política prioritaria para el desarrollo de las regiones periféricas. Además, la última versión de este programa para regiones periféricas se basa en el *smart specialisation* o RIS3,²⁸ concebido dentro de la política de cohesión reformada de la Comisión Europea (CE).

La especialización inteligente es un enfoque basado en el lugar caracterizado por la identificación de áreas estratégicas de intervención basadas tanto en el análisis de las fortalezas y el potencial de la economía como en un Entrepreneurial Discovery Process o proceso de descubrimiento empresarial con una amplia participación de los agentes interesados. Tiene una mirada hacia el exterior y abarca una visión amplia de la innovación que incluye, entre

²⁶ Se trata, pues, de proyectos encaminados a realizar prototipos, pruebas, demostraciones, experimentos piloto y estudios de ampliación para crear o mejorar productos o servicios. Pueden prestarse a tales ayudas los consorcios de socios de distintos países, sectores industriales y ámbitos académicos.

²⁷ Este cambio se observa, por ejemplo, en el caso de España, donde los Fondos de Cohesión de la Unión Europea desempeñan una función muy importante en el sistema de I+D, especialmente en las regiones elegibles. En el periodo 1986-2006, España empleó alrededor de 12 % de los Fondos de Cohesión (€ 6 500 000 000) en actividades relacionadas con la I+D [Sanz, 2005], mientras que en el nuevo programa (2007-2013) casi 35 % de los fondos (€ 8 419 000 000) ha sido destinado a actividades relacionadas con la I+D [Heijs, 2009].

²⁸ Muchos de los informes en que se basa esta estrategia junto con los planes de muchas de las regiones pueden consultarse en <<https://bit.ly/3tvmCKG>>.

otros, enfoques impulsados por la tecnología, y está respaldado por mecanismos de seguimiento eficaces. [CE, s.f.]

Como se ha podido observar, el diseño de las PCTI depende, en parte, de la situación en que se encuentra una economía y los problemas a que se enfrenta el sistema productivo y de la sociedad en su conjunto. La primera fase de desarrollo de la PCTI se basaba en las experiencias positivas de la ciencia utilizada durante la Segunda Guerra Mundial. La segunda fase se inicia en respuesta a algunos problemas importantes, la crisis energética y de materias primas, el estancamiento del aumento de la productividad en los países avanzados y su pérdida de competitividad respecto a los nuevos países industrializados en el periodo 1970-1980 y, como último, los problemas medioambientales.

La tercera etapa (1995-2020) consiste inicialmente en la consolidación del camino elegido respecto al desarrollo de la PCTI, ajustando el *policy mix* multinivel con un enfoque sistémico, cuyo diseño se basa en un amplio número de estudios estadísticos y cualitativos, así como en la implementación de una cultura de evaluación de las PCTI. De hecho, la UE asigna, dentro de los presupuestos de la mayoría de los programas, fondos específicos para su evaluación posterior.

Esta etapa en realidad consiste en dos fases. La primera se corresponde con gran parte de la descripción de esta sección, donde las políticas –tal como se ha comentado con anterioridad– se desarrollan aún dentro del paradigma tecnológico dominante –las TIC– como tecnologías claves u horizontales. Sin embargo, el agotamiento de la revolución tecnológica, basada en las TIC como forma de aumentar la productividad empresarial y calidad de bienes, requiere una reorientación de las PCTI tradicionales. Es decir, el ciclo de vida de las tecnologías claves influye de forma directa sobre la orientación de las PCTI.

Otro argumento que requiere un cambio de las políticas serían los grandes problemas de la sociedad, como los medioambientales y la escasez de materias primas, los cuales precisan una búsqueda de soluciones novedosas. En tales circunstancias, no se necesitan medidas más ambiciosas que la corrección de los fallos del sistema de innovación, sino que son necesarias políticas enfocadas a misiones concretas y la creación de una demanda de tecnologías adecuadas para afrontar los problemas de la sociedad y –en el caso de los países del Oeste– políticas que vuelvan a poner a los países avanzados en la senda de crecimiento y competitividad. Para ello, se deben reorientar las políticas de nuevo hacia los campos tecnológicos emergentes para reactivar

la economía, volver a la senda del aumento de productividad y recuperar la pérdida de competitividad respecto a los países BRICS (Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica).

Esta segunda fase, en realidad, no es un cambio de paradigma del diseño de las PCTI o la creación de nuevos instrumentos, sino que se trataría, en efecto, de ajustar la composición de estas y de los objetivos concretos que persiguen. Como indicaron Jakob Edler y Jan Fagerberg [2017], las políticas de la demanda habían perdido cierta importancia en la década de 1990, pero en esta nueva situación habría que reactivarlas enfocando su uso a los nuevos desafíos [Mazzucato, 2014]. Lo nuevo dentro de esta tendencia es el mayor análisis de la interacción de las PCTI y otros programas para diseñarlos de tal forma que se refuerce mutuamente lo que ellos llaman una visión sistémica u holística [Mazzucato, 2014].

2.4. *La PCTI en México: características generales*

La participación del Estado por medio de la política económica en distintos campos es importante, debido a que influye en el aprendizaje y la construcción de la competitividad. En el caso de México, un país subdesarrollado, en donde la inversión del sector empresarial (industrial) es insuficiente en las actividades de innovación (I+D), debido principalmente a dos causas: 1) los altos costos que implican y 2) amplios niveles de incertidumbre sobre la recuperación de la inversión en el largo plazo y la obtención de beneficios, por lo que es importante la intervención del Estado para fomentarlas. Su participación puede propiciar un efecto de “adicionalidad”; es decir, las ayudas –tanto en forma de subsidios como otras formas de PCTI mencionadas en la sección anterior–²⁹ pueden tener como resultado que las empresas incrementen su gasto en actividades de innovación y, por ende, en la cuantía de sus resultados, el número de innovaciones introducidas en el mercado o el porcentaje de ventas derivadas de las mismas o el número de patentes. Con su intervención, el Estado también puede generar cambios que conduzcan a intensificar el comportamiento innovador (como la intensidad de cooperación o el nivel innovador), de modo que mejore la producción final

²⁹ Creación de redes de cooperación tecnológica, la política de información y campañas de demostración de nuevas aplicaciones, etcétera.

(valor añadido) y el nivel exportador,³⁰ que no sería posible sin los apoyos gubernamentales. Para optimizar los instrumentos de la PCTI, es importante realizar estudios sobre sus efectos en el sector productivo (véase capítulo 6).

A lo largo del tiempo se ha llevado a cabo una transformación de los instrumentos utilizados por el Estado para promover la ciencia y la tecnología. La actual PCTI fue antecedida por la política industrial (PI),³¹ aplicada durante el periodo de industrialización por sustitución de importaciones (ISI), y al agotarse ese modelo emprendió una senda de reformas que la condujeron a la adopción de instrumentos que fomentan las actividades de innovación en el sector productivo y no solo del científico-tecnológico. Esto responde a la dinámica internacional de inserción en la economía mundial, así como a los cambios en las políticas en el entorno mundial, en particular, de países desarrollados, a causa o consecuencia de los problemas originados por las crisis económicas de los años de la década de 1970 y la revolución tecnológica ocurrida durante ese tiempo que transformó la forma de producción.

Por lo tanto, el objetivo de esta sección es exponer brevemente, los principales cambios en las iniciativas que el Gobierno mexicano ha implementado sobre la política industrial y de ciencia y tecnología, y más recientemente la innovación, que, de acuerdo con las condiciones tanto internas como externas prevalecientes, ha llevado a que las empresas realicen mayores esfuerzos por lograr mejores niveles de productividad y competitividad.

2.4.1. Las décadas de 1950 a 1980, el enfoque del lado de la oferta

Para su desarrollo, en la etapa posterior a la Segunda Guerra Mundial, el Estado mexicano adoptó la política industrial proteccionista con la finalidad de establecer los factores endógenos que contribuyeran al desarrollo interno, apartando a la economía del embate directo de los desequilibrios de la demanda de los mercados internacionales, así como la de generar un

³⁰ De hecho, México cuenta con ayudas a la innovación, enfocándose en promover las exportaciones con algunos programas como PITEX-SE, Altex-SE-SHCP y la Compex-Bancomext.

³¹ La política industrial es la que tiene por objeto afectar industrias específicas para lograr resultados que son percibidos por el Estado como eficientes para la economía como un todo [Chang, 1994: 60. Traducción de los autores].

ambiente adecuado al desenvolvimiento industrial y a la sustitución de importaciones [Nafinsa-Cepal, 1971]. En esta fase, se establecieron enormes fábricas, algunas sostenidas por el Estado: siderurgia, celulosa y papel, y fertilizantes. Además, otras ramas industriales que también se desarrollaron fueron las de textiles, emparadoras de alimentos, cemento, metalmecánica y productos químicos.

Como todo proceso histórico, el de sustitución de importaciones transitó por varias etapas; en una primera (1939-1958), se suplieron bienes de consumo sin una reorientación de la estructura productiva, manteniendo los patrones de consumo adquiridos del modelo de crecimiento hacia fuera; la segunda (1959-1970) estuvo caracterizada por un crecimiento con estabilidad de precios y cambiaria, la inversión pública fue muy significativa, ya que llegó a 45 % de la inversión total [Villarreal, 1987]; la tercera (1970-1980) evidenció las limitaciones del proceso sustitutivo y el tránsito hacia la sustitución de importaciones; a finales de la década de 1970, el desarrollo industrial se fundamentó en la exportación de hidrocarburos.

Los principales instrumentos utilizados durante el periodo de sustitución de importaciones fueron: el sistema de protección a la industria, como aranceles y permiso de importación; Regla XIV del Impuesto General de Importación; programas de fabricación; estímulos fiscales a la industria: Ley de Industrias Nuevas y Necesarias, Decreto sobre Descentralización y Desarrollo Industrial, nuevos estímulos; certificados de devolución de impuestos indirectos (CEDIS) para exportadores; instrumentos de financiamiento, y Comisión Nacional de Inversiones Extranjeras [Nadal, 1977].

El instrumento más importante que sirvió de apoyo en la primera etapa de la SI fue el arancel, el cual se desplazó del campo de la recaudación fiscal al de la protección de la industria; es decir, el núcleo de la estrategia de industrialización fue la política de protección basada en los aranceles y los permisos a la importación.

En cuanto al desarrollo tecnológico, el Estado trata de intervenir para llevar cierto control y un débil intento de asimilación por medio del establecimiento de la Ley de Fomento de Industrias Nuevas y Necesarias 1955 [Secretaría de Economía, 1955], la obligación de las empresas a informar a la Secretaría de Economía y de Hacienda y Crédito Público sobre la utilización de equipos y maquinaria nacional y extranjera, la importancia de los laboratorios de investigación [Secretaría de Economía, 4/01/1955: 3], el número y nacionalidad del personal técnico, así como señalar las medidas tomadas para el adiestramiento del personal técnico, administrativo y obrero con el fin de que adquiriera las condiciones para asimilar el conocimiento

de los extranjeros que, en una primera etapa, tuviera que ocupar la empresa; sin embargo, de acuerdo con el estudio realizado por Nafinsa y la Cepal [1971: 320], no se tuvo un control efectivo sobre el acatamiento de dichas disposiciones [véase Nafinsa-Cepal, 1971: 320].

Dentro de la ley, se estableció que las empresas, que gozaban de las exenciones o reducciones para la fabricación de las mercancías permitidas, estaban obligadas a utilizar la maquinaria y equipo importado apoyado en las franquicias; para producir artículos diferentes, tenían que pedir permiso a la Secretaría de Economía. Además, la maquinaria, las máquinas y los equipos, refacciones, etc., importados con protección fiscal, no podían enajenarse (vender o transferir) o darle un uso diferente al establecido en la franquicia durante la vigencia de esta y dos años después de haber llegado a su término [Secretaría de Economía, 1955: 10], con lo cual se limitaba la copia o imitación.

Otra implicación o consecuencia de las disposiciones de la ley fue el desaliento para la producción interna de bienes de capital, aumentando la dependencia tecnológica del país, “las importaciones de maquinaria y equipo se incrementaron de 45 % del total de la producción en 1940 al 66 % en 1950 y comenzaron a decrecer a lo largo de los años 50 para ascender al 56 % y 46 % en 1960 y 1970” [Dussel, 1997: 121].

En el trabajo de Miguel Wionczek [1971], se indica la preferencia de los empresarios por la tecnología ahorradora de trabajo como una forma de reducir los problemas laborales, sindicales, y también de aprovechar la protección a la importación de tecnología. La política económica de protección permitió que se expandiera el aparato industrial con baja eficiencia comparativa –una mayor eficiencia permite una mejor utilización de los factores productivos y el ensanchamiento del mercado interno– y también el incremento de las posibilidades para exportar manufacturas [Bueno, 1972: 263].

Otro resultado de la desmedida protección de la industria fue que la calidad de los productos y sus precios se alejaron paulatinamente de los parámetros internacionales, con lo cual la industria mexicana disminuía su competitividad en el mercado mundial. En contrapartida, algunas ramas lograron crecer; entre ellas, energéticos, transporte, comunicaciones, ferrocarriles y teléfonos lograron modernizar sus instalaciones como respuesta al estímulo de la demanda interna, así como a la inversión extranjera directa (IED). Es claro que no se tuvo contemplada una estrategia de crecimiento basada en el desarrollo tecnológico endógeno. Las empresas transnacionales constituyeron la principal forma de transferencia de “paquetes de capital,

tecnología y *know-how* empresarial” [Wionczek, 1971: 157], incorporaron bienes de capital y un flujo de conocimientos técnicos que afectaron la forma de organización “introduciendo hábitos de comportamiento laboral, pautas de control de calidad, normas y *standards* de trabajo, formas de subcontratación, hasta entonces muchas veces desconocidas por la sociedad local” [Katz, 2000: 20].

Entre los objetivos de las empresas extranjeras, no se encontraba el de desarrollar una infraestructura tecnológica local. Las empresas transnacionales se convirtieron en una parte fundamental del flujo incremental de conocimientos tecnológicos que se difundieron en la estructura productiva interna, generando un proceso de aprendizaje tecnológico:

[L]a influencia de estas empresas en la formación de recursos humanos calificados, en la exposición de sus técnicos y profesionales a la “cultura” tecnológica y empresarial de las respectivas casas matrices, y en los requisitos de calidad y tolerancia que fueron imponiendo en las prácticas industriales de la época. Todo ello sin duda acabó mejorando sensiblemente los niveles de calificación de la ingeniería nacional y las rutinas técnicas empleadas en la sociedad en su conjunto. [Katz, 2000: 21].

No obstante, se ubicaron en industrias de bienes de consumo duradero, como en la industria químico-farmacéutica, automotriz y la de aparatos eléctricos y electrónicos, en donde, según Wionczek [1971], no se necesitaba una fuerte inversión inicial ni uso de tecnologías que requirieran de insumos importados ni utilización de patentes; de este modo, se propició el control monopolista de la tecnología.

Al considerar que los costos eran menores al importar tecnología que al producirla, la atención del gobierno respecto a su PCTI se centraba en el desarrollo de la ciencia, por lo que las principales iniciativas se dirigían a la edificación institucional en ciencia y tecnología. Estas se concretaron en la fundación de instituciones para desarrollar tanto capacidades científicas y tecnológicas enfocadas principalmente, en generar conocimiento científico (en el periodo de 1935 a 1965), entre ellas:³² el Consejo Nacional de Educación Superior y de la Investigación Científica (Conesic) en 1935, como la base de la construcción de un sistema nacional de ciencia; el Instituto Politécnico

³² Cabe señalar que en 1910 se había reconstituido la Universidad Nacional de México por Justo Sierra, que en 1929 logró su autonomía.

Nacional (IPN) en 1936, con el objetivo de realizar investigación aplicada y formar profesionales altamente calificados; los Laboratorios de Fomento Industrial (Lanfi) en 1949; el Instituto Nacional de la Investigación Científica (INIC) en 1950, para promover nacionalmente la coordinación y el desarrollo de la investigación científica, y, de esa manera, formar una masa crítica de investigadores que, en ese periodo, era el órgano de consulta del Ejecutivo federal en materia de ciencia –previo al Conacyt– la Asociación Nacional de Universidades e Institutos de Enseñanza Superior (ANUIES) en 1958, para unificar los esfuerzos en materia de desarrollo y superación de la educación superior; la Academia de la Investigación Científica, para promover la investigación y la difusión de la ciencia; el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav) en 1961, organismo descentralizado de interés público dedicado a la difusión, enseñanza y desarrollo de investigaciones científicas; Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) en 1965, para la investigación básica y aplicada, formación de investigadores, difusión de desarrollos científicos y su aplicación en la técnica petrolera, así como para la capacitación de personal.

De 1960 a 1970, se desarrolla la etapa avanzada del modelo de sustitución de importaciones; en este, se sustituyeron bienes intermedios, así como algunos de capital, razón por la cual se incrementó el uso de tecnología extranjera. La economía nacional mostró un excepcional auge económico con un crecimiento del PIB de 7 %³³ promedio anual de 1960 a 1965, con precios estables a 2.9 % promedio anual con un desequilibrio externo permanente y creciente [Villarreal, 2000]. A esta fase, se le ha llamado de “Desarrollo Estabilizador”; además, se frenó el proceso de inflación y devaluación, que tuvo lugar en el periodo anterior, manteniéndose la paridad del tipo de cambio en condiciones de libre convertibilidad [INEGI, 1994:391]. El elemento más dinámico de la economía durante el periodo fue el de la inversión, la cual llegó a representar 21 % del PIB en 1967; dentro de esta, la inversión pública representó 41 % de la formación neta de capital fijo y 66 % del PIB [INEGI, 1994: 392]. También se utilizó el crédito externo a largo plazo para diversificar las exportaciones de bienes y servicios. La dependencia del capital extranjero originó que para 1965 la IED en México controlara una tercera parte de la producción manufacturera con menos de 1 % de empresas extranjeras en dicho sector [Villarreal, 2000: 95].

³³ Promedio calculado con miles de pesos a precios de 1980, a partir de la información del INEGI, Sistemas de Cuentas Nacionales.

La inversión extranjera en industrias muy protegidas representa costos adicionales a la economía nacional porque las ganancias obtenidas por las empresas extranjeras se transfieren al exterior, ocasionando problemas en la balanza de pagos.

Aunque es fácil reconocer que la industrialización hacia adentro, dependiente en gran medida del capital extranjero y de tecnología extranjera de segunda clase, se hace cada vez más costosa en términos de carga sobre la balanza de pagos y bienestar social, cualquier señalamiento de la necesidad de reducir el nivel de protección despierta fuertes protestas por parte de la poderosa coalición de intereses creados, nacionales y extranjeros. [Wionczek, 1971: 163].

En la década de 1970, ante la preocupación del Estado y de la comunidad científica sobre las limitaciones de la ciencia y la tecnología, así como su falta de vinculación con el sector productivo, la alta dependencia tecnológica y la salida de divisas para el pago de la tecnología (*royalties*), el INIC realizó un diagnóstico sobre la realidad nacional en materia tecnológica titulado Política Nacional y Programas en Ciencia y Tecnología, 1970 (PNPCyT), el resultado reveló un alto nivel de dependencia tecnológica, escasez de recursos humanos, limitación de apoyo financiero y una reducida vinculación entre el sistema científico y tecnológico y la educación superior, así como poca participación del sector privado y la inexistencia de un organismo capacitado para la planeación, coordinación y fomento de la investigación científica y tecnológica [Nafinsa, 1976: 547].

Ante esta situación, el Estado se vio obligado a afrontar el subdesarrollo científico y tecnológico, sentando las bases de una política tecnológica que promoviera la investigación nacional con el objetivo de lograr su independencia tecnológica mediante la creación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) el 29 de diciembre de 1970, que empezó sus labores formales en 1971. Con la creación del Conacyt y la orientación de la política científico-tecnológica, se dio lugar al establecimiento del proceso lineal y secuencial de distintas etapas de innovación, donde la investigación-invencción-difusión tecnológica le otorgaba mayor importancia a la I+D como desencadenante del proceso y era externo a las empresas, definiendo una política lineal de oferta.

El enfoque teórico neoclásico, en ese entonces, consideraba la tecnología como “información” exógena a la producción, cuya generación era el resultado de las actividades en investigación y desarrollo de instituciones investigadoras como un componente dado, por lo que no tenían posibilidades de controlar su desarrollo, y las empresas debían adaptarse al ritmo del proceso

de innovación sin influir en este. El modelo lineal de innovación era pertinente en esa etapa de ISI, ya que:

El nivel de ganancias de una empresa no estaba asociado a su competitividad, su productividad o la calidad de sus productos; dadas las condiciones de protección y subsidios, las decisiones arancelarias, fiscales, etc., tenían un impacto decisivo sobre el desempeño económico de la empresa. Este contexto regulatorio fue aptamente denominado “instrumental de políticas tecnológicas implícitas”. [Pérez, 1996: 1].

Hay quienes han denominado a esa etapa como el Empuje de la Ciencia [Halty Carrère, 1986; Sagasti, 2011].

La política industrial coexistió con la de CT. En la década de 1970, para disminuir en el largo plazo la dependencia tecnológica, el Estado pretendió regular la inversión extranjera limitando su participación en 49 % para que la nacional fuera de 51 % y tuviera control. Al mismo tiempo, promulgó la Ley sobre el registro de la Transferencia de Tecnología y el Uso y Explotación de Patentes y Marcas³⁴ [Secretaría de Industria y Comercio, 1972] con la intención de controlar el flujo de tecnología, reconociendo que la extranjera había sido útil e importante para el desarrollo industrial del país, aunque en su mayoría era obsoleta e inadecuada para el contexto nacional, y había sido adquirida en condiciones desfavorables de negociación. La ley dispuso la creación del Registro Nacional de Transferencia de Tecnología, por medio del cual se pretendía conocer toda la información acerca de los contratos o convenios de cualquier naturaleza que se llevaran a cabo en el país.

Para estas iniciativas, participó el Conacyt, cuyas dos principales funciones originarias consistieron en asesorar y auxiliar al Ejecutivo federal en la fijación, ejecución y evaluación de la política nacional de ciencia y tecnología, así como en la promoción de la investigación y el desarrollo experimental, la creación y el fortalecimiento de los centros de investigación, el suministro de servicios de apoyo a la comunidad científica, al sector normativo del gobierno y a las actividades productivas como órgano ejecutivo en los convenios de cooperación internacional [Conacyt, 1976].

Esperaban lograr los objetivos del plan, en el largo plazo, por lo que se fijaron metas para movilizar los recursos tanto financieros como humanos, con la intención de vincular la aplicación de la PCT a la del resto de las polí-

³⁴ Se modifica en 1976 y 1981, y diez años después se deroga.

ticas económicas y sociales, consideradas una responsabilidad del Gobierno federal. Por ejemplo, se estimó que el gasto en investigación y desarrollo experimental (IDE),³⁵ educación especializada, difusión y actividades asociadas, en los siguientes seis años, en 1982, tendría que alcanzar –de acuerdo con las proyecciones del PIB– 1.07 %; en 1976, fue de 0.3 %. Esta proyección se consideraba modesta, comparada con el gasto que realizaban Estados Unidos y la Unión Soviética, que destinaban a la I+D 3 % del PIB [Conacyt, 1976]. Asimismo, se reconocía que el porcentaje de los recursos financieros aplicados a la CT provenían del sector público, y consideraban que era necesario mantener esta participación, pero en algún momento disminuirla, y aumentar la participación del sector privado. Sin embargo, esos objetivos de 1976, después de más de 40 años, no se han logrado (véase la tabla 2.1), ya que en 2018 la proporción del gasto en I+D fue de 0.31 % del PIB, y en lo que respecta a la participación del gobierno fue de 76.8 %, mientras que la del sector empresarial alcanzó 18.6 % [OECD, 2020].

2.4.2. La transición: de la década de 1980 a los años 2000, hacia un modelo de demanda

Durante la década de 1980, la crisis mundial influyó de manera negativa en la economía de varios países; entre ellos, México. Dentro de los acontecimientos más relevantes, se encuentran la fuerte caída de los precios de las materias primas, el agotamiento del financiamiento externo y el aumento constante de las tasas de interés. Esto tuvo como consecuencia que no pudieran sostenerse los niveles de desarrollo que se habían logrado. El proceso de acumulación de capital se deterioró fuertemente y las cuentas públicas registraron enormes déficits que solo se podían cubrir emitiendo dinero e imponiendo un gravamen inflacionario en rápida expansión [Katz, 1993]. Para contrarrestar esta situación, se planteó volver a los principios ortodoxos del libre mercado; la liberalización económica fue presentada a los países en desarrollo como la respuesta a las estrategias ineficientes asociadas a la protección comercial, a los altos niveles de intervención estatal y a la captación de rentas (*rent seeking*) por parte de los agentes económicos.

³⁵ En este libro, a la investigación y desarrollo experimental se le denomina investigación y desarrollo por lo que se le identifica como I+D.

La situación crítica del país hizo necesario el diseño e instrumentación de una nueva estrategia de industrialización y crecimiento. En un primer momento, se trató de garantizar la defensa productiva y del empleo, así como disminuir el gasto público; se amplió el apoyo a las pequeñas y medianas empresas por medio del Programa de Apoyo Integral a la Industria Mediana y Pequeña (PAI), considerando su impacto en el empleo. En particular, se trataba de lograr un cambio estructural con medidas a corto y mediano plazo. Para el largo plazo, se planteó una profunda reorganización y transformación de la planta productiva nacional. El Estado, sin abandonar completamente su función protectora, disminuyó su participación cuantitativa en la actividad económica, pero continuó controlando directamente las industrias consideradas estratégicas. Esta manera de racionar la injerencia estatal en la producción manufacturera se hace mediante la liquidación o venta de numerosas empresas públicas [Casar *et al.*, 1990]. En 1988, comienza el desmantelamiento de las instituciones, instrumentos y empresas que habían desarrollado capacidades de investigación y de adaptación de tecnología, que de alguna manera cumplían objetivos planteados en el estudio “Política Nacional y Programas en Ciencia y Tecnología, 1970” (PNPCyT), realizado en la década de 1970, sin que esto quiera decir que hubiera una continuidad en los planes y programas, ya que en cada sexenio la política cambia.

Por el lado de la política científico-tecnológica, se elabora el Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico y Científico (1984-1988) [Secretaría de Programación y Presupuesto, 1984]. Por medio de este programa, se pretendía aumentar sistemáticamente la inversión nacional en ciencia y tecnología, así como alentar una mayor participación de las empresas públicas, privadas y sociales en el financiamiento de proyectos de investigación, estimular la descentralización, promover la formación de recursos humanos de posgrado de calidad y el desarrollo de la oferta y demanda de servicios básicos, y la promoción de la normalización técnica. Sin embargo, el gasto en I+D como proporción del PIB osciló entre 0.32 y 0.28 % en 1984 y 1988, respectivamente [Conacyt, 1992]; los recursos estaban muy limitados y su utilización también estuvo afectada negativamente por la crisis.

Mientras tanto, en el resto del mundo, principalmente en los países desarrollados, se llevaba a cabo un profundo cambio tecnológico que condujo hacia el cambio en el modelo de producción (nuevo paradigma), que significó el paso del fordista a un modelo de producción flexible:

Una transformación del patrón tecnológico y organizativo más aún es un cambio de sentido común en lo que respecta a las prácticas más eficientes

tanto en la producción como en las demás actividades sociales. El origen de ese cambio de paradigma es una revolución tecnológica. Una revolución que resulta de la fusión e integración de dos grandes vertientes de cambio: una, la revolución informática, [...] iniciada en Estados Unidos y difundándose por el mundo desde los años setenta y, la otra, la revolución organizativa, desarrollada en Japón y adoptada cada vez más ampliamente desde los años ochenta. [Pérez, 2000: 1].

Sin duda, esto fue un elemento tomado en consideración para la elaboración del Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994; durante el gobierno de Carlos Salinas de Gortari (1988-1994), se reconoce la importancia del impulso de las actividades científicas y tecnológicas, que dio lugar al Programa Nacional de Ciencia y Modernización Tecnológica 1990-1994. Este programa parte del reconocimiento de que gran parte del progreso tecnológico en los países desarrollados tiene origen en el esfuerzo del sector productivo privado como respuesta a sus objetivos para mejorar la calidad, productividad y la competitividad de los productos, así como la reducción de costos y la ampliación del mercado, por lo que plantea que el sector productivo nacional debe emprender los esfuerzos y recursos necesarios para lograr su modernización tecnológica, e indica que para realizarlo se otorgarán los incentivos necesarios y se promoverá la vinculación de la investigación básica con las necesidades y perspectivas del sector productivo. Esto representó un cambio importante, ya que se abandonaba el proteccionismo y se inducía a las empresas a modernizarse para enfrentar a la competencia externa en un proceso de mayor apertura comercial, manifestada a mediados de la década de 1980 con la incorporación de México al Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT, del inglés General Agreement on Tariffs and Trade).

Por lo tanto, entre los principales objetivos de la PCT, en el ámbito de creación de capacidades, se encuentran: elevar y mejorar la formación de recursos humanos; aumentar el nivel de la actividad científica nacional que contribuya a la comprensión de la realidad y de los problemas nacionales en los diferentes campos de actividad. Además, se consideró necesario el aumento de las remuneraciones de los integrantes del Sistema Nacional de Investigadores y el Programa de Becas para el Desempeño Académico, que permitiría la permanencia, calidad y dedicación de los profesores e investigadores de tiempo completo. Se establecieron las condiciones para la calificación del rendimiento académico-científico, así como la captación de recursos financieros por parte de las instituciones que realizaban investigación mediante la participación en proyectos tanto públicos

como privados. Con ellos, se pretendía que el financiamiento para la ciencia y la tecnología se realizara con la participación del sector productivo, por medio del cofinanciamiento en proyectos y programas específicos de los centros de investigación y desarrollo, y con programas de crédito para el desarrollo tecnológico. Esto cambió el modelo de CT de oferta a uno de demanda.

2.4.3. Evolución de la PCTI: de mediados de 1999 hasta la actualidad

Los cambios en la PCT continuaron y, al final de la década de 1990, se emitió la Ley para el Fomento de la Investigación Científica y Tecnológica (LFICyT) [Secretaría de Educación Pública, 1999] para impulsar, fortalecer y desarrollar la investigación científica y tecnológica mexicana; en sus artículos 23 y 24, se crea el Foro Permanente de Ciencia y Tecnología. Esta ley fue remplazada por la de 2002.

En el marco general del Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2001-2006, se llevaron a cabo distintos cambios; entre ellos, la emisión de la primera Ley de Ciencia y Tecnología (LCyT) que fue publicada en 2002 [Secretaría de Educación Pública, 2002], donde se establece el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología con una orientación de mayor vinculación con el mercado. Se crearon varios instrumentos, entre los que destaca el Programa Especial de Ciencia y Tecnología, cuya formulación estuvo a cargo del Conacyt (2001-2006 PECyT) [Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2002], con la misión, a partir de entonces, de fomentar el desarrollo científico y tecnológico del país, apoyando la investigación científica de calidad y estimulando la vinculación academia-empresa y la innovación tecnológica en las empresas, además de impulsar la formación de recursos humanos de alto nivel.

Asimismo, se crearon dos tipos de fondos: 1) Conacyt y 2) Fondos de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (FICyDT). Los primeros tenían la modalidad de institucionales, sectoriales, de cooperación internacional y mixtos, mientras que los FICyDT poseían un soporte operativo de los centros públicos de investigación. Para que las universidades e instituciones de educación superior públicas y particulares, centros, laboratorios, empresas públicas y privadas pudieran acceder a los recursos, se emitieron convocatorias y se pidió estar inscritos en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (RENIECyT).

También se estableció la participación de las secretarías de Estado y las entidades de la Administración pública federal para celebrar convenios con el Conacyt, cuyo fin sería determinar el establecimiento de fondos sectoriales Conacyt con el propósito de realizar investigaciones científicas o tecnológicas.

Otro instrumento fue el de estímulos fiscales, operado por un comité interinstitucional y formado por un representante del Conacyt, uno de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, uno de la Secretaría de Economía y uno de la Secretaría de Educación Pública, quienes determinarían las reglas generales de operación y los sectores prioritarios susceptibles de obtener el beneficio, así como los requisitos que deberían cumplir para obtener el estímulo.

En esta LCyT, se creó el Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A. C. (FCCyT)³⁶ como un órgano autónomo de consulta permanente del Poder Ejecutivo federal; del Consejo General de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación y de la Junta de Gobierno del Conacyt. También colaboró con el Poder Legislativo por medio del trabajo coordinado con la Comisión de Ciencia y Tecnología del Senado de la República, la Comisión de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Cámara de Diputados y otras encargadas de temas como educación competitividad, presupuesto y Administración pública, cuya función es la de proponer, opinar, analizar, valorar el PECyT y los programas anuales prioritarios, entre otros.

La LCyT de 2002, define que el Conacyt será la entidad asesora del Ejecutivo federal y especializada para articular las políticas públicas del Gobierno federal, así como la promoción y desarrollo de la investigación científica, tecnológica, la innovación, el desarrollo y la modernización tecnológica del país, y la libertad de disponer de sus recursos. Este es un cambio relevante, pues la política industrial quedó completamente desplazada por políticas horizontales de la PCTI. La LCyT le otorgó al Conacyt mayores facultades para construir o fomentar un sistema de innovación donde participarían tanto científicos de los distintos centros de investigación e instituciones de educación superior como secretarías de Estado, procurando una mejor vinculación con el sector productivo, algo que ya estaba pasando desde años atrás.

El diseño del PECyT causó diversos debates, particularmente, en algunos sectores académicos, que consideraban que las iniciativas de ese programa no tenían una visión realmente sistémica, mientras que la mayoría de los

³⁶ El FCCyT tuvo como precedente al Foro Permanente de Ciencia y Tecnología.

países de la OECD y, especialmente, los europeos se orientaban cada vez más a sus actividades de innovación y a una mejor integración del sector público con el privado el PECyT:

No se refiere a una estructura institucional coherente, sino a una eventual sucesión de actividades que tiene su base en la I&D [...] refleja la intención del Gobierno mexicano de seguir privilegiando un esquema de apoyo a la oferta de conocimientos científicos y tecnológicos, sin encarar prioritariamente el desarrollo de mecanismos efectivos para su difusión. [Solleiro, 2002: 42, 43].

Se sigue aplicando el modelo lineal y secuencial de innovación, el cual es un enfoque limitado, porque solo toma en cuenta los componentes incorporados a la innovación y que son apropiados a través de los mecanismos del mercado, pero no tiene en cuenta los componentes de tipo tácito, los cuales no son fáciles de separar de las organizaciones o de los individuos que los incorporan, es decir, dejan de lado la generación de conocimiento en el sector productivo, en las empresas. Se trata de una grave situación porque los elementos de mayor relevancia en los sistemas de innovación tienen relación directa con la capacidad de aprendizaje interactivo de los individuos, las regiones y las organizaciones que afectan el funcionamiento de las empresas y los nuevos métodos de cooperación y competencia.

La estrategia implementada por el Estado continuó en esa misma dirección, ya que la retomó el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, donde se planteaba como objetivo la creación de una economía competitiva con altas tasas de crecimiento y con capacidad en la generación de empleos, así como mejorar las remuneraciones por medio de tres líneas estratégicas: incrementar la productividad del capital y el trabajo a través de la innovación tecnológica; aumentar la inversión para dotar a las empresas y a los trabajadores de más y mejores herramientas productivas, y mejorar las capacidades de las personas mediante un incremento en la calidad de la educación. Para ello, se llevó a cabo el Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2008-2012 (PECiTI) [Conacyt, 2008]. Se hace referencia a los efectos de la globalización y al aumento de la brecha tecnológica, por lo que se considera necesario reforzar el diseño de políticas con un mayor énfasis en la productividad, calidad e innovación, esperando una mayor participación de los empresarios, ingenieros y tecnólogos, así como aumentar la articulación entre los distintos actores del sistema para mejorar la aplicación del conocimiento científico y

tecnológico. Se incorpora de manera explícita a la innovación dentro de los objetivos:

La adopción de la innovación como una prioridad para la política de CTI ha llevado al Conacyt a entrar en un proceso de experimentación y aprendizaje a través de la adopción, revisión y cierre de diferentes programas y mecanismos de financiamiento. Después del éxito inicial de los nuevos créditos fiscales de I+D, que en 2006 representaron el equivalente a 43.7 % del presupuesto del Conacyt, eventualmente condujeron a preocupaciones acerca de la exactitud y transparencia en el manejo del instrumento. Un nuevo mecanismo para la promoción de incentivos para la innovación está ahora en marcha: el llamado Programa de Estímulos a la Innovación (PEI). Este programa está dirigido a fomentar la inversión de las empresas en I+D y otras actividades de innovación a través del apoyo directo, evitando intermediarios. El programa opera bajo tres diferentes tipos de modalidad: INNOVAPYME (para pymes), PROINNOVA (para tecnologías nuevas y potenciales) e INNOVATEC (para grandes empresas). [Corona *et al.*, 2013: 41].

De acuerdo con el PECiTI 2008-2012, los incentivos diseñados para promover la investigación y el desarrollo experimental han permitido incrementar el esfuerzo privado en esas actividades, así como la incorporación de las micro y pequeñas empresas (mipymes) en actividades de innovación gracias a un fondo sectorial constituido entre la Secretaría de Economía y el Conacyt.

En años más recientes, en particular con los objetivos del PECiTI 2014-2018 [Conacyt, 2014], se ha planteado enfáticamente lograr un mayor desarrollo científico, tecnológico y de innovación, considerándolos como pilares en los que se podría cimentar el progreso económico y social sostenible del país. Uno de los propósitos planteados era incrementar la inversión en investigación científica y desarrollo tecnológico hasta alcanzar 1 % del PIB, así como contribuir a la formación y fortalecimiento del capital humano de alto nivel; impulsar el desarrollo de las vocaciones y capacidades científicas, tecnológicas y de innovación locales para fortalecer el desarrollo regional sustentable e incluyente; contribuir a la transferencia y aprovechamiento del conocimiento, vinculando a las IES y los centros de investigación con los sectores público, social y privado, y contribuir al fortalecimiento de la infraestructura científica y tecnológica del país.

El diagnóstico reseñado en ese programa mostraba que el país había tenido avances importantes pero de limitado impacto, por lo que se consi-

deraba que, para lograr un mayor desarrollo económico y progreso social, era necesario tanto un compromiso sostenido para aumentar la inversión pública y privada en investigación y desarrollo e innovación como una definición clara de instrumentos coherentes, relacionados entre sí, que atendieran las diferencias tradicionales en una realidad heterogénea y que permitieran cubrir necesidades como: la articulación de un conjunto de actores diversos y débilmente coordinados, entre sí, que integran el Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación (SNCTI), el sector público en sus tres órdenes, el sector académico y de investigación, y el conjunto de empresas con actividades de CTI. Se presentó en el programa una serie de indicadores sobre los cuales se fundamentan las iniciativas. Cabe resaltar que, según el PECiTI 2014-2018, el porcentaje de las empresas innovadoras con respecto al total de empresas aumentó de 8.2 %, en 2013, a 20 %, en 2018, que indirectamente se puede considerar como un avance de la política de fomento.

De acuerdo con lo establecido por la LCTI, el Conacyt determina sus metas y políticas según lo señalado en el PECiTI. Como parte de esas políticas, se incluye el impulso a la innovación y al desarrollo tecnológico en las empresas, así como el fomento a la vinculación con universidades, instituciones de educación superior y centros de investigación, que se puede interpretar como un modelo que combina la política de oferta y demanda.

Los Fondos Conacyt son cinco: 1) Programa de Estímulos a la Innovación (PEI); 2) Fondos Sectoriales; 3) Fondos Mixtos; 4) Fondos Institucionales y 5) Apoyos Institucionales, y “se desglosan en diferentes programas con el objetivo de interactuar con todos los agentes que integran el Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación de México, esto es, secretarías de Estado, gobiernos estatales, instituciones académicas y científicas, sectores productivos y organizaciones” [FCCyT, 2014: 15].

1. El PEI proporciona apoyo a las empresas que invierten en proyectos de investigación, desarrollo de tecnología e innovación, enfocados al desarrollo de nuevos productos, procesos o servicios. Está dirigido a empresas mexicanas inscritas en el RENIECyT que realizan actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación (IDTI) en el país, de manera individual o en vinculación con IES públicas o privadas nacionales y/o centros e institutos de investigación públicos nacionales.
2. Los Fondos Sectoriales son fideicomisos que las dependencias y las entidades de la Administración pública federal conjuntamente con el

Conacyt pueden constituir para destinar recursos a la investigación científica y al desarrollo tecnológico en el ámbito sectorial correspondiente. El objetivo es promover el desarrollo y la consolidación de las capacidades científicas y tecnológicas en beneficio de los sectores y canalizar los recursos para coadyuvar al desarrollo integral de los sectores mediante acciones científicas y tecnológicas.

3. Los Fondos Mixtos son un instrumento que apoya el desarrollo científico y tecnológico estatal y municipal, a través de un fideicomiso constituido con aportaciones del Gobierno del estado o municipio, y el Gobierno federal, a través del Conacyt.
4. Los Fondos Institucionales operan en distintas áreas del Conacyt, como apoyo a la investigación científica, básica y aplicada, desarrollo tecnológico e innovación y formación de capital humano; promoción de acciones científicas, tecnológicas y formación de recursos humanos de alto nivel; apoyos y financiamientos para actividades vinculadas a la investigación científica, al desarrollo y a la formación de recursos humanos especializados.
5. Los Apoyos Institucionales son apoyos otorgados a las actividades de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación que realicen las personas físicas o morales de los sectores público, social y privado, los cuales, para ser otorgados, requieren autorización expresa del director general del Conacyt, contando con la opinión del Comité de Apoyos Institucionales (CAI).

Una de las limitaciones para avanzar en el apoyo a la CTI es la inversión o gasto destinado a las diferentes actividades de innovación. Como se muestra en el tabla 2.1, el gasto en I+D no ha tenido cambios significativos de incremento, por el contrario, el último dato disponible es de solo 0.31 % del PIB.

Por otro lado, el origen del financiamiento muestra que no se ha logrado incrementar de manera importante la inversión del sector empresarial, en años recientes con tendencia descendente, sin recuperar el nivel que tenía antes de la crisis de 2008. Por otra parte, la gubernamental tiene un mayor porcentaje en la financiación del gasto. Se ha logrado avanzar, pero este proceso no ha sido acelerado de acuerdo a las necesidades de México, y como lo han hecho algunos países, incluyendo a otros de América Latina (véase capítulo 1).

Tabla 2.1. *Gasto en I+D en México por fuente de financiamiento*

Años	Gasto en I+D (GERD) como porcentajes del PIB	Porcentaje del gasto en I+D financiado por el gobierno	Porcentaje del gasto en I+D financiado por el sector empresarial
2005	0.40	49.2	41.5
2013	0.43	76.8	20.5
2014	0.44	81.3	15.7
2015	0.43	79.7	17.4
2016	0.39	77.6	18.8
2017	0.33 (e)	76.8 (e)	19.0 (e)
2018	0.31 (e)	76.8 (e)	18.6 (e)

Fuente: elaboración propia con datos de Main Science and Technology Indicators: Volume 2020/1 [OECD, 2020].

Las limitaciones y problemas que enfrenta el país en CTI fueron analizados recientemente con el objetivo de presentar propuestas al nuevo gobierno (2018-2024), las cuales dieron origen al documento *Hacia la consolidación y desarrollo de políticas públicas en ciencia, tecnología e innovación*³⁷ y fueron realizadas por parte de la comunidad científica, empresarial, educativa y de innovación en respuesta a la convocatoria del rector de la UNAM, el doctor Enrique Graue, por medio de consultas, mesas de discusión y sesiones plenarias con la participación de los representantes de las instituciones de CTI.

2.5. Reflexiones finales

En el caso de México, las PCTI han evolucionado con el tiempo y en distintas etapas coexistieron y coevolucionaron con la política industrial que había sido creada para dar un empuje a la industrialización del país. Uno de los cambios relevantes ocurrió en la década de 1980, cuando el Estado cambió el enfoque de su política económica respecto al crecimiento y disminuyó la intervención estatal en la actividad económica. En contraste con la política seguida en el proceso de industrialización mexicana de susti-

³⁷ Este documento fue entregado al entonces presidente electo, Andrés Manuel López Obrador, el 22 de agosto de 2018.

tución de importaciones, adoptó las condiciones neoliberales dictadas por las instituciones financieras internacionales. Sin embargo, no es la única causa del escaso avance en los objetivos de crecimiento y desarrollo, sino la *path dependency*, ya que la situación actual de atraso económico y dependencia tecnológica ha sido resultado de las decisiones políticas que no han sido eficientes, no han logrado los objetivos planteados en los programas sexenales, pues han carecido de una visión de largo plazo (véase en el capítulo 1 el apartado 1.2.3.1).

A pesar de los propósitos manifestados –tanto en los Programas Nacionales de Desarrollo y los de CTI– de lograr un desarrollo apoyado en la ciencia, tecnología e innovación, no se ha conseguido concretar en el nivel que necesita el país para que sea posible. El financiamiento tanto público como privado ha sido insuficiente para romper con la inercia de una baja inversión en la construcción de capacidades tecnológicas formales y tácitas que permitan una utilización eficiente de la tecnología importada. También es fundamental que el Estado participe en el financiamiento de las actividades de I+D y estimule la inversión privada para obtener montos que favorezcan dichas tareas. Es indispensable optimizar la asignación de recursos con estrategias que coadyuven al desarrollo del país con la intervención oportuna del gobierno.

Actualmente, se dispone en muchos países europeos un amplio conjunto de instrumentos y programas que forman parte de las PCTI, aunque al mismo tiempo existen países, como España, que no consiguen dinamizar su sistema de innovación.³⁸ Habrá que consolidar y rediseñar estos instrumentos para que sean más eficientes, pero el principal reto de las PCTI sería afrontar los grandes desafíos actuales.

El primero de ellos es afrontar las consecuencias y aprovechar las oportunidades del cambio del ciclo de vida de las tecnologías claves u horizontales. También los grandes problemas de la sociedad como los medioambientales y la escasez de materias primas exigen una búsqueda de soluciones novedosas. En tales circunstancias, no solo se requieren medidas mucho más ambiciosas que la corrección de los fallos del sistema de innovación, sino que son necesarias políticas enfocadas a misiones

³⁸ El Country Report de España de 2012 sostiene que la PCTI española está muy diversificada con un presupuesto considerable, pero, debido a la existencia de un amplio número de fallos de mercado, no se ha conseguido crear una cultura económica que apueste por la innovación [ERA-watch, 2012].

concretas y a la creación de una demanda de tecnologías adecuadas para afrontar los problemas de la sociedad y –en el caso de los países del Oeste– políticas que vuelvan a poner a los países avanzados en la senda de crecimiento y competitividad. Para ello, se deben reorientar las políticas de nuevo hacia los campos tecnológicos emergentes para reactivar la economía, volver a la senda del aumento de productividad y recuperar la pérdida de competitividad respecto a los países BRICS.

Las políticas basadas en la corrección de los fallos del mercado o sistémicos se pueden considerar reactivas donde básicamente se solucionan problemas que surgen en los sistemas de innovación [Mazzucato, 2014]. Pero existe un debate actual sobre si la PCTI debe limitarse a una política reactiva que solucione los fallos de mercado o sistémicos, o si debe tener un enfoque proactivo enfocado donde el Estado desempeñe una tarea relevante en la definición de la orientación o dirección del progreso tecnológico para apoyar la transformación de la sociedad en su conjunto. En realidad, no es una elección de una de las dos opciones, sino que las dos se consideran complementarias [Mazzucato, 2014; 2016]. De hecho, la teoría evolucionista y otras corrientes siempre han abogado por una política proactiva. Sin embargo, la teoría evolucionista también propone una visión proactiva donde el objetivo es crear un sistema de innovación eficiente y efectivo enfocado hacia la mejora de la competitividad del sistema productivo nacional. La competitividad a nivel empresarial y la innovación se pueden considerar un binomio indisoluble, donde un buen sistema innovador [Freeman, 1987] o un buen sistema productivo y un alto nivel de exigencia de los consumidores y productores [Porter, 1990] mejoran el nivel competitivo tanto de las empresas individuales como el de los países y/o regiones.

Esta nueva realidad no implica un cambio de paradigma del diseño de las PCTI mediante la creación de nuevos instrumentos, debido a que ya existe un amplio conjunto de recursos muy bien definidos, aunque no siempre bien aplicados. Sus efectos esperados y efectividad potencial³⁹ han sido, en cierto modo, analizados y, a veces, evaluados empíricamente. En nuestra opinión, este tipo de análisis requiere ser complementado todavía en bastantes aspectos, especialmente en lo relacionado a la interacción entre los efectos de distintos instrumentos complementarios dentro del *policy mix*; los efectos diferenciados según el nivel económico o tecnoló-

³⁹ Véanse, por ejemplo, los informes de NESTA, ya mencionados, y el trabajo de Cirera *et al.* [2020].

gico de los países donde se aplican los instrumentos y en la forma de adaptarlos al contexto concreto del país o la región, pero, como se acaba de mencionar, no se trataría de un cambio radical o paradigmático del diseño de las PCTI, sino de afinar su uso. Aunque podría surgir algún instrumento novedoso, se trataría de ajustar su composición y los objetivos concretos que persiguen.

REFERENCIAS

- Arnold, Erik & Giarracca, Flora [2012], "Getting the Balance Right: Basic Research, Missions and Governance for Horizon 2020", *Techonopolis* [Group]. Research Report prepared for the European Association of Research and Technology Organisations, Published as a Working Paper, University Twente, Netherlands. Retrieved from < <https://bit.ly/3hQf6Y7>>.
- Arocena, Rodrigo & Sutz, Judith [2010], "Weak Knowledge Demand in the South: Learning Divides and Innovation Policies", *Science and Public Policy*, 37(8): 571-582.
- Arrow, Kenneth [1959], "Rational Choice Functions and Orderings", *Economica*, 26(102): 121-127.
- [1962], "The Economic Implications of Learning by Doing", *Review of Economic Studies*, 29(3) 155-173.
- Belderbos, René; Carree, Martin; Diederer, Bert; Lokshin, Boris & Veugelers, Rein-hilde [2004], "Heterogeneity in R&D Cooperation Strategies", *Discussion Paper 4021*, CEPR.
- Bergek, Anna; Jacobsson, Staffan, Hekkert, Marko & Smith, Keith [2010], "Functionality of Innovation Systems as a Rationale for and Guide to Innovation Policy", *The Theory and Practice of Innovation Policy*, Cheltenham, Edward Elgar, 117-146.
- Borrás, Susana & Edquist, Charles [2013], "The Choice of Innovation Policy Instruments", *Paper no. 2013/04*, Centre of Innovation, Research and Competence in the Learning Economy (CIRCLE), Lund University.
- [2018], The Design of Holistic Innovation Policy: Characterizing 22 Policy Problems. In *Book of Abstracts Eu-SPRI Annual Conference Vienna 2017: The Future of STI—the Future of STI Policy* (9-10), Seibersdorf, Austria, Austrian Institute of Technology.
- Bozeman, Barry [1997], "The Cooperative Technology Paradigm: An Assessment" (172-189), In Yong S. Lee (ed.), *Technology Transfer and Public Policy*, Westport, Quorum Books. Retrieved from <<https://bit.ly/3rOoJXF>>.
- Bueno, Gerardo [1972], "Estructura de la protección en México", Bela Balassa (comp.), *Estructura de la protección en países en desarrollo*, México, CEMLA.
- Buesa, Mikel; Navarro, Miquel y Zubiaurre, Arantxa [1997], "La innovación tecnológica en las empresas de las comunidades autónomas del País Vasco y Navarra", *Eusko Azkoaga. Cuadernos de Ciencias Sociales y Económicas*.
- Bush, Vannevar [1945/1999], "Ciencia, la frontera sin fin. Un informe al presidente", julio de 1945, *Redes* 6(14): 91-137.

- Casar, José I.; Márquez, Carlos; Marván, Susana; Rodríguez, Gonzalo y Ros, Jaime [1990], *La Organización Industrial en México*, México, Siglo XXI.
- Chaminade, Cristina & Lundvall, Bengt-Åke [2019], “Science, Technology, and Innovation Policy: Old Patterns and New Challenges”, *Oxford Research Encyclopedia of Business and Management*, Oxford, Oxford University Press. DOI: 10.1093/acrefore/9780190224851.013.179.
- Chang, Ha-Joon [1994], *The Political Economy of Industrial Policy*, Cambridge, St. Martin’s Press, University of Cambridge.
- [2002], *Kicking Away the Ladder: Development Strategy in Historical Perspective*, London, Anthem Press.
- [2012], “Kicking Away the Ladder: Neoliberalism and the ‘Real’ History of Capitalism”, in *Developmental Politics in Transition* (43-50), London, Palgrave Macmillan.
- Cirera, Xavier; Frias, Jaime; Hill, Justin & Li, Yanchao [2020], *A Practitioner’s Guide to Innovation Policy: Instruments to Build Firm Capabilities and Accelerate Technological Catch-Up in Developing Countries*, Washington, World Bank. Retrieved from <<https://bit.ly/2Rw6Lhw>>.
- Comisión Europea [2014], *Horizon 2020. El programa marco de investigación e innovación de la Unión Europea*. Luxemburgo, Publicaciones de la Unión Europea. Recuperado de <<https://bit.ly/2StgWDW>>.
- [s.f.], ¿Qué es la especialización inteligente? Recuperado de <<https://bit.ly/3fkYRk3>>.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) [1976], *Plan Indicativo de Ciencia y Tecnología*, México, Conacyt.
- [1992], *Indicadores de Actividades Científicas y Tecnológicas*, México, Conacyt.
- [2002-12-12], Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2001-2006, Diario Oficial de la Federación, México.
- [2008-16-12], Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2008-2012, Diario Oficial de la Federación, México.
- [2014-30-07], Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2018, Diario Oficial de la Federación, México.
- Corona Juan; Dutrénit, Gabriela; Puchet, Martín & Santiago, Fernando [2013], “La co-evolución de las políticas de CTI, el sistema de innovación y el entorno institucional en México”, en Crespi, Gustavo y Gabriela Dutrénit, *Políticas de ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo. La experiencia latinoamericana*, México, FCCyT.
- Cunningham, Paul & Gök, Abdullah [2012], *The impact and effectiveness of policies to support collaboration for R&D and innovation* (Compendium of Evidence on the Effectiveness of Innovation Policy), London / Manchester, NESTA and Manchester Institute of Innovation Research.

- Davis, Ralph [1966], "The rise of protection in England, 1689-1786", *The Economic History Review*, 19(2): 306-317.
- Dosi, Giovanni [1988], "Sources, Procedures and Microeconomic Effects of Innovation", *Journal of Economic Literature*, 26(3): 1120-1171. Una traducción española de este trabajo con el título "Fuentes, métodos y efectos microeconómicos de la innovación" puede encontrarse en *Ekonomiaz. Revista Vasca de Economía*, 22, 1992.
- Dosi, Giovanni, Llerena, Patrick & Sylos Labini, Mauro [2006], "The Relationship Between Science, Technologies, and their Industrial Exploitation: An Illustration through the Myths and Realities of the So-called 'European Paradox'", *Research Policy*, 35(10): 1450-1464.
- Dussel Peters, Enrique [1997], *La Economía de la polarización*, México, Jus.
- Edler, Jakob [2013], "Review of Policy Measures to Stimulate Private Demand for Innovation. Concepts and effects", *Compendium of Evidence on the Effectiveness of Innovation Policy Intervention*, Nesta Working Paper 13/13, Manchester Institute of Innovation Research, University of Manchester. Retrieved from <<https://bit.ly/3ydO1DU>>.
- Edler, Jakob & Fagerberg, Jan [2017], "Innovation Policy: What, Why, and How", *Oxford Review of Economic Policy*, 33(1): 2-23.
- Edler, Jakob & Georghiou, Luc [2007], "Public Procurement and Innovation-Resurrecting the Demand Side", *Research Policy*, 36(7): 949-963.
- Edquist, Charles [1997], *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*, London, Psychology Press.
- [2010], "Systems of Innovation Perspectives and Challenges", *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 2(3): 14-45.
- Edquist, Charles & Hommen, Leif [1999], "Systems of Innovation: Theory and Policy for the Demand Side", *Technology in Society*, 21(1): 63-79.
- Ennen, Edgar & Richter, Ansgar [2010], "The Whole is More than the Sum of Its Parts-or Is It? A Review of the Empirical Literature on Complementarities in Organizations", *Journal of Management*, 36(1): 207-233.
- ERA-watch [2012], *ERA-watch Country Report 2011: Spain*, Editor ERA-watch Network. ERA-watch Strategic Intelligence Service-Operational Phase. Retrieved from <<https://bit.ly/37ck8YH>>.
- European Parliament [2005], Report on Science and technology - Guidelines for future European Union policy to support research. Retrieved from <<https://bit.ly/3wvxg5F>>.
- Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCyT) [2014], *Catálogo de programas para el fomento a la innovación y la vinculación en las empresas*, México, FCCyT.

- Foray, Dominique & Lundvall, Bengt-Åke [1996], *Employment and Growth in the Knowledge-based Economy*, Paris, OCDE.
- Freeman, Christopher [1987], *Technology Policy and Economic Performance. Lessons from Japan*, London/NY, Burns & Oates.
- Freeman, Christopher, and Carlota Perez [1987], “Structural Crises of Adjustment, Business Cycles and Investment Behaviour”, *Technology, Organizations and Innovation: Theories, concepts and paradigms* (1988): 38-66. In Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G., & Soete, L. [1988]. *Technical change and economic theory*, Pisa, Laboratory of Economics and Management (LEM), Sant'Anna School of Advanced Studies.
- _____. [1991], “Technology, Progress and the Quality of Life”, *Science and Public Policy*, 18(6): 407-418.
- Halty-Carrère, Máximo [1986], *Estrategias del desarrollo tecnológico*, México, El Colegio de México.
- Harper, Jennifer [2013], “Impact of Technology Foresight”, *Compendium of Evidence on the Effectiveness of Innovation Policy Intervention*, Manchester Institute of Innovation Research.
- Heijs, Joost [2001], *Política tecnológica e innovación: Evaluación de la financiación pública de I+D en España*, Madrid, Consejo Económico Social.
- _____. [2006], “El papel de las empresas extranjeras en el desarrollo tecnológico de las economías nacionales”, *ICE, Revista de Economía* (830).
- _____. [2009], *ERAWATCH Country Report 2009. Analysis of Policy Mixes to Foster R&D Investment and to Contribute to the ERA*, Seville, JRC Scientific and Technical Reports.
- Heijs, Joost; Buesa, Mikel; Vergara Reyes, Delia; Gutiérrez, Cristian; Arenas, Guillermo y Guerrero, Alex [2020], *Innovación, crecimiento y competitividad: el papel de la política tecnológica en España*, Madrid, Estudios de la Fundación, 94. La Fundación de las Cajas de Ahorros (Funcas).
- Heijs, Joost; Herrera, Liliana; Buesa, Mikel; Saiz, Javier y Valadez, Patricia [2005], *Efectividad de la política de cooperación en innovación: evidencia empírica española*, Madrid, Instituto de Estudios Fiscales.
- Heijs, Joost y Baumert, Thomas [2007], “Políticas alemanas de I+D+i: instrumentos seleccionados”, en Vence, X. (coord.), *Crecimiento y políticas de innovación*, Madrid, Pirámides (217-246).
- _____. [2008], “Política regional de I+D e innovación en Alemania: lecciones para el caso español”, *Documento de trabajo*, 63, Madrid, Instituto de Análisis Industrial y Financiero de la Universidad Complutense de Madrid.
- Heijs, Joost & Martínez Alcalá, Ignacio [2011], *Luces y sombras de los sistemas de innovación en Europa. Balance y perspectivas de futuro*, Madrid, ESIC.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) [1994], *Estadísticas históricas de México*, México, INEGI.
- Instituto Nacional de la Investigación Científica (INIC) [1970], *Política Nacional y Programas en Ciencia y Tecnología*, México, INIC.
- Jaffe, Adam & Jones, Benjamin F. [2015], *The Changing Frontier: Rethinking Science and Innovation Policy*, Chicago, IL, University of Chicago Press.
- Jenkins, David [1994], "The Textile Industries", in R. A. Church and E. A. Wrigley (eds.), *The Industrial Revolution in Britain*, Oxford, Blackwell.
- Jeremy, David [1977], "Damming the Flood: British Government Efforts to Check the Outflow of Technicians and Machinery, 1780-1843", *The Business History Review*, 1-34.
- Katz, Jorge [1993], "Falla de mercado y política tecnológica", *Revista de la Cepal* (50).
- _____ [2000], *Pasado y presente del comportamiento tecnológico de América Latina*, Santiago de Chile, Cepal.
- Kline, Stephen J., and Nathan Rosenberg [1986], "An overview of innovation". In: *National Research Council. The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*, Washington, The National Academies Press. Retrieved from <<https://doi.org/10.17226/612>>.
- Lall, Sanjaya [1996], *Learning from the Asian Tigers: Studies in Technology and Industrial Policy*, Berlin, Springer Verlag.
- Lall, Sanjaya; Albaladejo, Manuel & Mesquita, Mauricio [2005], *La competitividad industrial de América Latina y el desafío de la globalización*, Buenos Aires, BID-INTAL.
- Lundvall, Bengt-Åke [1992], *National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive learning*, London, Printer Publishers.
- Lundvall, Bengt-Åke & Borrás, Susana [2004], "Science, Technology and Innovation Policy", *The Oxford handbook of innovation*, DOI: <10.1093/oxfordhb/9780199286805.003.0022>.
- Mazzucato, Mariana [2014], "A Mission-Oriented Approach to Building the Entrepreneurial State", *Innovate, London, UK*.
- _____ [2016], "From Market Fixing to Market-Creating: A New Framework for Innovation Policy", *Industry and Innovation*, 23(2): 140-156.
- Menéndez Díaz, José Á. [2018], "Una breve historia del origen de las patentes", DOI:10.13140/RG.2.2.14345.90721
- Merritt, Giles y De Bauw, Anatole [1985], *Industrial innovation: A Guide to Community Action, Services and Funding*, Report of the European Commission, Brussels, EUR 9120 EN.
- Metcalfe, J. Stanley [1994], "Evolutionary Economics and Technology Policy", *The Economic Journal*, 104(425): 931-944.

- Metcalfe, Stanley & Georghiou, Luc [1997], "Equilibrium and Evolutionary Foundations of Technology Policy", Centre for Research on Innovation and Competition (CRIC), Manchester, The University of Manchester.
- Mowery, David [1994], "Survey of Technology Policy", In *Science and Technology Policy in Interdependent Economies* (7-55), Dordrecht, Springer.
- Mowery, David & Rosenberg, Nathan [1989], "New Developments in U. S. Technology Policy: Implications for Competitiveness and International Trade Policy, Bussiness and Public Policy", *Californian Management Review*, 32(1): 107-124.
- Nadal Egea, Alejandro, [1977], *Instrumentos de Política Científica y Tecnológica en México*, México, El Colegio de México.
- Nafinsa-Cepal [1971], *Desarrollo económico de México*, México, Nafinsa-Cepal.
- Nelson, Richard [1959], "The Simple Economics of Basic Cientific Research", *Journal of Political Economy*, 67(3): 297-306.
- Nelson, Richard & Winter, Sidney G. [1982], *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge/Massachusetts/London, The Belkanp Press of Harvard University Press.
- NESTA, [s.f.], Innovation policy: the evidence. A compendium of evidence on the effectiveness of innovation policy. NESTA Innovation policy. Retrieved from <<https://bit.ly/2Ryiwwa>>.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD) [1997], *Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Survey Data - The OSLO Manual*, Paris, OECD.
- _____ [2019], *Main Science and Technology Indicators*, Paris, OECD Publishing. Retrieved from <<https://bit.ly/3vcWZjp>>.
- Parlamento Europeo [2019], Política de innovación. Recuperado de <<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/67/innovation-policy>>.
- Pérez, Carlota [1996], "La modernización industrial en América Latina y la herencia de la sustitución de importaciones", *Comercio Exterior*, 46(5): 347-363.
- _____ [2000], "Cambio de paradigma y rol de la tecnología en el desarrollo", *Charla en el Foro de apertura del ciclo "La ciencia y la tecnología en la construcción del futuro del país"* organizado por el MCT, Caracas, junio. Recuperado de <<https://bit.ly/35IypeW>>.
- _____ [2005], *Revoluciones tecnológicas y capital financiero: la dinámica de las grandes burbujas financieras y las épocas de bonanza*, México, Siglo XXI.
- Pietrobelli, Carlo & Puppato, Fernanda [2016], "Technology Foresight and Industrial Strategy", *Technological Forecasting and Social Change*, 110, 117-125.
- Porter, Michael [1990], *The Comparative Advantage of Nations*, New York, Free Press and Macmillan.

- Ramlogan, Ronny & Rigby, John [2014], "The Impact and Effectiveness of Entrepreneurship Policy", *Compendium of Evidence on the Effectiveness of Innovation Policy Intervention*, Manchester, Institute of Innovation Research, Manchester Business School, University of Manchester. Recuperado de: <<http://research.mbs.ac.uk/innovation/>>.
- Romer, Paul M. [2000], "Should the Government Subsidize or Demand in the Market for Scientists and Engineers", *NBER Working Papers 7723*, National Bureau of Economic Research, Inc.
- Rosenberg, Nathan [1982], *Inside the Back Box: Technology and Economics*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Rothwell, Roy [1983], "The Difficulties of National Innovation Policies", *The Trouble with Technology*, 11(1).
- [1985], "Reindustrialization and Technology. Towards a National Policy Framework", *Science and Public Policy*, 12(3): 113-130.
- Rothwell, Roy & Dodgson, Mark [1994], "Innovation and Size of Firm", In Mark Dodgson, & Roy Rothwell (eds.), *The handbook of industrial innovation* (310-324), Aldershot Hants, Edward Elgar.
- Sagasti, Francisco R. [2011], *Ciencia, tecnología, innovación: políticas para América Latina*, Lima/México, FCE.
- Samuelson, Paul [1954], "The Pure Theory of Public Expenditure", *Review of Economics and Statistics*, 36: (347-363).
- [1955], "A Theory of Induced Innovation Along Kennedy-Weissacker Lines", *Review of Economics and Statistics* 47(4): 343-356.
- Sanz, Luis [2005], "Políticas de I+D y presupuestos públicos en un entorno cambiante", en *Presupuestos y gasto público* (217-242), Madrid, Instituto de Estudios Fiscales.
- Secretaría de Economía [1955-4-01], Ley de Fomento de Industrias Nuevas y Necesarias, Diario Oficial de la Federación, México.
- Secretaría de Educación Pública [1999-21-05], Ley para el Fomento de la Investigación Científica y Tecnológica, Diario Oficial de la Federación, México.
- [2002-5-06], Decreto por el que se expiden la Ley de Ciencia y Tecnología y la Ley Orgánica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Diario Oficial de la Federación, México.
- Secretaría de Industria y Comercio [1972-30-12], Ley sobre el Registro de la Transferencia de Tecnología y el Uso y Explotación de Patentes y Marcas, Diario Oficial de la Federación, México.
- Secretaría de Programación y Presupuesto [1984-21-12], Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico y Científico 84-88, Diario Oficial de la Federación, México.
- Smith, Keith [2000], "Innovation as a Systemic Phenomenon: Rethinking the Role of Policy", *Enterprise and Innovation Management Studies*, 1(1): 73-102.

-
- _____ [2018], Innovation Policy in an Evolutionary Context, In Paolo, Saviotti y Stanley Metcalfe (eds.), *Evolutionary Theories of Economic and Technological Change*, London, Routledge.
- Solleiro, José [2002], “El programa especial de ciencia y tecnología 2001-2006 (PECyT) y el Sistema Nacional de Innovación”, *Revista Aportes*, 20: 41-53.
- Stoneman, Paul [1987], “Some Analytical Observations on Diffusion Policies”, *Economic Policy and Technological Performance*, Partha Dasgupta and Paul Stoneman (eds.), Cambridge, Cambridge University Press: (154-168).
- _____ (ed.) [1996], *Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*, Oxford, Blackwell.
- Tassey, Gregory [1992], *Technology Infrastructure and Competitive Positions*, Dordrecht, Kluwer Publishers.
- Tehter, Bruce [2002], “Who Co-operates for Innovation and Why: An Empirical Analysis”, *Research Policy*, 31(6): 947-67.
- Unesco [1992], *Science and technology in developing countries strategies for the 1990s*, Paris, France, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Vence, Xavier (coord.) [2007], *Crecimiento y políticas de innovación*, Madrid, Pirámides.
- Vergara Reyes, Delia Margarita; Heijis, Joost; Arenas Díaz, Guillermo y Guerrero, Alex [2019], *Efectos de la política tecnológica en el comportamiento innovador y el empleo: análisis de contenido*. Recuperado de <<https://bit.ly/3vVtSkp>>.
- Villarreal, René [1987], “La política industrial en el desarrollo de México, en el Mercado de Valores”, XLVII, 44, 2 de noviembre, *Testimonios de El Mercado de Valores* [1990], V, Desarrollo Industrial y Tecnología.
- _____ [2000], *Industrialización, deuda, desequilibrio externo en México. Un enfoque macroindustrial y financiero (1929-2000)*, México, FCE.
- Wieczorek, Anna & Hekkert, Marko [2012], “Systemic Instruments for Systemic Innovation Problems: A Framework for Policy Makers and Innovation Scholars”, *Science and Public Policy*, 39(1): 74-87.
- Wionczek, Miguel S. [1971], *Inversión y tecnología extranjera en América Latina*, México, Joaquín Mortiz.
- Witt, Ulrich [2003], “Economic Policy Making in Evolutionary Perspective”, *Journal of Evolutionary Economics*, 13(2): 77-94.
- Woolthuis, Rosalinde; Lankhuizen, Maureen & Gilsing, Víctor [2005], “A System Failure Framework for Innovation Policy Design”, *Technovation*, 25(6): 609-619.

CAPÍTULO 3

INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS BÁSICOS RESPECTO A LA EVALUACIÓN DE LAS POLÍTICAS DE INNOVACIÓN Y DE LOS MÉTODOS DE EMPAREJAMIENTO

Joost Heijs
Delia Margarita Vergara

3.1. Introducción

El propósito de este capítulo es realizar una exposición sobre los aspectos relevantes de la evaluación de las políticas de innovación; entre ellos, la metodología de emparejamiento. Cabe destacar que todas las metodologías de evaluación han variado con el tiempo; en el pasado, se realizaban a partir de encuestas *ad hoc* y estudios de caso, cuyo análisis se centraba en el efecto sobre las empresas beneficiadas; asimismo, muchos de ellos son considerados literatura “gris”, ya que su existencia no siempre es conocida y, además, el acceso a los informes correspondientes es difícil y a menudo imposible [Heijs, 2000]. En su mayoría, los estudios no incluyeron en los análisis a las empresas no apoyadas (debido al alto costo en tiempo y financiero de incluirlas en ellos); incluso, el impacto se medía básicamente con base en las opiniones de las empresas que recibieron las ayudas y no en resultados empíricamente contrastados. Sin embargo, las encuestas *ad hoc* permitieron analizar mucho mejor diversas formas de impacto, no solo analizando el efecto sobre el gasto en I+D (adicionalidad financiera), sino también sobre la cooperación, la reorientación de los objetivos tecnológicos o resultados técnicos, el aprendizaje (adicionalidad de comportamiento), etcétera.

Actualmente, se dispone de la información de las encuestas de innovación en un gran número de países, así como de bases de datos confiables para poder estimar el impacto de las ayudas mediante modelos econométricos, simulando métodos experimentales y comparando el comportamiento de las empresas *con* y *sin* ayudas para la innovación. La desventaja de los estudios sustentados en datos indirectos, no recopilados especialmente para la evaluación, es que ofrecen un análisis muy limitado, solo pueden analizar el efecto de algunos aspectos; entre ellos, el efecto en términos de adicionalidad financiera y algún aspecto concreto sobre el comportamiento innovador de las empresas, como el efecto sobre cooperación o la orientación innovadora (I+D básico *vs.* aplicado) y la externalización de las actividades en I+D (gasto en I+D interno *vs.* externos).

Los estudios reflejan que las empresas innovadoras con ayudas a la I+D, por definición, son diferentes a las empresas innovadoras que no han obtenido tales ayudas en términos de su esfuerzo en I+D, tamaño y sector, entre

otros [Meyer-Krahmer, 1989; Heijs, 2000; Caliendo y Kopeinig, 2008]. El problema metodológico esencial sería tener en cuenta estas diferencias durante la evaluación de las ayudas a la innovación empresarial, evitando que sean consideradas como parte del impacto. La posible existencia de diferencias estructurales entre las empresas *con* o *sin* ayuda se conoce en la literatura como sesgo de selección (*selection bias*) [Heckman, 1979; Heckman *et al.*, 1998].

Existen diversos argumentos que explican por qué estos dos grupos de empresas son diferentes entre sí. Primero, porque por razones éticas no se pueden distribuir las ayudas de forma aleatoria o al azar. Segundo, aunque teóricamente todas las empresas que realizan innovación podrían acceder a las ayudas, muchas de ellas no tienen el acceso debido al diseño del apoyo o de su aplicación,¹ o al tipo de instrumento. Además, pueden existir empresas que se autoexcluyen deliberadamente de las ayudas; por ejemplo, para mantener en secreto los objetivos de sus actividades en I+D y las especificaciones tecnológicas de sus futuros productos. Por último, existen empresas que no solicitan las ayudas debido al alto coste en dinero y tiempo para presentar propuestas y cumplir con la burocracia de justificar posteriormente todas las actividades subvencionadas, un hecho que, sobre todo, afecta a las pymes con proyectos de menor tamaño y menos disponibilidad de personal cualificado para preparar las propuestas requeridas en las convocatorias.

Una vez constatada la existencia de problemas de sesgo se deben buscar formas de evaluar el impacto de las ayudas, corrigiendo debidamente tales sesgos. La simulación de una situación cuasiexperimental, aleatorizando la asignación de las empresas al grupo de empresas *con* y *sin* ayudas, cuenta

¹ Resulta que, incluso, la distribución de las ayudas que teóricamente están disponibles para todas las empresas –como las ayudas fiscales o las subvenciones al personal en I+D– reflejan un sesgo de selección. En el caso de los estímulos fiscales a la I+D e innovación para el caso de España, se detecta un gran número de empresas con derecho a deducciones que no lo han solicitado o cuyas solicitudes han sido denegadas [Valadez *et al.*, 2009; Busom *et al.*, 2014]. Se supone que este tipo de ayudas las reciben todas las empresas cuyas actividades en I+D cumplen los requisitos, algunas condiciones específicas independientemente del presupuesto inicialmente previsto, mientras que en el caso de las subvenciones se selecciona, muy a menudo, solo una parte de los proyectos presentados por las empresas, aplicando ciertos criterios de selección. En este caso, se financia un número limitado de proyectos –siendo los de mayor puntuación en el baremo– hasta agotarse el presupuesto previsto. En cuanto al caso de las ayudas fiscales, todas las empresas que cumplen los criterios tienen derecho a una reducción fiscal.

con diversos problemas prácticos, por lo que la idoneidad del grupo de control se debe revisar detenidamente. Para solucionar el problema del sesgo de selección, se han desarrollado diversas metodologías y una de ellas es el Propensity Score Matching (PSM). Esta es una de las metodologías más comunes de los estudios de evaluación basados en las encuestas de innovación² para evaluar el impacto de las políticas que fomentan la I+D e innovación en las empresas. Por ello, el objetivo de los capítulos 3 al 5 de este libro es analizar la idoneidad del método de emparejamiento o PSM, así como estudiar las restricciones y requisitos, ofreciendo indicaciones para su correcta aplicación.

3.2. Impacto del apoyo público a la innovación empresarial sobre el bienestar social

Cualquier política estatal debería estar enfocada en la mejora del bienestar de sus ciudadanos. Por lo tanto, el objetivo principal de la evaluación de los programas públicos de carácter económico sería analizar los costos-beneficios de apoyos en términos de bienestar social. Si los costos en términos sociales netos fueran menores que los beneficios, la intervención estatal estaría justificada. Este cálculo debería tener en cuenta, por un lado, sus costos y beneficios, incluyendo también los costos de oportunidad,³ en el caso de que las ayudas se hubieran utilizado para la promoción de otras actividades. Por otro lado, este análisis también debería incluir los efectos negativos sobre empresas no apoyadas por la Administración pública. Para poder justificar la política tecnológica, habría que analizar de forma simultánea los siguientes aspectos (véase también la figura 3.1):

1. ¿La intervención estatal implica un aumento de los gastos en I+D por parte de las empresas? (¿La ayuda es importante para el desarrollo tecnológico de la empresa?).

² Existen estudios que usan este método para un amplio número de países, y también en este libro se utilizará el PSM; para el caso de España, el Panel de Innovación Tecnológica (PITEC) y en México, la Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico (ESIDET) para evaluar el impacto de las ayudas a la innovación empresarial.

³ Además, el cálculo de costos de oportunidad debería tener en cuenta que los beneficios de la innovación se basan en cambios estructurales a mediano y largo plazo. Por lo tanto, no habría que evaluarlo solo en términos de coste-beneficio a corto plazo.

2. ¿El proyecto genera nuevas tecnologías o una mayor aplicación y difusión de las tecnologías existentes?
3. ¿Estos nuevos productos o procesos se introducen en el mercado?
4. ¿Esta introducción no implica la sustitución de tecnologías equivalentes?
5. ¿Los costos de la política –incluyendo los costos de oportunidad– y su aplicación y desarrollo son menores que los beneficios del bienestar social?

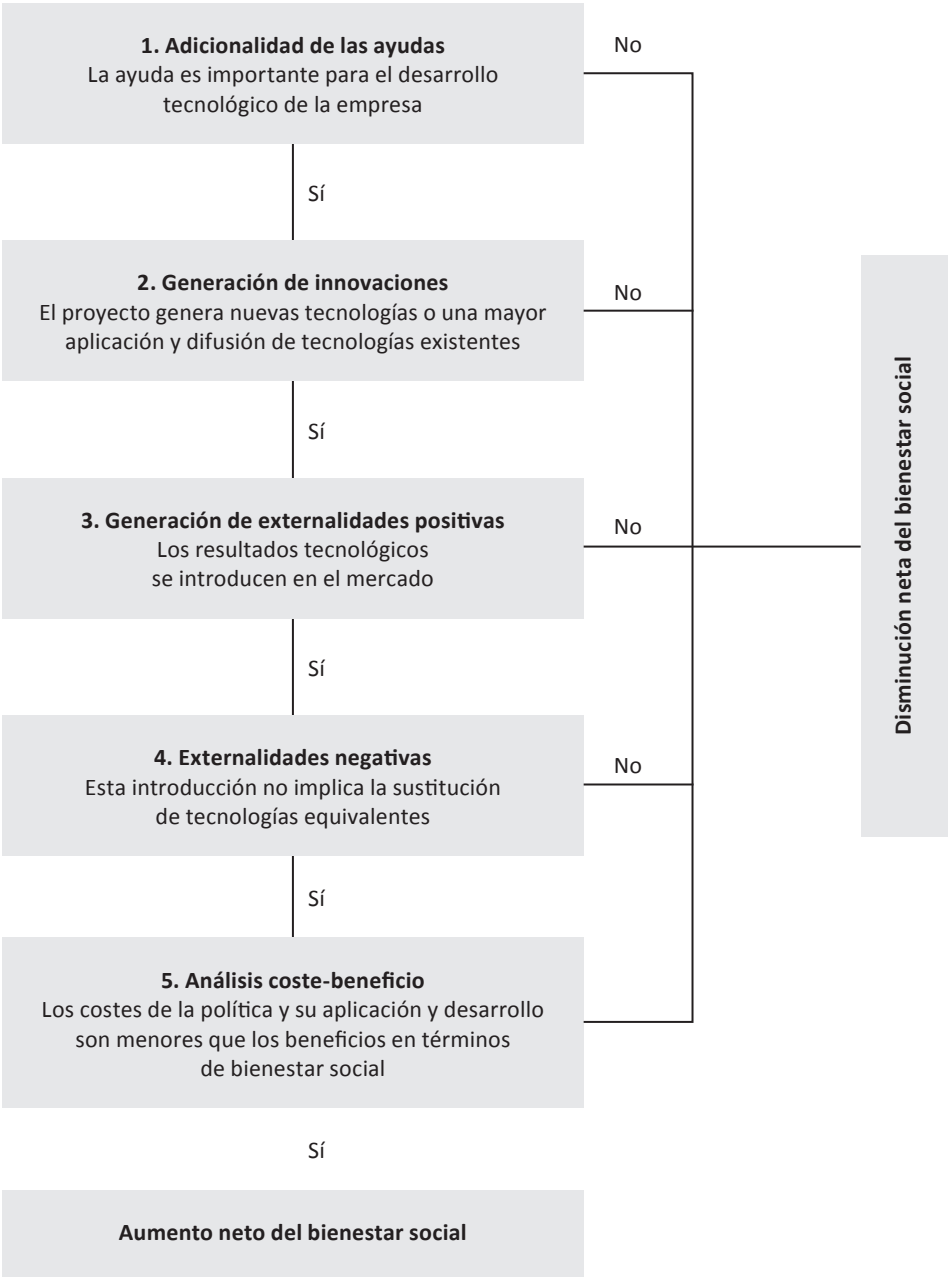
Cuando la respuesta, de forma simultánea, sea positiva a cada una de estas preguntas, indicaría la existencia de un crecimiento neto del bienestar social y, en un principio, se podría legitimar la intervención estatal.

Debido a que muchos de estos aspectos no se pueden medir en la realidad, resulta imposible calcular el costo beneficio en términos de bienestar social, por lo que la función del Estado se puede interpretar solamente a partir de un gran número de supuestos sobre la relación causa-efecto de la interacción entre los programas de apoyo público y el sector privado. Es decir, la dificultad de atribuir el aumento del bienestar social a una determinada política concreta, calculando y aislando su efecto de otros aspectos que afectan a la prosperidad, obliga a diseñar un método analítico basado en su efecto sobre variables “intermediarias” que sí se han logrado medir. Comparando, por ejemplo, el aumento del gasto en I+D de las empresas beneficiarias con las empresas que no han obtenido ayudas, si en las empresas beneficiadas se observa, *ceteris paribus*, un incremento mayor de su gasto en I+D que en las no apoyadas, existiría un efecto positivo sobre el gasto, tal forma de impacto se conoce en la literatura como *adicionalidad financiera*.

Este concepto –la adicionalidad– tiene una labor central en los estudios de evaluación, aunque su importancia para la justificación de una política tecnológica no siempre resulta muy clara. Su existencia justificaría las ayudas, pero en realidad este hecho empírico no aclara el efecto neto de las ayudas sobre el aumento del bienestar social. El supuesto de que se puedan justificar de forma automática las medidas públicas en caso de generar inversiones adicionales implica ciertos problemas metodológicos y de interpretación.

El primer problema sería que la existencia de adicionalidad se puede considerar como necesaria, aunque no suficiente. A pesar de que un proyecto innovador genera muchas externalidades, el hecho de que el proyecto se hubiera realizado en los mismos términos, también sin ayuda pública (falta de adicionalidad), implicaría que no se puede considerar que exista un aumento neto del bienestar social generado por actuaciones políticas. Por

Figura 3.1 *Un marco conceptual para la evaluación de la financiación pública de los proyectos de I+D en empresas*



Fuente: Heijs [2001].

otro lado, si la adicionalidad implica la realización de proyectos que sin ayuda estatal no hubieran sido económicamente rentables –y que no generan externalidades para la economía en su conjunto– la adicionalidad no ha sido suficiente. De tal manera, la adicionalidad resulta ser una condición necesaria pero no suficiente.

La mayoría de los estudios que evalúan el impacto con base en modelos econométricos justifican las ayudas apoyándose en un razonamiento implícito del cumplimiento de las siguientes tres premisas [Heijs, 2000]:

1. Los gastos en I+D generan un efecto positivo y extraordinario sobre el crecimiento económico y el bienestar social.
2. El apoyo estatal a la promoción tecnológica induce o causa un crecimiento adicional de las inversiones en I+D, por parte de las empresas privadas, que no se hubiera generado sin las ayudas (existencia de adicionalidad financiera causal atribuible).
3. Por consiguiente, el apoyo estatal tiene un efecto positivo sobre el crecimiento o el bienestar social.

Con respecto a la primera premisa, los datos obtenidos en estudios empíricos son claros, especialmente, a nivel regional o estatal, como muestran los estudios de Mansfield [1968], Griliches [1984] Soete, Turner y Patel [1983], Fagerberg [1994], Griliches y Lichtenberg [1984], Gutiérrez *et al.* [2016], y Pradhan *et al.* [2018]. Sin embargo, los resultados respecto a la segunda premisa no han sido del todo coherentes ni concluyentes; la gran mayoría de los estudios detectados reflejan adicionalidad, pero otros, un efecto de sustitución o *crowding-out* (parcial), donde las empresas han sustituido parte de los fondos privados por fondos públicos sin haber aumentado el gasto total en I+D de las mismas [Heijs *et al.*, 2020]. Incluso, en el caso de que se cumpliera también esta segunda premisa –la existencia de adicionalidad–, no significaría que, de forma automática, se confirmara la tercera, el aumento del bienestar social o crecimiento económico. Como ya se ha indicado, la adicionalidad –reflejada en la segunda premisa– sería una condición necesaria, aunque no suficiente, para justificar tal política: necesaria porque si no se generan inversiones adicionales por parte de las empresas, las ayudas carecen de un efecto incentivador y, en este caso, los fondos públicos sustituyen a las inversiones privadas inicialmente previstas; no suficiente porque si existe adicionalidad, pero el aumento del bienestar social es menor a los costos, el aumento en términos netos sería negativo. La

adicionalidad financiera tiene que ir acompañada con un cierto nivel de externalidades positivas en favor del sistema productivo en su conjunto (mediante resultados tecnológicos y comerciales). Como se aprecia en la figura 3.1, la existencia de tales externalidades sería una condición necesaria porque, de tal forma, las ayudas a empresas individuales implicarían la transferencia de unos beneficios sociales al conjunto de la sociedad (otras empresas y/o consumidores).

Un segundo problema es la conceptualización del término adicionalidad. El concepto de adicionalidad puede ser confuso y difícil de concretar en la evaluación práctica. En este libro, se utiliza la definición de Luke Georghiou [1999], quien argumenta que la adicionalidad es “algo que se obtiene gracias a la intervención pública, que no existiría sin ella y que responde básicamente al efecto incentivador de la política pública”. Para los estudios de evaluación, esto implicaría constatar (o rechazar) la existencia de un efecto empíricamente observado y causado por la presencia de las ayudas, y no atribuible a otros factores explicativos (causalidad mostrada). El efecto de las ayudas sobre el gasto en I+D, conocido con el concepto de *adicionalidad financiera*, es el indicador más utilizado en la literatura empírica que evalúa la política de innovación para las empresas. Este concepto también se conoce como *efecto de sustitución*; en realidad, ambos conceptos tratan distintas aristas del problema. La falta de adicionalidad implica que las empresas sustituyen los fondos privados por fondos públicos (efecto de sustitución), mejorando, así, la situación económica de la empresa sin elevar la cantidad de fondos destinados a la I+D o innovación sobre el nivel inicialmente previsto.⁴ Cada una de las formas de adicionalidad financiera reconocidas se encuentra relacionada con una situación distinta. La primera sería la *ausencia de adicionalidad*, donde las empresas sustituyen los fondos privados inicialmente previstos con fondos públicos, manteniendo el gasto en I+D en el nivel anterior a las ayudas. En el caso de esta “no adicionalidad”, los recursos destinados hubieran sido los mismos sin apoyo estatal (efecto de sustitución o efecto *crowding-out*). Una segunda situación sería la *adicionalidad parcial*, donde la empresa aumenta su gasto en I+D inicialmente previsto, pero con una cantidad menor que el monto de las ayudas recibidas. En este caso, se habla de adicionalidad parcial porque realmente existe, en cierta medida, un efecto de sustitución de una parte de los gastos privados inicialmente

⁴ Para estos tipos de empresas se usan, en inglés, además de los conceptos *additionality* versus *substitute effect*, el de *crowding out* o *freerider*.

previstos por fondos públicos. El tercer caso sería la *adicionalidad total*, donde la totalidad de las ayudas se usa para aumentar el gasto en I+D. Por último, la cuarta sería cuando la empresa aumenta su gasto en I+D con una cantidad superior a las ayudas recibidas. Desde el punto de vista teórico, esto debería pasar, ya que, en términos microeconómicos, se supone que las ayudas a la innovación disminuyen los costos de esta actividad por lo que aumentaría su demanda.

Timothy Buisseret, Hugh Cameron y Luke Georghiou [1995] han reconocido otra vertiente de la adicionalidad, distinguiendo entre diversos aspectos de la actividad innovadora sobre los que influyen las ayudas. La primera sería la *adicionalidad financiera*, que mide el impacto sobre el esfuerzo innovador de la empresa. Tal impacto podría reflejarse en la decisión de iniciar o no el proyecto, podría adelantar el proyecto y/o acelerar su ejecución y, además, podría implicar una ampliación del proyecto dedicándole un mayor volumen de recursos. La segunda sería la *adicionalidad de resultados*, en formas de patentes, nuevos productos o procesos de producción, que no se hubieran obtenido o desarrollado sin las ayudas públicas. Finalmente, la tercera sería la *adicionalidad en forma del comportamiento innovador*, que implica cambios en la actitud investigadora de la empresa y su capacidad innovadora. Este tipo de adicionalidad incluiría, entre otros aspectos, que las ayudas causan un mayor nivel de cooperación, generan cambios en la orientación de las actividades de I+D y la estrategia innovadora, o afectan a la externalización de las actividades innovadoras. Un cuarto tipo podría ser la *adicionalidad en términos de capacidades*; por ejemplo, las mejoras de las capacidades tecnológicas internas y/o la habilidad de absorción de resultados innovadores externos, se trataría de un proceso de aprendizaje y de formación del personal investigador.⁵ El problema es que el desarrollo y acumulación de capacidades tecnológicas son difíciles de cuantificar, aunque no cabe duda de que, a la larga, puedan generar una mejor asimilación y favorecer el diseño de tecnologías [Kim, 1999; Pérez-Escatel y Pérez-Veyna, 2009].

En nuestra opinión, los conceptos de adicionalidad tecnológica y comercial no siempre se pueden considerar como un efecto generado directamente por las ayudas públicas. A pesar de que los resultados tecnológicos y comerciales y el efecto sobre la capacidad tecnológica de las empresas se consideran aspectos importantes a evaluar, no se puede sostener que sea un efecto

⁵ Buisseret et al. [1995] incluyen esta última modalidad dentro de las capacidades de comportamiento (*behavioural additionality*).

directo de la intervención pública, sino que la magnitud de tal impacto dependería sobre todo, o por lo menos, de la interacción con las capacidades tecnológicas de la empresa. De todos modos, los resultados tecnológicos y comerciales son importantes dentro de un estudio de evaluación porque condicionan, en parte, la generación de externalidades. El desarrollo de nuevas tecnologías y su posterior comercialización son una condición necesaria, aunque no suficiente, para que puedan existir tales externalidades que mejorarían el bienestar social de la población en su totalidad. Por ello, se necesita un conjunto de proyectos avalados con éxito tecnológico y comercial, de tal forma que se genere un aumento del bienestar social, siendo la justificación real y única de las ayudas. No cabe duda de que se debe reducir al máximo el número de proyectos fallidos; sin embargo, la innovación es una actividad que conlleva mucha incertidumbre, por lo que un cierto número de proyectos mal desarrollados no implica directamente un fracaso por parte de los gestores de las ayudas, ya que, después de todo, la innovación es una actividad de alto riesgo [Dosi, 1988; Nelson y Winter, 1982]. Otra razón que implica que los resultados tecnológicos y comerciales (incluyendo la mejora de la capacidad tecnológica de las empresas) resulten importantes en el momento de evaluar una política es la dificultad de cuantificar el impacto de las ayudas públicas en términos económicos y de realizar un análisis costo-beneficio respecto al bienestar social. Por eso, los resultados tecnológicos y comerciales se convierten en un argumento indirecto para poder justificar las ayudas.

La adicionalidad, en términos de resultados o de comportamiento, también resulta importante si el evaluador comprueba que los instrumentos cumplen sus objetivos formales. Aunque inicialmente todas las políticas de innovación tienen o deberían tener como objetivo mejorar la economía o el bienestar social de un país, hay ciertos tipos de instrumentos donde la adicionalidad, en forma de un aumento de los gastos en I+D, no es el objetivo principal. Por ejemplo, los programas que intentan promocionar la cooperación público-privada, es decir, entre empresas e institutos públicos de investigación. A la hora de evaluar el impacto de tales programas, no solo es necesario analizar la adicionalidad financiera, sino también el efecto de las ayudas en forma de logros tecnológicos con el objetivo de determinar si la industria está consiguiendo desarrollos de interés que permitan mejorar su competitividad. Además, se debe evaluar si el programa cumple los objetivos específicos de la política, estimulando la cooperación entre las empresas, universidades y/u organismos públicos de investigación; es decir, si las ayudas logran una mejora de la articulación del sistema nacional de innovación

creando sinergias y efectos de desbordamiento para el conjunto del tejido productivo.

3.3. *El estado contrafactual, la causalidad versus correlación y sesgo de selección*

Los modelos econométricos recientes que analizan el impacto de los programas públicos de apoyo a la innovación empresarial evalúan básicamente la adicionalidad en términos del esfuerzo en I+D (adicionalidad financiera), aunque también existe un número creciente⁶ de estudios que evalúa el efecto en términos de los resultados y en los cambios generados en el comportamiento innovador de las empresas (cooperación, mayor probabilidad o propensión de proyecto de I+D básica, etcétera).

El problema es que la medición de la adicionalidad es una tarea compleja. En realidad, un estudio de evaluación debe proporcionar un análisis del impacto de las ayudas a las empresas, cuyos resultados se rigen por los criterios de la atribución causal, asegurando que la intervención estatal es el origen real de los cambios observados en un momento posterior a la aplicación de los incentivos. Es decir, se debe asegurar que los efectos (cambios) observados sean realmente causados por (o atribuidos a) la intervención pública que se evalúa, y que no sean la consecuencia de otros factores (externos) o circunstancias aleatorias. En una evaluación de las políticas de I+D e innovación empresariales, se debe aislar el efecto de tales ayudas de otros incentivos o acontecimientos que influyan sobre el esfuerzo innovador, asegurándose de que tal aumento (adicionalidad financiera o, en su caso, sobre las otras formas de adicionalidad mencionadas en este capítulo) se pueda atribuir, sin duda, a las ayudas estatales para mostrar una relación o asociación causal y así ofrecer evidencia empírica inequívoca de la adicionalidad. En términos económicos, se refiere a aplicar la noción marshalliana de *ceteris paribus*, aislando el efecto económico durante el tiempo del comportamiento de un determinado aspecto económico, en el supuesto de que todos los demás parámetros económicos permanezcan constantes.

⁶Véase la síntesis de 55 estudios de 27 países distintos donde 13 analizan el efecto en términos de resultado o comportamiento, sin embargo, es remarcable que la mayoría (11 estudios) han sido llevados a cabo a partir del 2010 [Vergara *et al.*, 2019].

En algunos campos –especialmente la medicina–, se evalúa el impacto a partir de un experimento aleatorio controlado.⁷ Pero en las ciencias sociales (como la economía de innovación), sería éticamente inaceptable la discriminación de la asignación de las ayudas. No se deben asignar de forma aleatoria las prestaciones sociales a los ciudadanos o apoyos económicos a las empresas, por lo que se debe solucionar el problema de sesgo de selección. En el caso de las ayudas al gasto de innovación empresarial, se trataría de crear de forma artificial una situación *ceteris paribus*, aislando el impacto de tales ayudas –en forma de subvenciones– de otras posibles causas. En realidad, se compara lo que pasó en determinadas circunstancias reales con una situación alternativa imaginaria, lo que se denomina *estado contrafactual*. Se puede observar para cada empresa lo que ha pasado (la obtención o no de las ayudas), pero no se observa lo que hubiera pasado en las empresas en la situación contraria o contrafactual.⁸ Si no se puede observar tal estado contrafactual, se debe simular; por esto, la determinación de la existencia de adicionalidad (o su ausencia) es una estimación de qué hubiese ocurrido en ausencia de políticas, comparando algo que ocurrió –lo factual– con algo que no ocurrió –lo contrafactual– y simulando lo que habría pasado si se hubieran manifestado determinadas circunstancias, aunque nunca hayan ocurrido (véase recuadro metodológico 3.1).

El estado contrafactual implicaría analizar qué habría pasado con el esfuerzo en I+D de la empresa en el caso hipotético de que sus circunstancias hubieran sido distintas, es decir, qué habría gastado la empresa en I+D en la ausencia de las ayudas. En realidad, no se puede comparar algo observado con algo que no se observó; por lo tanto, en estos casos, el impacto (efecto causal) no se mide, sino que solo se puede estimar su cuantía.

Para estimar el efecto, se debe construir el estado contrafactual, seleccionando, para cada empresa beneficiada, una empresa de control que sea exactamente igual. Una vez creados los grupos de empresas tratadas y de control, se compara el comportamiento de ambos, suponiendo que cualquier diferencia entre los dos se debe a las ayudas. La creación de tal grupo de control no es fácil. En el caso de evaluar el impacto a partir de una muestra aleatoria de empresas innovadoras, se debe tener en cuenta que las ayudas no han sido

⁷ El ejemplo típico es el tratamiento médico donde todos los pacientes reciben aparentemente el mismo tratamiento, pero en realidad, y de forma aleatoria, a la mitad se le receta un placebo.

⁸ El término *contrafáctico* o *contrafactual* significa “contrario a los hechos”.

asignadas –como en un experimento– de forma aleatoria, por lo que las empresas que reciben ayudas públicas son muy distintas a las empresas innovadoras que no las reciben o no las solicitan. Se trata de un problema que James Heckman llama el *sesgo de selección y/o autoselección*.⁹

Recuadro metodológico 3.1 *Estimador diferencias en diferencias*

	Grupo	
Resultado potencial	Grupo de tratamiento (D = 1)	Grupo de Control (D = 0)
Y ¹ Después del tratamiento	Observable E[Y ¹ D = 1]	Contrafactual E[Y ¹ D = 0]
Y ⁰ Antes del tratamiento	Contrafactual E[Y ⁰ D = 1]	Observable E[Y ⁰ D = 0]

La estimación real del impacto se basa en una “realidad” no observable (estado contrafactual) donde pueden existir dos situaciones posibles. La primera sería que solo se tienen observaciones del momento posterior a la asignación de las ayudas, por lo que se pueden calcular solamente las diferencias entre “con” y “sin” ayudas en este momento posterior. En la segunda situación, existen observaciones para el periodo antes y después del tratamiento, por lo que se pueden calcular las diferencias en diferencias “con” vs. “sin” y “antes” vs. “después”. Si el modelo es correctamente especificado, las dos formas de calcular deben llegar al mismo resultado.

Para el grupo tratado, se ha observado el resultado medio bajo la condición de tratamiento E (Y1 | T = 1) y no se ha observado su resultado medio bajo la condición de no tratamiento E (Y0 | T = 1). Para el grupo de control se ha observado la media del resultado antes de la intervención E (Y0 | T = 0) y no se ha observado el resultado en estas empresas en el caso de que hubieran recibido tratamiento E (Y0 | T = 1). Según el interés del investigador, se pueden estimar dos tipos de impacto o el efecto de un tratamiento (ayudas) sobre los tratados (empresas beneficiadas), o qué habría pasado si todas las empresas hubieran sido apoyadas: efecto potencial sobre la población. El primero de ello sería el *average treatment effect on the treated* (ATET o ATT*). El valor esperado de ATET es la diferencia media entre los valores del resultado esperado con y sin tratamiento para aquellos que participan en el tratamiento. El segundo ajusta el

⁹James Heckman introdujo el concepto de *sesgo de selección* en la econometría moderna [1976; 1979], por lo que recibió en 2000 el Premio Nobel de Economía. El problema de selección, desde un punto de vista econométrico o en términos técnicos, se puede identificar observando si uno o más regresores están relacionados con el término de error. En este caso, este término recogería el efecto de las variables omitidas (como los no observados, los no observables, mal medidos o directamente omitidos en el modelo). En el caso de que un regresor o variable esté correlacionado con el término de error, implica que el coeficiente de la variable no refleja solo el efecto de sí mismo, sino también el de las variables omitidas. Es decir, la variable sería una *proxy* de la variable omitida. Un ejemplo hipotético que se utiliza en la literatura es el hecho de que personas con un título universitario tienen mayores ingresos. Si en un modelo en el que se estiman los determinantes del nivel de ingresos no se incluyera el nivel de inteligencia o la motivación de estudiar, se podría sobreestimar la importancia de un título. De tal manera, el título estaría correlacionado con el término de error y su beta reflejaría los tres aspectos de forma simultánea.

ATET con el impacto potencial de las ayudas sobre las empresas no beneficiadas (en el caso contrafactual de que se les hubieran concedido ayudas). Tal impacto potencial sería el impacto promedio esperado del tratamiento (ATE), a nivel de la población, si se extendiera el programa a todas las unidades. El ATE mide la diferencia de los resultados medios entre las unidades asignadas al tratamiento y las unidades asignadas al control y extrapola el efecto para toda la población.

Si los grupos de control están bien contruidos, se puede estimar el ATE mediante las diferencias en diferencias, teniendo en cuenta, de forma simultánea, las diferencias “antes” y “después” del tratamiento, y “con” vs. “sin” tratamiento. Se aplica el siguiente cálculo: para las empresas con ayudas, se estima la diferencia en la variable del impacto antes (T0) y después (T1) del tratamiento ($Y_{gt1} - Y_{gt0}$), y de este resultado, se resta la diferencia en esta variable entre los mismos dos momentos en el tiempo para las empresas sin ayudas ($Y_{gc1} - Y_{gc0}$).

Estimación impacto de diferencias en diferencias = $(Y_{gt1} - Y_{gt0}) - (Y_{gc1} - Y_{gc0})$

Sin duda, se debe optar por un análisis de diferencias en diferencias en el caso de que los datos lo permitan. De esta forma, se evita la posible endogeneidad. Muchos estudios que evalúan el impacto de las ayudas a la innovación empresarial disponen solo de datos de sección cruzada de un solo año, por lo que la simulación del estado contrafactual se basa en los datos de este. En este caso, se debe tener en cuenta que la viabilidad del análisis y de la interpretación del resultado podrían estar sesgados ya que no se sabe en qué medida las ayudas han influido sobre las demás variables que se utilizan para calcular el *propensity score*. Especialmente, en las empresas con actividades irregulares en I+D e innovación, el simple hecho de obtener ayudas se debe a que en este año realizan I+D. De todos modos, si el modelo es correctamente especificado, las dos formas de calcular deberían llegar a la misma conclusión. En tal caso, ambas formas de cálculo son válidas, debido a que el grupo de control y el de los tratados son aleatorizados. Por lo tanto, ambos grupos, al momento de ofrecer las ayudas, son iguales en todos los aspectos, y la diferencia en el tiempo (antes y después) se debe al tratamiento.

Fuente: elaboración propia

*Ambas abreviaturas se utilizan con frecuencia en la literatura en español y se refieren al efecto del tratamiento sobre los tratados (ATET) o average treatment effect on the treated (ATT).

La literatura empírica revela que las empresas innovadoras que reciben ayudas públicas gastan más en I+D, exportan más y tienen un mayor tamaño que las empresas innovadoras sin ayudas [Scott, 1984; Meyer-Krahmer, 1989; Heijis, 2000; Caliendo y Kopeinig, 2008], sobre todo, cuando se trata de instrumentos donde las empresas siguen un proceso de selección en la asignación de las ayudas, según criterios discrecionales, en el que la forma de medir la calidad y relevancia del proyecto están muy definidos, la distribución no será aleatoria. En el caso de las ayudas a la innovación, se pueden distinguir, por lo menos, cuatro causas distintas del sesgo de selección.

1. Los requisitos formales o explícitos para el acceso a las ayudas.
2. Los requisitos implícitos y discrecionales respecto al proceso de calificación y selección de los proyectos presentados.
3. La exclusión de las empresas debido a su falta de capacidad gestora para presentar proyectos –falta de tiempo, complejidad de solicitudes, coste de aplicación (en términos monetarios y de tiempo, etcétera).
4. La decisión de las empresas de no participar (la autoexclusión o *self selection*).

La primera causa se refiere a la exclusión de cierto tipo de empresas de los programas de apoyo, debido a los requisitos formales incluidos en la convocatoria. Por ejemplo, los programas de ayudas solamente accesibles para pymes *start-ups* o el apoyo a cierto tipo de sector o de campos tecnológicos concretos. Solo en el caso de que los criterios sean claros y se disponga de la información empresarial, se puede corregir el problema de endogeneidad.

El segundo aspecto que infringe la aleatoriedad en el momento de asignar o de conceder las ayudas son los criterios informales o implícitos respecto a la decisión de la agencia de otorgar las ayudas. En este caso, se refiere a que el conjunto de empresas que solicitan las ayudas para sus proyectos de innovación puede ser distinto al conjunto de las empresas cuyos proyectos hayan sido aprobados por las agencias estatales. Además de los criterios formales mencionados en el primer punto, podrían existir sesgos de distribución derivados de decisiones informales durante la selección de las empresas de forma arbitraria.

Recuadro metodológico 3.2 Correlación y casualidad vs. causalidad atribuible

Los conceptos de causalidad *versus* la correlación o casualidad son básicos para entender y realizar los estudios de evaluación. Por ello, se ha estimado oportuno incluir este recuadro metodológico. Es importante subrayar que la correlación entre dos variables no implica automáticamente una relación de causalidad. En el caso de dos variables correlacionadas (por ejemplo, A y B), pueden haber ocurrido como mínimo, tres o cuatro realidades distintas. En las primeras dos circunstancias, la variable A podría ser la causa de B o al revés, la B es la causa de A. En estos dos casos, se habla de la causalidad directa donde existe una correlación, debido a que X influye de forma directa en Y.

Una tercera realidad hipotética sería que A y B son consecuencia de una causa común, pero ninguna de las dos influye directamente sobre la otra. En este caso, se trataría de una situación intermedia donde la correlación no sería pura coincidencia, sino que se debe a un tercer factor (variable escondida o factor de confusión), donde Z influye sobre la relación entre A y B, o la causalidad indirecta, donde X influye sobre A y, a su vez, A influye sobre B. Por ejemplo, los profesores más motivados (X) se apuntan con más frecuencia a las clases de mejora educativa. Los alumnos con mejores notas (B) tienen clases de los profesores con más formación educativa (A). Tal correlación puede deberse a que la formación de los profesores mejora las clases y, por ende, las notas (causalidad directa $A \rightarrow B$); pero si la formación es muy mala y no mejora la forma de dar las clases por los participantes, el efecto detectado sería aparente. En este caso, el efecto no está causado por la formación, sino que se debe al nivel de motivación del profesorado, por lo que en este caso se trataría de un efecto de causa indirecta (X influye sobre la relación entre A y B).

En el lado opuesto, se encuentra la “no causalidad” en forma de una correlación espuria que consiste en una aparente asociación de pura coincidencia entre dos eventos sin que exista una relación causal entre ambos hechos. Esta cuarta situación –la correlación espuria– no se puede explicar basándose en la realidad social o económica. Es decir, se observa una relación

matemática entre dos acontecimientos o variables sin que existan argumentos teóricos o una conexión lógica que explique la relación en términos de causalidad. Un ejemplo al respecto, que se suele mencionar en la literatura, sería la correlación alta entre dedos y dientes manchados y cáncer de pulmón. Por supuesto, tener manchas en los dedos y dientes no causa cáncer, pero resulta que ambos aspectos se deben frecuentemente a una causa común: el hecho de fumar sin que exista un efecto directo ni indirecto entre dos variables correlacionadas.

Fuente: elaboración propia.

En la literatura [véase Heijs, 2000], se menciona la presión de las agencias por seleccionar empresas exitosas, la discriminación positiva de empresas con mejores situaciones financieras o de regiones periféricas, la promoción de ciertos sectores cuyos empresarios tienen buenas relaciones con los políticos, la promoción no explícita de ciertas tecnologías concretas, etcétera.

La tercera causa del posible sesgo de selección se refiere a la autoexclusión basada en la decisión de las empresas de no participar en los programas, por ejemplo, para mantener el secretismo de sus actividades tecnológicas estratégicas o para asegurar su independencia en el diseño y ejecución de los proyectos, entre otros.

Por último, la cuarta causa es la no participación, debido a la dificultad y/o los costos (en tiempo y dinero) de preparar la propuesta de las ayudas y el esfuerzo de recursos humanos requeridos para demostrar el cumplimiento de las normas y la burocracia derivados del seguimiento del proyecto por parte de las agencias estatales. La burocracia relacionada con el seguimiento de los proyectos y la justificación de los costos subvencionados pueden ser un obstáculo frente a la solicitud de ayudas, especialmente, en el caso de las pymes o de proyectos de menor envergadura. Por todo ello, la distribución de las ayudas entre las empresas innovadoras no es aleatoria (como en el caso de los experimentos controlados).

En el caso de que el evaluador no sea consciente o no tenga en cuenta el problema de selección para aplicar los modelos econométricos tradicionales, el efecto estimado y reflejado en las betas de la variable *ayudas* estaría sesgado, principalmente, porque en el caso de las subvenciones a la innovación empresarial el problema de selección está correlacionado de forma directa con la variable que mide el impacto en forma de adicionalidad financiera: el gasto en I+D. Como se ha mostrado en la literatura empírica [Heijs, 2000], las empresas innovadoras con ayudas estatales reflejan un esfuerzo en I+D mucho mayor que las demás empresas innovadoras, lo que implica que se debe evitar caer en la trampa de confundir las diferencias en el nivel

de gasto en I+D o innovación (entre empresas beneficiadas y no beneficiadas) como una muestra de una relación de causalidad que demostraría la existencia de adicionalidad. Tal diferencia se basa, en parte, en una relación espuria, asociación o correlación no causal, aunque, como se verá, tampoco casual. Por todo esto, el evaluador o cualquier científico debe distinguir muy bien entre el concepto de correlación casual *versus* relación causal (véase recuadro metodológico 3.2). El objetivo de los métodos cuasiexperimentales es descomponer la diferencia del gasto en I+D entre las empresas beneficiadas y no apoyadas en dos partes, entre aquella que se debe a un efecto de selección (o dicho de otra forma a las diferencias básicas entre estas dos submuestras de empresas) y la otra de la diferencia en el gasto de I+D que se debe de forma inequívoca al efecto de las ayudas.

Una de las soluciones al problema de (auto)selección para realizar estudios de evaluación es la creación de grupos de control donde para cada empresa beneficiada se busca un “clon” exactamente igual, pero que no haya recibido ayuda. Es decir, con base en los datos disponibles, se crean grupos de control que sean lo más parecido al conjunto de las empresas beneficiadas. Para crear tales grupos, se deben verificar ciertos supuestos tanto en el momento de crear los grupos de control como cuando se examina si tales grupos realmente son similares o exactos. A continuación, se debaten algunos conceptos básicos respecto a tal metodología de emparejamiento como método de evaluación de políticas públicas, considerado un método cuasiexperimental, ya que simula un experimento donde se crea, de forma artificial, una asignación aleatoria de las ayudas (o tratamiento) para aislar, de esta forma, el supuesto efecto neto de las ayudas de la influencia de las demás variables que podrían explicar el cambio en la tendencia observada.¹⁰

¹⁰ Otros métodos de aleatorización son la aplicación de modelos econométricos como los modelos basados en variables instrumentales o el estimador en dos etapas de Heckman (brevemente explicados en el capítulo 6 de este libro). Estos métodos corrigen la regresión sobre las variables explicativas del nivel de gasto en I+D por medio de regresiones adicionales que deben corregir el problema de selección.

3.4. *Evaluación de las políticas: el método de emparejamiento*

3.4.1. El método de emparejamiento y el problema de selección

Se ha mencionado que el estado contrafactual implica comparar el impacto de un acontecimiento con la situación en que esto no haya ocurrido (en contra de los hechos). El evaluador debe analizar si este impacto (obtener ayudas para la I+D o innovación) se debe a una causalidad o es una correlación casual, o como diría Lewis Carroll en *Alicia en el país de las maravillas*: “Si así fue, así pudo ser; si así fuera, así podría ser; pero como no es, no es. Es cuestión de lógica”. A partir de la sección anterior, se puede concluir que en una buena evaluación se debe perfilar de forma adecuada un grupo de control para que el grupo de las empresas beneficiadas se comparen con “clones” exactamente iguales de empresas que no hayan obtenido ayudas. Es decir, ambos grupos de empresas (beneficiadas y no beneficiadas) deben ser iguales en las características explicativas de la variable de impacto. De esta forma, se intenta solucionar el “sesgo de selección”, aislando de forma correcta el impacto de las ayudas en el gasto de I+D o innovación con el resto de los factores explicativos que podrían haber causado el cambio (impacto aparente) observado o estimado.¹¹

Los métodos de emparejamiento intentan resolver el problema de “selección” construyendo un grupo de comparación o de control que sea lo más similar posible al grupo de empresas que haya obtenido ayudas (tratamiento), teniendo en cuenta los factores observables, preferiblemente, anteriores a la obtención de las ayudas.¹² Este proceso de evaluación consta de dos pasos. El primero implica estimar, mediante una regresión logística, la probabilidad o *propensity score* (PS) de obtener ayudas públicas, tanto para las empresas tratadas como para las no beneficiadas. En el segundo paso, se utiliza este indicador (PS) para emparejar las empresas con y sin ayuda que tengan la misma probabilidad de obtenerlas para estimar el impacto de las ayudas. El grupo de control (sin ayudas) se crea bajo el supuesto de que las empresas sin ayudas, con la misma probabilidad de obtener ayudas que las que sí las obtuvieron, se pueden considerar iguales. Es decir, para cada empresa bene-

¹¹ En los capítulos 4 y 5, se ofrece una guía práctica para su aplicación.

¹² Muchos estudios disponen solo de datos de un año determinado, pero si se dispone de datos de panel, se recomienda, en el caso de tener disponibilidad, el uso de retardos.

ficiada se selecciona una empresa de control sin ayudas, pero con la misma probabilidad de haberlas obtenido. Este proceso se conoce con el denominador de Propensity Score Matching (PSM).¹³ Una vez aplicado el proceso de emparejamiento se asume que no hay diferencias entre el grupo tratado y el de control, por lo que las diferencias en el gasto en innovación entre ambos grupos reflejarían el efecto de las ayudas públicas.

En las ciencias sociales, tal igualdad no es fácil de conseguir; especialmente, en el caso de las empresas –cuyas decisiones se basan en la experiencia y opinión de las personas–, se observa un gran nivel de heterogeneidad tanto en sus características básicas como en sus actividades innovadoras, e, incluso, respecto a su interés en participar en las ayudas y en su forma de reaccionar respecto a los incentivos obtenidos para promocionar la innovación.¹⁴ La aceptación de que existe igualdad perfecta entre ambos grupos se basa en los supuestos que se deben cumplir para crear de forma artificial un grupo de control, asegurando que la aleatoriedad y, por lo tanto, la estimación del efecto a partir de diseños no experimentales sea insesgada. En la literatura, se mencionan cinco supuestos o requisitos divididos en dos grupos.¹⁵ El primer grupo incluye los dos supuestos de la correcta aleatorización de la muestra, y su cumplimiento asegura la creación de un grupo de control o estado contrafactual adecuado. El primer supuesto de este grupo trataría la correcta aplicación del procedimiento técnico de aleatorización, asegurando una asignación insesgada de las unidades al grupo de los tratados (GT) y al grupo de control (GC). Por su parte, el cumplimiento del

¹³ Existen más formas de emparejamiento –explicadas más adelante en este libro–, pero para facilitar la lectura de la parte metodológica se usa el concepto de PSM. En realidad, las otras formas de emparejamiento son una variante del PSM.

¹⁴ Dos o más empresas con el mismo tamaño, sector y gasto en innovación pueden tener una estrategia tecnológica muy distinta.

¹⁵ Aunque existe un acuerdo sobre la importancia de estos cinco supuestos, se observa que en la literatura relevante no hay una estandarización de los nombres de cada uno de los conceptos ni definición exacta. Posiblemente, esta confusión se debe a que el método ha sido desarrollado de forma simultánea en diversos campos científicos, cada uno utilizando sus propios nombres y definiciones. Además, las diferencias también se deben a las particularidades de cada uno de los campos científicos. Gran parte del método de Propensity Score Matching se ha desarrollado en el campo de la medicina, donde se utilizan leyes de la naturaleza con efectos causales claros y mucho más estables. Por otro lado, en las ciencias sociales (sociología, política y economía), las relaciones causales se deben a decisiones personales heterogéneas y muy cambiantes. Debido a este problema, se encuentra en la literatura un cierto nivel de solapamiento de contenidos e ideas básicas.

segundo supuesto implica que con los datos disponibles recogen todos los datos relevantes. Para que ambos se cumplan, se debe asegurar la correcta selección de variables a incluir en el modelo, definir cuántas variables y cuáles habría que incluir, recoger toda la información requerida y decidir la forma de proceder para solucionar el problema de variables inobservables.

- Supuesto 1. Asignación aleatoria de las empresas libres de factores de confusión (sección 3.4.2).
- Supuesto 2. Ausencia de variables predictores “confusoras” o ausencia de variables no medidas, imposibles de observar o controlar (sección 3.4.2).

Una vez cumplidos los primeros dos supuestos –haber aleatorizado de forma correcta el grupo de control y el de los tratados– sigue habiendo otros problemas que podrían impedir o dificultar la estimación correcta o insesgada del efecto de las ayudas públicas. El segundo grupo de supuestos se refiere al potencial de generalización del efecto estimado, cuyo cumplimiento es obligatorio para asegurar que tal efecto está estimado de forma insesgada. Para ello, se debe cumplir con tres supuestos adicionales:

- Supuesto 3. La existencia de un área de soporte común (sección 3.4.3).
- Supuesto 4. La independencia de efectos a nivel individual o *stable unit treatment value assumption* (SUTVA) (sección 3.4.4).
- Supuesto 5. El supuesto de igualdad en ambos grupos en la tendencia de la variable (*baseline*)¹⁶ (sección 3.4.5).

El tercer supuesto afectaría a la generalización de los resultados para el conjunto de la muestra, y se refiere al hecho de que para cada una de las empresas beneficiadas existe realmente un “clon” perfecto (área de soporte común). No se podría generalizar el efecto medio detectado en aquellas muestras de empresas para las que no se hayan detectado “clones”. El cuarto supuesto recoge la idea de que las ayudas solo afectan a las empresas beneficiadas y no tienen un efecto indirecto sobre las empresas excluidas de los programas de ayuda, o sea, las unidades no tratadas o no beneficiadas. El SUTVA también implicaría que la relación entre el tratamiento y la variable

¹⁶Tanto las empresas tratadas como las de control deben reaccionar de forma igual a los demás acontecimientos que pueden afectar a la variable que mide el impacto.

dependiente –es decir, la existencia y la intensidad del efecto– es homogénea para todas las unidades de observación. El quinto supuesto, de obligatorio cumplimiento, se refiere a que la tendencia de la variable de interés (que mide el efecto de las ayudas) es igual para las empresas de ambos grupos (beneficiados y no beneficiados) en el caso de que no existieran las ayudas.¹⁷ Por lo tanto, el efecto sería, sin duda, atribuible a las ayudas. Este quinto supuesto se cumpliría si se respetan los primeros cuatro supuestos; especialmente, el proceso de aleatorización.

3.4.2. Aleatorización de la asignación y ausencia de variables no observadas

Como se ha indicado, existen dos supuestos o requisitos que se refieren a la comprobación de que el método de aleatorización se aplica de forma correcta. La diferencia entre el primero y segundo se puede considerar confusa, pero se podría argumentar que el primer supuesto –la asignación ignorable– se refiere a la aplicación correcta del método de aleatorización, desde un punto de vista técnico, dadas las variables observables o incluidas. El segundo supuesto –ausencia de variables predictoras “confusoras”– se refiere al posible sesgo, debido a la existencia de variables relevantes no incluidas en el análisis, como las variables no observables, no observadas u omitidas.

El primer supuesto –la correcta aleatorización de la asignación del tratamiento–¹⁸ se refiere a la dificultad de identificar de forma directa grupos de control correctos en las ciencias sociales, por lo que se requiere un método artificial que simule un proceso de distribución aleatoria con base en las variables observadas o disponibles. Una vez aplicado este método se debería afirmar que las diferencias entre los dos grupos han desaparecido, indicando, así, que se cumple la condición de independencia condicional o

¹⁷ Por ejemplo, el efecto del coronavirus sobre el gasto de innovación afecta de la misma forma a las empresas con o sin ayudas. No cabe duda de que afecta más a unos sectores que a otros, pero, al mismo momento, habría empresas en cada sector con y sin ayudas, y –a primera vista– no se detectan argumentos sobre si debieran afectar más a las empresas con ayudas que a las que no las obtienen, aunque una excepción podría ser dentro del sector farmacéutico en las empresas que se dedican a buscar tratamiento para la enfermedad.

¹⁸ En otros campos científicos lo llaman también independencia condicional, asignación ignorable o unconfoundness (*unconfoundness* = ausencia de confusión = asignación ignorable).

libre de factores de confusión (*unconfoundess*). Desde un punto de vista econométrico, se considera o se comprueba que existe una asignación “ignorable” de la distribución de las ayudas si ninguna de las variables de control está correlacionada con el término de error de la regresión. Para ello, se aplica en el denominado test de endogeneidad, y en el caso de que este contraste sea satisfactorio, se puede concluir que todas las diferencias observadas entre GC y GT se deben de forma exclusiva al recibimiento de las ayudas. La posible influencia de otras variables es ignorable o se puede ignorar. Como conclusión, el problema de sesgo de selección se soluciona excluyendo del análisis (de la muestra) a las empresas no tratadas que son distintas a las subvencionadas.

El segundo supuesto mencionado en la literatura [Rosenbaum y Rubin, 1983; Caliendo y Kopeinig, 2008; Heinrich *et al.*, 2010] sería la ausencia de variables predictoras confusoras o ausencia de variables relevantes no medidas o imposibles de observar. En la realidad, los investigadores que evalúan las ayudas no disponen, en la mayoría de los casos, de toda la información de todas las variables relevantes. Por ejemplo, los microdatos a nivel de empresa de las encuestas de innovación –las cuales son frecuentemente utilizadas para evaluar el impacto de las ayudas– no ofrecen mucha información sobre la situación financiera de la empresa ni tampoco sobre sus mercados o competidores. Estos son aspectos importantes para la participación de las empresas en los programas públicos. Tal ausencia de datos implica que la aleatorización no siempre es factible o no del todo satisfactoria, ya que este proceso se hace según un conjunto de variables observables, pero pueden existir variables relevantes cuya información no está recogida. Es decir, no cabe duda de que los métodos de emparejamiento no permiten construir grupos de comparación adecuados en el caso de que la asignación aleatoria del tratamiento se base, en gran medida, en información no observable.

Al analizar la realidad económica, se ha observado el cumplimiento de estos dos supuestos; sin embargo, en muchas ocasiones es difícil lograrlo, ya que a menudo no se dispone de toda la información necesaria. En el caso de la evaluación de las ayudas, es complicado saber si los determinantes son exactos para estimar la participación en los programas de apoyo a la innovación. Debido a la falta de un marco teórico adecuado, resulta necesario replicar –mediante un proceso continuo de prueba y error– el máximo número de variables y, sobre todo, incluir todas las variables que se intuye afectan a la participación en los programas de ayudas públicas. Se podría concluir que se debe tener en cuenta el máximo número de características

para asegurar una distribución aleatoria entre el grupo de empresas beneficiadas y el de control (empresas no apoyadas). El cumplimiento de estos supuestos implicaría la inclusión de todas las variables relevantes en el modelo, asegurando, así, una correcta asignación aleatoria (con ausencia de confusión) de las empresas al grupo de tratados (GT) o bien al grupo de control (GC). Además, la inclusión del máximo número de variables podría contradecir las exigencias del tercer supuesto: *la existencia de un área de soporte común*, analizado en la siguiente sección.

En el mundo real de las ciencias sociales, resulta casi imposible cumplir ambos supuestos, por lo que se debe trabajar con los datos disponibles, pero el investigador debe explicar con detalle los posibles problemas y cómo estos pueden afectar la interpretación de los resultados.

3.4.3. Capacidad de generalizar los resultados: (1) área común de solapamiento

A pesar del cumplimiento de los dos primeros supuestos, podría ocurrir que durante el proceso de emparejamiento se detecten ciertos tipos de empresas muy concretas para las que no exista un “clon” exacto, por lo que no se puede asegurar una estimación insesgada del efecto de las ayudas. La literatura metodológica analiza este problema bajo el concepto *área de soporte común*. Los métodos de *matching* o emparejamiento basan sus análisis en la probabilidad de obtener ayudas. Mediante una regresión logística (o por medio de otro tipo de regresiones basadas en una variable dependiente binaria, como un *logit* o *probit*), se calcula esta probabilidad y se emparejan las empresas con una probabilidad o *propensity score* de obtener ayudas iguales o, por lo menos, muy parecidas. Resulta que, en la mayoría de los casos, de una muestra grande se pueden encontrar empresas “clones” para las empresas con un valor de propensión que se encuentra en la zona central de la distribución, es decir, con valores alrededor de la media de la probabilidad de obtener ayudas. Pero en empresas con los valores extremos –con un *propensity score* muy alto o bajo–, no siempre se encuentran parejas suficientemente parecidas. Además, podría ocurrir que este grupo de empresas presenten observaciones muy específicas.

El problema de la falta de empresas de control o de tratados para ciertas submuestras afecta al *área común de solapamiento* y puede ser más o menos importante según la pregunta exacta que se quiera responder. Hasta ahora, se ha supuesto que se mide el efecto de las ayudas sobre el gasto en innova-

ción de las empresas con ayudas públicas, pero se podría utilizar, si se quiere saber el impacto potencial, si se aplicaran las ayudas a todas las empresas. La mayoría de los estudios solo miden los efectos sobre aquellas donde el programa es efectivamente aplicado estimando el *average treatment effect on the treated* (ATET o ATT¹⁹). Esto implica que solo se necesitan suficientes unidades de control²⁰ para las empresas que hayan obtenido ayudas públicas. En este caso, el problema de generalización afectaría solo a las submuestras de empresas con una alta propensión de obtener ayudas y para las que no haya suficientes empresas de control.

Si también se analiza el impacto potencial de las ayudas sobre las empresas no beneficiadas (en el caso contrafactual de que les hubieran concedido ayudas), se requieren suficientes casos de control para aquellas no beneficiadas en forma de empresas beneficiadas. Tal impacto potencial sería el impacto promedio esperado del tratamiento (ATE) a nivel de la población si se extendiera el programa a todas las unidades. El ATE mide la diferencia de los resultados medios entre las que son asignadas al tratamiento y las que son asignadas al control, y la extrapola para toda la población. En este caso, no se tendrían suficientes empresas con ayudas para compararlas con aquellas sin ayudas, pero con un bajo *propensity score*.

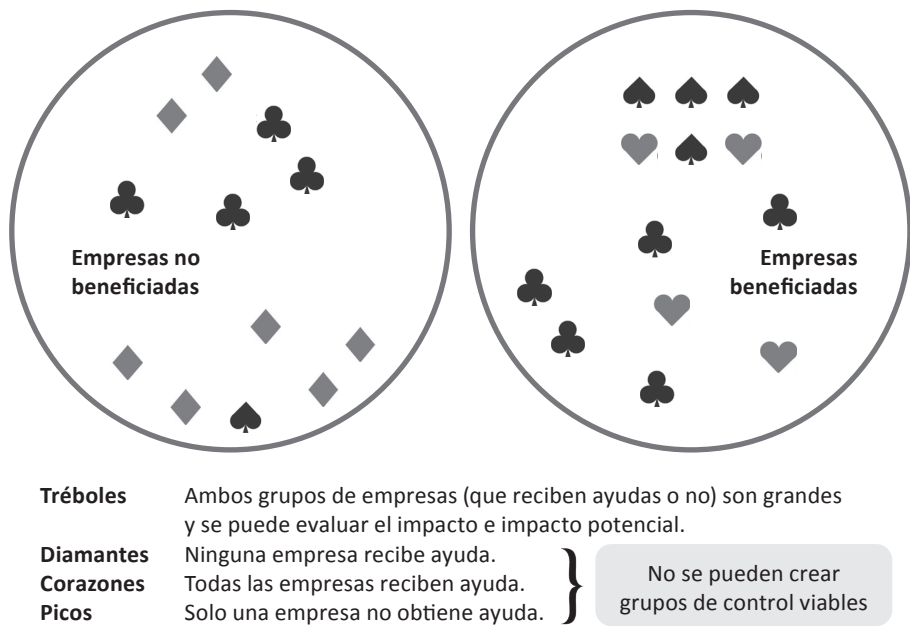
El ATE sería el enfoque adecuado para un programa (teóricamente) universal, como las ayudas fiscales e implicaría que se necesiten suficientes unidades de control tanto para los tratados como para los no tratados, aunque tal generalización puede ser no relevante, ya que desde la perspectiva de la política pública importa más el efecto sobre las empresas seleccionadas y las que participan en el programa [Heckman, 1979; Heckman *et al.*, 1998].

Para ejemplificar las distintas situaciones, se ha diseñado la figura 3.2, donde se reflejan los posibles problemas en términos del área común de solapamiento. En los casos de “tréboles”, existen muchas empresas con y sin ayuda, lo que permite calcular tanto el efecto sobre los tratados como el efecto potencial sobre los no tratados. En el caso de los “corazones”, se observa que las empresas tienen una alta probabilidad de obtener ayudas. De hecho, podrían existir subconjuntos de empresas donde todas han obtenido

¹⁹ El valor esperado de ATET es la diferencia entre los valores del resultado esperado con y sin tratamiento para aquellos que participan en el tratamiento.

²⁰ En este caso, “suficiente” implica que se cumplen los supuestos; sobre todo, el de área de soporte común. Se considera que hay suficientes casos si calculando el ATET no se pierden demasiadas unidades tratadas de la muestra al emparejar; es decir, sí hay suficientes empresas con PS similares para que en todos los tratados se encuentre un “clon”.

Figura 3.2 Ejemplo simplificado del problema del área común de solapamiento



Fuente: elaboración propia.

ayudas (en el caso de los corazones), por lo que no hay casos de control “sin ayudas”. Es decir, habrá unos grupos de empresas específicas con unas características tan peculiares que todas ellas las hayan obtenido, lo que impide estimar para el estado contrafactual, qué hubiera pasado en el caso de ausencia de las ayudas. En contraposición a ello, se encuentran las empresas con una baja probabilidad de obtenerlas (como “diamantes”), donde habrá insuficientes empresas con ayudas para poder calcular el impacto potencial para aquellas no apoyadas en el caso de obtener tales ayudas. En cuanto a los “picos”, solo una empresa obtiene ayudas; por lo tanto, se pone en duda la representatividad de un posible efecto mostrado para esta submuestra.

El problema de área de soporte común de solapamiento se multiplica en el caso de incluir muchas variables, porque dificultaría en gran medida la posibilidad de encontrar un “clon” perfecto, como se podría derivar de los primeros dos supuestos, que debería incluir el máximo número de variables relevantes para asegurar una asignación aleatoria simulada correcta. Pero, al mismo tiempo, esta idea está en conflicto con el cumplimiento de los supuestos del segundo grupo. Se debe tener en consideración que maximizar

el número de variables en el modelo puede generar problemas respecto al potencial de poder generalizar de forma correcta los resultados para todo el conjunto de la muestra, infringiendo el supuesto de la existencia de un área de soporte común.

No se debe olvidar que el tercer supuesto exige el cumplimiento de la hipótesis de soporte común, lo que obligaría a que, para cada una de las empresas beneficiadas y/o de control, se encuentre un “clon” contrafactual perfecto. En su trabajo, Rosenbaum y Rubin [1983] indican que el tratamiento resulta claramente “ignorable” si ambos –ausencia de confusión y área de soporte común– son validados. En este caso, la diferencia en el promedio de la variable que mide el efecto sería una estimación insesgada, y reflejaría el efecto verdadero del programa.²¹ Por lo tanto, en la realidad los investigadores se encuentran con dos objetivos opuestos. Por un lado, maximizar el número de variables –y no dejar ninguna variable relevante fuera– para solucionar el problema de selección y, al mismo tiempo, reducir el número de variables para asegurar el máximo potencial del área de soporte común. Este problema –también conocido como *problema de multidimensionalidad*– es relevante, debido a que, en general, los estudios disponen de un número limitado de observaciones. La decisión al respecto no resulta fácil; por eso, el investigador debe elegir las variables que se incluyen en la aplicación de técnicas de *matching*, y *definir y justificar* claramente lo que él considera como un “clon” exactamente igual o “similar”.

Como se ha indicado, la búsqueda de una pareja exacta para cada empresa beneficiada se complica con el aumento del número de variables (y el número de valores únicos de cada una). Según se añaden más (o con más valores o categorías), se genera, en términos de área de solapamiento común, un problema de *dimensionalidad*. Dicho de otro modo, la existencia de la dificultad de encontrar “clones” para un *matching* perfecto se incrementa según aumenta el número de variables. Este problema se puede ejemplificar fácilmente a partir de un cálculo simple, expresando el problema de dimensionalidad a partir del número de las celdas cruzadas de una tabla, dependiendo cómo aumentan el número de variables y sus valores. Cada celda de la tabla 3.1 refleja un tipo de empresa única, por lo que se deben incluir en estas

²¹ “Given these two key assumptions of unconfoundedness and overlap one can identify the average treatment effects. Random treatment allocation ensures that treatment status will not be confounded with either measured or unmeasured baseline characteristics. Therefore, the effect of treatment on outcomes can be estimated by comparing outcomes directly between treated and untreated subjects” [Greenland, Robins & Pear, 1999].

celdas un número mínimo de empresas con y sin ayudas para respetar la representatividad en el momento de compararlas. En el caso de usar 1 variable (A) con 2 valores, el número de subconjuntos únicos de empresas sería solo 4. En el caso de disponer de 2 variables (A + B) y ambas con 2 valores, el número de subconjuntos sería 16, y si se aplican 4 variables (2 de ellas con 2 valores, y 2 con 3) el número de subconjuntos sería 100.

Tabla 3.1 *Ejemplo numérico que refleja la complejidad que genera la multidimensionalidad para cumplir con el supuesto del área de solapamiento*

	A1	A2	B3	B4	C5	C6	C7	D8	D9	D10
A1	1	2	7	13	29	36	43			91
A2	3	4	8	14	30	37	44			92
B3	5	6	9	15	31	38	45			93
B4	10	11	12	16	32	39	46			94
C5	17	20	23	26	33	40	47			95
C6	18	21	24	27	34	41	48			96
C7	19	22	25	28	35	42	49			97
D8										98
D9										99
D10	82	83	84	85	86	87	88	89	90	100

Fuente: elaboración propia.

En otras palabras, a medida que aumenta el número de variables (celdas), sin que aumente el número de casos de la muestra, habrá más posibilidades de que se generen una o más celdas donde solo se encuentran casos con tratamiento o donde solo existan casos sin tratamiento, infringiendo, de esta forma, el supuesto de la existencia de un área de soporte común. Este problema resulta muy importante si se dispone de pocos casos o de muchas variables relevantes o variables con muchas categorías (como las variables continuas). El objetivo del *Propensity Score Matching* sería la reducción de la multidimensionalidad, donde el amplio conjunto de variables que influyen sobre la participación se convierte en una sola variable “sintética”: el valor de la probabilidad (PS) de obtener ayudas.

La exigencia de un mayor tamaño de la muestra sería todavía más importante si se intenta analizar la interacción de efectos entre dos variables. Tal modelización, en realidad, aumentaría el número de categorías de las dos variables con las que se mide el impacto de su interacción. Un primer tipo de interacción consiste en analizar si existen efectos diferenciados para empresas según la intensidad de las ayudas (el porcentaje del gasto en I+D financiado con fondos públicos), y otra opción sería analizar el efecto final en las empresas que obtienen ayudas de forma simultánea de distintos programas, analizando tanto el efecto de cada instrumento como el impacto simultáneo del *policy mix* (ayudas fiscales, créditos a un bajo tipo de interés o subvenciones); es decir, analizar cuál sería el efecto simultáneo de diversos instrumentos complementarios. En términos técnicos, los métodos de emparejamiento se aplican de la misma forma para analizar el impacto diferenciado de múltiples instrumentos²² o de diversas intensidades del mismo instrumento.²³

Como cabe destacar, en cada uno de los casos mencionados, se deben crear grupos de control distintos, siendo problemático no solo en el caso de muestras pequeñas, sino en muestras grandes, especialmente, cuando hay pocas empresas de control o pocas con ayudas. Debido a la exigencia de tener un gran número de ellas, no siempre se puede asegurar que la muestra tenga suficientes de ambos grupos (tratados y no tratados), especialmente para cierto tipo de empresas. Es decir, se podría detectar que los grupos de control solamente serían representativos para una parte de las empresas apoyadas, ya que puede haber subconjuntos de empresas para las que no haya empresas de control entre otros porque –casi– todas las empresas de este subconjunto han obtenido ayudas. Por lo tanto, habría que comprobar que las empresas de control sean suficientes y su posible ausencia para cierto tipo de empresas beneficiadas.

Por todo lo anterior, el problema más importante al momento de crear un grupo de control y asegurar un área de soporte común satisfactorio es la necesidad de disponer de suficientes casos. Si existen submuestras de empresas donde todos reciben ayudas y otros donde ninguna está beneficiada con ayudas

²² Efecto de tratamiento múltiple o *multi-treatment effects*.

²³ En el último caso, se trataría cada intervalo de intensidad como si fuera un instrumento distinto. La única diferencia sería que en el caso de múltiples instrumentos puede haber empresas que participan simultáneamente en más de un programa, mientras que en el caso de las distintas intensidades la pertenencia a los distintos intervalos es mutuamente excluyente.

públicas, sería imposible medir el impacto para este tipo de empresas. Por ejemplo, en un gran número de programas públicos, participan casi todas las empresas innovadoras grandes, por lo que para este tipo de empresas no habría suficientes unidades de control. Por ello, la presencia de suficientes empresas con y sin ayudas es un aspecto fundamental para asegurar la validez de la evaluación, lo que implica que se deba comprobar la idoneidad del grupo de control, analizando su validez estadística o econométrica.²⁴

3.4.4 Capacidad de generalizar los resultados:

(2) independencia de efecto a nivel individual²⁵

Una vez obtenida la aleatoriedad en la distribución de las empresas entre el grupo de control y las empresas tratadas, y asegurada un área de soporte común, se podría estimar el impacto, pero todavía podrían existir diferencias entre el comportamiento de las empresas beneficiadas y las de control, primero, porque el método de emparejamiento calcula el efecto medio, suponiendo que el efecto es igual para todo tipo de empresas. Sin embargo, podría ocurrir que cierto tipo de empresas (por ejemplo, las empresas que reciben una mayor intensidad de apoyo respecto a su gasto en I+D) tienen un mayor o menor nivel de impacto. Segundo, las ayudas (o su efecto) en una de las empresas afectan, a su vez, a la variable que mide el impacto (gasto en I+D) de las demás empresas beneficiadas o de control. Por ejemplo, podría ocurrir que el mero hecho de que se apoye a ciertas empresas incentiva de forma indirecta a las empresas no beneficiadas a aumentar su gasto en I+D para seguir siendo competitivas. Para que el resultado sea insesgado, deben cumplirse los supuestos 4 y 5. El primero de ellos se refiere a la existencia de la independencia de efectos a nivel individual (SUTVA, por sus siglas en inglés). Este supuesto se refiere a dos componentes [Rubin, 1980]: la ausencia de interacción entre las unidades de observación, en el sentido de que el

²⁴En el capítulo 4, se explica intuitivamente cómo realizar las pruebas que validan el proceso de emparejamiento y de la comprobación de la existencia de un área común de soporte, mientras que en el capítulo 5 se ofrece un ejemplo práctico con el programa estadístico Stata y con indicaciones claras de cómo obtener un buen modelo, aplicando ciertos ajustes para el emparejamiento y cómo interpretar los test de validez y los resultados en forma de impacto.

²⁵Supuesto 4. Independencia de efectos a nivel individual, en inglés Stable Unit Treatment Value Assumption (SUTVA) [Rubin, 1980; Cox, 1958].

tratamiento (ayuda) para una empresa no influye sobre el comportamiento de las demás empresas. El segundo componente se refiere a que el efecto es igual para todas las unidades tratadas.

El primero de estos dos componentes implica que el aumento del gasto en I+D, debido a las ayudas obtenidas por parte de las empresas beneficiadas, no afecta –en el periodo de medición– al gasto de I+D de las empresas no beneficiadas o de las otras empresas beneficiadas.²⁶ El hecho de que no se cumpla este supuesto podría indicar un problema de variables relevantes no observadas o no incluidas en el modelo.

El segundo componente del SUTVA se refiere a la igualdad del efecto para todas las unidades tratadas. Es decir, el efecto incentivador de ayuda tiene el mismo efecto en todas las empresas. El cumplimiento de esta parte del supuesto podría verse afectado en el caso de que el tratamiento no sea exactamente igual para todas las unidades observadas. Por ejemplo, el SUTVA podría resultar importante en el caso de medir simultáneamente el impacto de distintos instrumentos (*multi-treatment effects* o *policy mix*) y/o cuando se analiza el impacto diferenciado según distintas intensidades de ayuda. Por lo que, existen tipos de ayudas mutuamente excluyentes; es decir, si recibes un tipo de ayuda ya no puedes aplicar a otras, o al revés, como ocurre en España con programas nacionales que ofrecen ayudas complementarias a aquellas empresas que hayan obtenido cierto tipo de ayudas europeas. Estas particularidades habría que tenerlas en cuenta en el diseño de los estudios de evaluación. Lo mismo pasa al momento en que las empresas reciben de forma simultánea distintos tratamientos (participando en diversos programas); también en este caso el efecto podría ser diferente incumpliendo el SUTVA.²⁷ El ejemplo típico es el análisis de un cierto tipo de instrumento (por ejemplo, las ayudas regionales) donde las empresas de control son una mezcla de empresas sin ningún tipo de ayudas y empresas con ayudas nacionales o europeas. Por otro lado, existen estudios que indican que el impacto es distinto según la intensidad de las ayudas. Aparentemente, las empresas con una intensidad de ayudas muy alta (cantidad de la ayuda dividida por el

²⁶ Tanto las empresas tratadas como las de control deben reaccionar de la misma forma a los demás acontecimientos que puedan afectar a la variable que mide el impacto. De todos modos, para asegurar que se cumple el SUTVA sobre las demás variables se suelen usar retardos en el proceso de emparejamiento.

²⁷ En vez de compararlo con los que no tienen ningún tipo de ayuda, se podría incluir en el primer paso (la regresión logística) una variable binaria respecto al hecho de que reciben otro tipo de ayudas.

gasto en innovación) tienen un efecto, en términos de adicionalidad, menor [Vanino *et al.*, 2019; Wu, 2017]. Teniendo en cuenta que la mayoría de los estudios no consideran la intensidad de las ayudas –a menudo debido a la falta de información–, podría existir un incumplimiento del SUTVA.

3.4.5 Capacidad de generalizar los resultados: (3) igualdad del efecto en ambos grupos²⁸

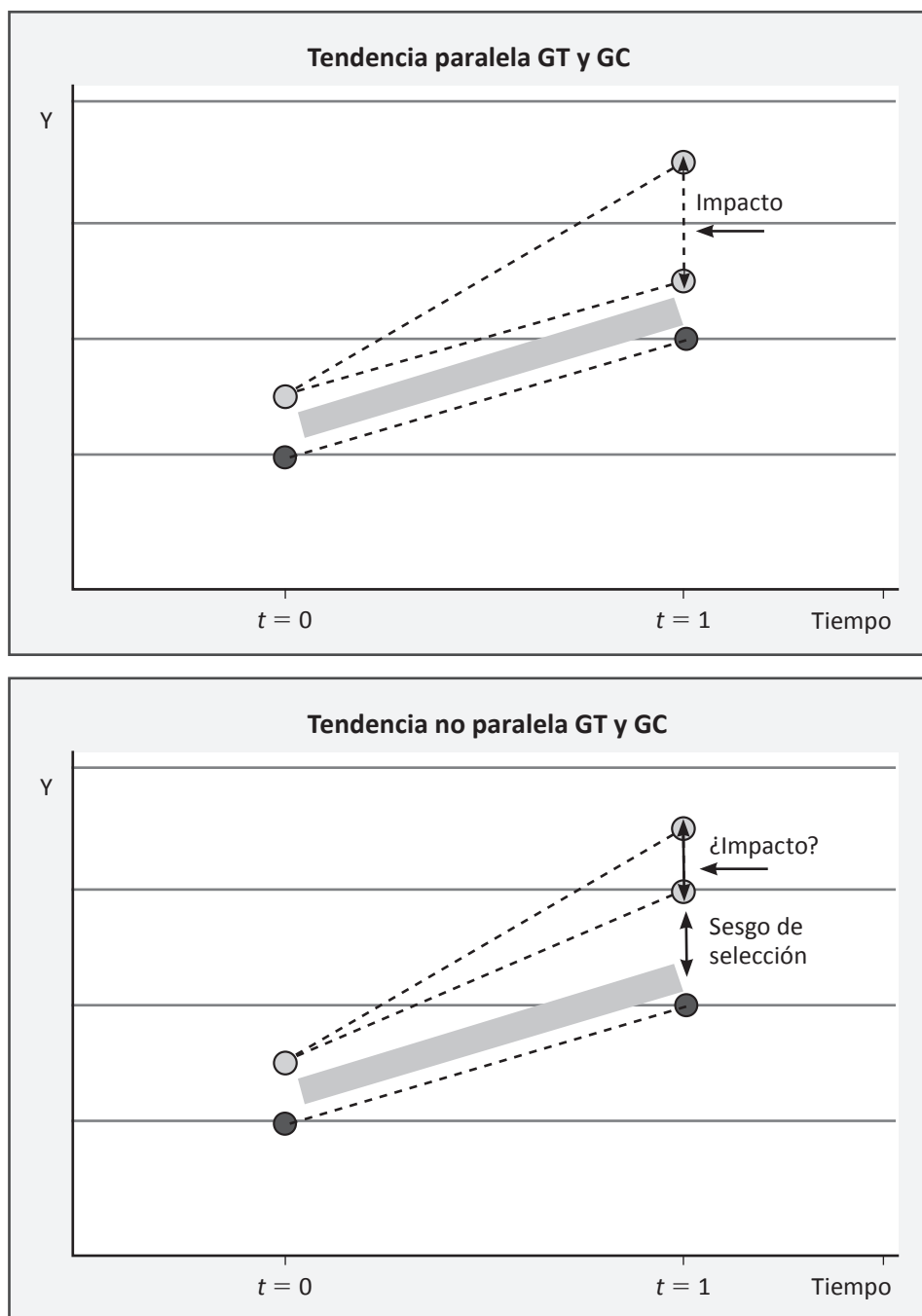
El quinto supuesto para asegurar que la estimación del impacto no sea sesgada sería que tanto las empresas del grupo de control como las beneficiadas reaccionen igual a los demás incentivos que afectan a la variable que mide el impacto. El supuesto de igualdad en ambos grupos en la tendencia (*baseline*) en el tiempo de la variable de interés –el efecto– trata de asegurar que el cambio en el gasto en I+D se debe de forma indiscutible a las ayudas y no se genera porque los dos grupos de empresas (GT y GC) reaccionan distinto a otros acontecimientos. En la investigación social, económica, sanitaria, etc., este supuesto puede violarse con cierta frecuencia. En realidad, el efecto de la política de apoyo a la innovación empresarial se mide a partir de la diferencia del valor de la variable de impacto (gasto en I+D) entre dos momentos distintos (antes y después de su aplicación). Sin embargo, en este periodo pudieron haber pasado otros acontecimientos que hubiesen afectado al gasto en I+D. Por ejemplo, la crisis económica podría haber cambiado la relación entre diversas variables (covariables) que se utilizan para aleatorizar el grupo de control *versus* el del tratamiento, lo que podría afectar o alterar la medición del efecto en términos del gasto en I+D.²⁹ Otro ejemplo sería una innovación radical inesperada en un cierto sector que cambia el comportamiento innovador de todas las empresas del sector.

En la figura 3.3, se observa la función de igualdad en las tendencias. El gráfico de la izquierda refleja una tendencia paralela en el tiempo de ambos tipos de empresas, asegurando que el cambio solo dependa del tratamiento, mientras que el gráfico de la derecha incluye un sesgo de selección en la tendencia en el tiempo.

²⁸ Se refiere al supuesto 5, donde se requiere la igualdad en ambos grupos en la tendencia de la variable para cualquier shock externo (*baseline*), como la pandemia de la COVID-19 en 2020.

²⁹ Esto se podría contrastar mediante un modelo Heckman para controlar la endogeneidad de las ayudas sobre el gasto en I+D, analizando si hay un cambio en los determinantes del gasto en I+D.

Figura 3.3 Tendencia básica del gasto en I+D en el tiempo sin y con ayudas



Fuente: elaboración propia.

En el caso de que estos cambios afecten de forma homogénea y aleatoria el gasto en I+D de las empresas del grupo de los tratados y los de control –igualdad en la tendencia–, la medición del impacto sería insesgada, pero si las empresas de control reaccionan de forma distinta a las tratadas, no se podría medir bien el impacto. Por ejemplo, si las que solicitan ayudas³⁰ son más proactivas y menos conservadoras en la introducción de cambios en los momentos de crisis³¹ que las empresas que no piden ayudas, estos grupos podrían reaccionar de forma muy distinta.

También, en este caso, el incumplimiento del supuesto podría indicar implícitamente que tampoco se cumple el segundo supuesto: la existencia de variables omitidas (variables no observables, no observadas o excluidas). La existencia de variables no observadas no siempre es un problema. Si es una variable que se distribuye de forma aleatoria entre las empresas de ambos grupos, su presencia no afectaría a la medición del impacto. Tampoco sería un problema si la variable omitida no afecta de forma diferenciada a la tendencia en el gasto en I+D de ambos grupos, pero se debe analizar la posible existencia de tales diferencias antes de iniciar el tratamiento para que no se confunda (*unconfoundness*) con los resultados del mismo o anticipándose a éste. De esa manera, si la relación entre el tratamiento y su efecto no se altera en el tiempo y si las empresas de ambos grupos (con y sin ayuda) reaccionan de forma igual a otros incentivos sobre el gasto en I+D o innovación, esta variable dependiente (el efecto) tendría en ambos grupos la misma tendencia, cumpliendo, así, el supuesto de la tendencia básica (*baseline*). En este caso, como se ha indicado, las diferencias encontradas se pueden atribuir, sin ninguna duda, a la ayuda pública (el tratamiento).

3.5. Reflexiones finales

Aunque el PSM como método de evaluación se aplica en un amplio número de campos desde la década de 1980 (como la medicina, las relaciones laborales y la sociología), no es un instrumento ampliamente utilizado por parte de los investigadores en el campo de la economía y la evaluación de políticas

³⁰ Siendo, como se ha indicado, las más innovadoras dentro de las empresas con tales actividades.

³¹ Como en el caso de la crisis financiera y económica del año 2008 y las implicaciones económicas y sociales derivadas de la COVID-19, especialmente en términos de la globalización.

públicas para el caso de México. Esto posiblemente se debe a la falta de bases de datos que permitan su utilización. En otros países, se cuenta con bases de datos potentes y públicamente accesibles, lo que significa un gran abanico para su aplicación. Los primeros trabajos que utilizan el Método PSM para evaluar las ayudas a la innovación empresarial –hasta donde se ha logrado revisar la literatura– se publicaron al principio de este siglo XXI, elaborados por Czarnitzki y Fier [2002], y Almus y Prantl [2002]. Desde entonces, se ha publicado un amplio número de estudios –más de 60– con esta metodología³² que se revisan brevemente en el capítulo 4 de este libro. Como se mencionó, para el caso de México, se ha utilizado escasamente esta metodología; en el capítulo 6, se revisan estudios que la han aplicado para evaluar la política tecnológica.

Existen ya algunos manuales o guías en inglés que explican los pasos a seguir para aplicar el PSM, pero ninguno en español. Por lo tanto, el propósito de elaborar este libro es contribuir con la experiencia desarrollada en el tema, ya que no se ha detectado ningún manual en español que aborde la aplicación de la metodología y que, además, esté enfocado de forma explícita hacia la evaluación de las ayudas a la innovación empresarial. Por esto, el objetivo de los capítulos siguientes es explicar esta metodología que actualmente es una de las más utilizadas en la evaluación del impacto de las políticas que fomentan la I+D e innovación en las empresas, con base en las encuestas de innovación o bases de datos similares. Además de ofrecer detalladamente la aplicación del PSM, se proporciona una visión crítica de su idoneidad, las restricciones y requisitos de su aplicación y las ventajas respecto a otro tipo de modelos econométricos usados para evaluar el impacto de políticas a nivel microeconómico, como son el Método de Variables Instrumentales y el Modelo de dos etapas de Heckman.

³² En el inventario creado durante el desarrollo del proyecto en que se basa este libro –publicado en 2018 por el IIEc-UNAM– se recogen 55 estudios, de los cuales 13 son de Latinoamérica y 34 de países europeos [véase Vergara *et al.*, 2019].

REFERENCIAS

- Almus, Matthias & Prantl, Susanne [2002], “Die Auswirkungen öffentlicher Gründungsförderung auf das Überleben und Wachstum junger Unternehmen, Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik”, *Journal of Economics and Statistics*, 222(2): 161-185.
- Buisseret, Timothy; Cameron, Hugh & Georghiou, Luke [1995], “What difference does it Make? Additionality in the Public Support of R&D in Large Firms”, *International Journal of Technology Management*, 10(4-6), 587-600.
- Busom, Isabel; Corchuelo, Beatriz & Martínez-Ros, Esther [2014], “Tax Incentives... or Subsidies for Business R&D”, *Small Business Economics*, 43(3): 571-596.
- Caliendo, Marco & Kopeinig, Sabine [2008], “Some Practical Guidance for the Implementation of Propensity Score Matching”, *Journal of Economic Surveys*, 22(1): 31-72.
- Cox, David [1958], *Planning of Experiments*, New York, John Wiley & Sons.
- Czarnitzki, Dirk & Fier, Andreas [2002], “Do Innovation Subsidies Crowd out Private Investment? Evidence from the German service sector”, Centre for European Economic Research (ZEW), Mannheim, Germany, *Discussion Papers*.
- Dosi, Giovanni [1988], “Sources, Procedures and Microeconomic Effects of Innovation”, *Journal of Economic Literature*, 26(3): 1120-1171.
- Fagerberg, Jan [1994], “Technology and International Differences in Growth Rates”, *Journal of Economic Literature*, 32(3): 1147-1175.
- Georghiou, Luke [1994], *Impact of the Framework Programme on European Industry*, Brussels, European Commission/Directorate General Telecommunications, Information.
- Greenland, Sander; Robins, James M. & Pearl, Judea [1999], “Confounding and Collapsibility in Causal Inference”, *Statistical Science*, 14(1): 29-46.
- Griliches, Zvi [1984], *R & D, Patents, and Productivity (A National Bureau of Economic Research Conference Report)*, Chicago, University of Chicago Press.
- Griliches, Zvi & Lichtenberg, Frank R. [1984], R&D and Productivity Growth at the Industry Level: Is There Still a Relationship?, in *R&D, Patents, and Productivity* (465-502), Chicago, University of Chicago Press.
- Gutiérrez, Cristian; Heijs, Joost J.; Blanco, Mikel & Baumert, Thomas [2016], “Configuración de los sistemas nacionales de innovación y su impacto sobre el crecimiento económico”, *Economía y Política*, 3(2): 37-83.
- Heckman, James [1976], “The Common Structure of Statistical Models of Truncation, Sample Selection and Limited Dependent Variables and a Simple Estimator for Such Models”, *Annals of Economic and Social Measurement*, 5(4): 475-492.

- _____[1979], "Sample Selection Bias as a Specification Error", *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 47(1): 153-161.
- Heckman, James; Ichimura, Hidehiko, Smith, Jeffrey & Todd, Petra [1998], *Characterizing Selection Bias using Experimental Data*, Cambridge, National Bureau of Economic Research.
- Heijs, Joost [2000], *Financiación pública de las actividades innovadoras empresariales: evaluación de los créditos blandos para proyectos del I+D* (tesis doctoral), Universidad Complutense de Madrid.
- _____[2001], *Política tecnológica e innovación: Evaluación de la financiación pública de I+D en España*, Madrid, Consejo Económico Social.
- Heijs, Joost; Buesa, Mikel; Vergara Reyes, Delia; Gutiérrez, Cristian; Arenas Díaz, Guillermo y Guerrero, Alex [2020], *Innovación, crecimiento y competitividad: El papel de la política tecnológica en España*, Madrid, Estudios de la Fundación, 94. La Fundación de las Cajas de Ahorros (Funcas).
- Heinrich, Carolyn; Maffioli, Alessandro & Vázquez, Gonzalo [2010], "A Primer for Applying Propensity Score Matching", Inter-American Development Bank.
- Kim, Linsu [1999], "Building Technological Capability for Industrialization: Analytical Frameworks and Korea's Experience", *Industrial and Corporate Change*, 8(1): 111-136.
- Mansfield, Edwin [1968], *Industrial Research and Technological Innovation: An Econometric Analysis*, New York, Published for the Cowles Foundation for Research in Economics at Yale University by Norton.
- Meyer-Krahmer, Frieder [1989], *Der einfluß staatlicher technologiepolitik auf industrielle innovationen*, Baden Baden, Deutschland, Nomos Verlag-Ges.
- Nelson, Richard; & Winter, Sidney [1982], *An Evolutionary Theory of Economic Change, Production Sets and Organizational Capabilities*, Cambridge/Massachusetts/London, The Belknap Press of Harvard University Press, 59-65.
- Pérez-Escatel, Aldo & Pérez Veyna, Oscar [2009], "Competitividad y acumulación de capacidades tecnológicas en la industria manufacturera mexicana", *Investigación económica*, 68(268), 159-187.
- Pradhan, Rudra; Arvin, Mak; Nair, Mahendhiran; Bennett, Sara; Bahmani, Sahar & Hall, John H. [2018], "Endogenous Dynamics between Innovation, Financial Markets, Venture Capital and Economic Growth: Evidence from Europe", *Journal of Multinational Financial Management*, 45: 15-34.
- Rosenbaum, Paul & Rubin, Donald B. [1983], "The Central Role of the Propensity Score in Observational Studies for Causal Effects", *Biometrika*, 70(1): 41-55.
- Rubin, Donald [1980], "Randomization Analysis of Experimental Data: The Fisher Randomization Test Comment", *Journal of the American Statistical Association*, 75(371): 591-593.

- Scott, John [1984], “Firm *Versus* Industry Variability in R&D Intensity”, in Zvi Griliches (ed.), *R&D, Patents, and Productivity* (233-248), Chicago, University of Chicago Press.
- Soete, Luc; Turner, Roy & Patel, Pan [1983], “R&D, International Technology Diffusion and Productivity Growth”, Paper Presented at the Conference on Quantitative Studies of Research and Development in Industry, Ensaie, Paris, 8-9.
- Valadez, Patricia; Heijs, Joost & Buesa, Mikel [2011], “El impacto de las ventajas fiscales para la I D e innovación”, *Papeles de Economía Española*, Fundación de las Cajas de Ahorro.
- Vanino, Enrico; Roper, Stephen & Becker, Bettina [2019], “Knowledge to Money: Assessing the Business Performance Effects of Publicly-Funded R&D Grants”, *Research Policy*, 48(7): 1714-1737.
- Vergara Reyes, Delia Margarita; Heijs, Joost; Arenas Díaz, Guillermo y Guerrero, Alex [2019], *Efectos de la política tecnológica en el comportamiento innovador y el empleo: análisis de contenido*. Recuperado de <<https://bit.ly/3vVtSkp>>.
- Wu, Aihua [2017], “The Signal Effect of Government R&D Subsidies in China: Does Ownership Matter?”, *Technological Forecasting and Social Change*, 117: 339-345.

CAPÍTULO 4

MÉTODO DE EMPAREJAMIENTO PARA EVALUAR POLÍTICAS: UNA VISIÓN CONCEPTUAL DE SU APLICACIÓN

Alex J. Guerrero
Joost Heijs

4.1. *Introducción*

El objetivo de este capítulo es mostrar desde un punto de vista conceptual y teórico la aplicación de los distintos métodos de emparejamiento en los estudios de evaluación, resaltando los problemas y limitaciones de tales estudios. Se comienza definiendo una situación hipotética en la que se dispone de todos los datos necesarios y con suficientes observaciones para poder conseguir un emparejamiento de forma correcta; después, se continúa, en los próximos dos capítulos de este libro, con la exposición de casos donde se observará que durante la aplicación del método de emparejamiento se contrastan, en la realidad, solo dos de los cinco supuestos: la aleatorización y la existencia de un área de soporte común de solapamiento. En este se explica, desde una perspectiva conceptual, un conjunto de pruebas estadísticas para comprobar la correcta aleatorización de la distribución del tratamiento, mientras que en los siguientes capítulos se explica su aplicación en Stata y la forma de interpretar los resultados en términos de significancia estadística. Estas pruebas confirman si el modelo, incluyendo todas las variables relevantes, soluciona el sesgo de selección inicial.¹ Si los test correspondientes resultan satisfactorios, la muestra creada para el PSM –que se utiliza para medir el impacto– sería aleatoria para todas las variables relevantes y ninguna otra circunstancia –excepto las ayudas– explicaría la diferencia de la tendencia de la variable que mide el impacto. En el caso de la evaluación de las políticas de I+D e innovación, la correcta aleatorización artificial implicaría que la variación del gasto en I+D y las demás actividades de innovación en las empresas beneficiadas se puede atribuir, sin duda alguna, a las ayudas públicas. El segundo supuesto que se comprueba normalmente en los estudios empíricos es la existencia del área común de solapamiento.

¹ Los otros tres supuestos implican –como se ha explicado–, de alguna forma, la ausencia de variables relevantes no incluidas y/o no observables que influyen sobre la participación, por lo que realmente se incumple el supuesto de distribución aleatoria. Dicho de otro modo, si estos no se cumplen seguirá existiendo un sesgo de selección o autoselección, pero esto sería difícil de probar.

En el proceso de la creación del grupo de control, se deben tomar decisiones que no siempre son fáciles. Como se ha indicado en el capítulo anterior, existe un dilema metodológico de dos objetivos contrapuestos. Por un lado, se debe minimizar el sesgo de selección para que el grupo de control sea lo más “similar” posible, buscando un “clon” perfecto, lo que implica que se debe incluir el máximo número de variables relevantes posibles. Además, solo si todas las variables relevantes están incluidas en el modelo, el resultado será insesgado y la estimación del impacto representaría el verdadero efecto de las ayudas. Sin embargo, por otro lado, se debe asegurar la existencia de un área de soporte común. Se debe confirmar que se haya obtenido una empresa de control para cada una de las que están siendo tratadas y, si no fuera así, explicar en qué medida este problema afecta a la generalización de los resultados; sobre todo, en muestras pequeñas, se puede tener un problema de dimensionalidad. El incumplimiento del supuesto de área común de solapamiento implicaría reducir el número de variables (o el número de categorías de cada variable) incluidas en la estimación. Se debe tener en cuenta que un mayor número de variables aumentaría la varianza, por lo que sería bueno disminuir su número.

Es decir, el método es más fiable cuanto mayor es el número de variables de control en la ecuación, pero esto implica reducir el grado de solapamiento o el área de soporte común, siendo un problema de dimensionalidad. Por ello, el método de emparejamiento se basa en un proceso continuo de prueba y error hasta llegar a un modelo aceptable. Durante el proceso de emparejamiento se realizan miles de modelos. Por un lado, añadiendo o eliminando constantemente nuevas variables o transformando las variables incluidas (sección 4.3) y, por otro lado, ajustando los métodos o algoritmos de emparejamiento (sección 4.4.1). En cada repetición, se debe analizar de nuevo el cumplimiento de los supuestos hasta que se llegue a un modelo “óptimo”. Tal modelo óptimo depende del objetivo del estudio. Si se quiere saber con mayor precisión el impacto exacto de las ayudas, se debe solucionar el problema del sesgo de selección, optando por la inclusión de más variables en la estimación. Si el estudio es un instrumento para ajustar las políticas con base en información creíble, aunque no exacta, sería preferible optar por un mayor nivel de generalización, disminuyendo el número de variables en favor del área común de solapamiento.

Para la creación de los grupos de control y la estimación del impacto, se debe seguir y/o repetir un proceso de seis pasos.

1. Revisión de la literatura teórica y empírica para establecer el conjunto de las variables relevantes para el proceso de emparejamiento (4.2.1),

siendo en realidad los determinantes de la participación en los programas de apoyo.

2. Revisión de los datos disponibles: determinar la existencia y el acceso a la información de las variables relevantes y analizar la correlación entre ellas para detectar posibles problemas de multicolinealidad (sección 4.2.2).
3. Definir el modelo: elegir la forma de incluir las variables (4.3) y ajustar el algoritmo de emparejamiento (4.4.1).
4. Comprobar el cumplimiento de los supuestos de aleatoriedad (4.4.2).
5. Comprobar el cumplimiento de la existencia del área común de solapamiento (sección 4.4.2).
6. En el caso del incumplimiento de alguno de los supuestos, se debe volver al paso tres redefiniendo o ajustando el modelo.

El primer paso sería analizar la literatura teórica y empírica relevante para determinar los factores explicativos que influyen sobre la participación en las ayudas públicas y sobre las variables utilizadas para medir el impacto de las ayudas (gasto en I+D o innovación).² Una vez determinados estos factores en términos abstractos, se debe operacionalizarlos mediante variables concretas disponibles para el estudio e iniciar la construcción del modelo final para la estimación del impacto. Teniendo en cuenta los resultados del primer paso (la revisión de la literatura), se debe afrontar el segundo paso: revisar en profundidad los datos, analizando la disponibilidad de las variables relevantes, y realizar un análisis exploratorio de las correlaciones entre ellos. Este análisis podría revelar que dos o más variables altamente correlacionadas reflejarían el mismo concepto teórico, en cuyo caso se podría excluir una de ellas, ya que –como se ha indicado– es deseable tener el menor número de variables posibles; además, la inclusión de variables altamente correlacionadas podría generar problemas de multicolinealidad. Asimismo, se realiza una regresión logística donde la variable dependiente es “el haber participado en el programa de las ayudas” para poder identificar los factores

² Una crítica a la mayoría de los estudios podría ser su variable dependiente para medir el efecto. Se utiliza principalmente el efecto sobre el gasto en I+D, pero podría ser que la adicionalidad se acentúe en el gasto de innovación. Por ejemplo, en el caso de que las ayudas permitan realizar actividades marginales no previstas consideradas innovación. En el caso de estar disponibles los estudios, optan, a menudo, por usar ambas variables: el gasto en I+D y la suma de tales gastos más el gasto en otras actividades de innovación.

que teóricamente explican la participación de las empresas en los programas y que sean realmente variables estadísticamente significativas, en cuyo caso habría que incluirlas en la estimación del impacto. Es decir, se debe repensar la inclusión de las variables que, según la teoría, son importantes, pero que, según los modelos de regresión logística, estadísticamente no influyen en la probabilidad de participación. En la siguiente sección, se analiza en detalle el proceso de incluir o excluir variables.

Una vez definidas las variables relevantes que se deberían incluir desde un punto de vista teórico, con base en los trabajos empíricos y en el análisis exploratorio, se precisa, en un tercer paso, el modelo, decidiendo la inclusión, o no, de ciertas variables y el método de emparejamiento. Una vez aplicado el modelo, se analiza en los pasos cuatro y cinco el cumplimiento de los supuestos en términos del *matching* o emparejamiento. En el caso de que no se cumplan los supuestos, se debe, como sexto paso, redefinir el modelo y volver al paso tres.

En las siguientes secciones, se analizan diversos aspectos que deben ayudar a definir el modelo (véase recuadro metodológico 4.1). Primero, se analiza cómo determinar qué variables se deben incluir y cómo transformarlas para poder cumplir con los supuestos del área común de solapamiento y aleatorización (sección 4.2). En seguida, se realiza un análisis de las distintas opciones de emparejamiento y sus implicaciones. Como se explicará, existen diversas opciones para mejorar los modelos de emparejamiento y cada uno de ellos tiene sus ventajas, desventajas y restricciones respecto al cumplimiento de la aleatoriedad y del área de común solapamiento (sección 4.3). La elección del método de emparejamiento es una decisión del investigador, que debe decidir cuál es el criterio para considerar a dos empresas iguales. Finalmente, se realizan las pruebas respecto al cumplimiento de los supuestos (sección 4.4).

Una vez explicado en términos teóricos y abstractos cómo mejorar el uso de los datos y modelos, se ofrece, en el siguiente capítulo, una descripción práctica y muy detallada de las pruebas para comprobar el cumplimiento de estos supuestos mediante ejemplos basados en una aplicación real al caso de España, mientras que, en el capítulo 6, se ofrece una aplicación para el caso de México. Allí se opta por una presentación didáctica con ejemplos del *output* de un caso real, indicando la interpretación correcta. Para facilitar la utilización de esta guía práctica, se indica, a continuación, la estructura común de los tres capítulos centrales de este libro para que los lectores puedan consultar de forma rápida las referencias a cada uno de los temas tratados.

Recuadro metodológico 4.1 *Estructura común de los distintos capítulos*

	Supuestos básicos	Aplicación teórica	Aplicación práctica
Selección y transformación de variables			
1. Revisión de la literatura teórica y empírica para detectar las variables potencialmente relevantes.		4.2.1	5.2.1
2. Realización de un análisis exploratorio para afinar la selección de las variables relevantes con base en los datos disponibles.		4.2.2	5.2.2
3. Dimensionalidad: transformación de variables, efectos de interacción y el uso de retardos.		4.3	5.3
Selección y definición del modelo			
4. Ajustes del modelo de aleatorización: selección del método de emparejamiento.	3.4.2	4.4.1	5.4.1
Verificación de la calidad del emparejamiento (cumplimiento de los supuestos básicos)			
5. Pruebas para comprobar la correcta aleatorización (ausencia de sesgo de selección).	3.4.2	4.4.2	5.4.2
Verificación de la capacidad de generalizar los resultados			
• Del área común de solapamiento.	3.4.3	4.4.2	5.4.1
• Supuesto de la independencia de efectos a nivel individual (SUTVA).	3.4.4	4.5	5.5
• De la igualdad del efecto en ambos grupos.	3.4.5	4.5	

Fuente: elaboración propia.

4.2. *Revisión de la literatura teórica y empírica: selección de variables*

4.2.1. Revisión de la literatura teórica y empírica para detectar las variables potencialmente relevantes

De acuerdo con Kenneth E. Boulding: “Theories without facts may be barren, but facts without theories are meaningless” [1966: 5]. Estas palabras son relevantes porque hoy se dispone de una cantidad inmensa de información y datos que permiten analizar e identificar muchas correlaciones entre datos de los más dispersos o disímiles temas. Por otro lado, el análisis económico moderno utiliza de forma intensiva modelos econométricos, pero estos modelos –igual que el método de emparejamiento– deberían basarse en la teoría. Es decir, la relación encontrada en los modelos econométricos solo se puede interpretar en términos de causalidad si están apoyados por argumentos teóricos. Como indica Kenneth E. Boulding [1956]:

Mathematics attempts to organize highly general relationships into a coherent system, a system however which does not have any necessary connections with the “real” world around us. It studies all thinkable relationships abstracted from any concrete situation or body of empirical knowledge. It is not even confined to “quantitative” relationships narrowly defined—indeed, the developments of a mathematics of quality and structure is already on the way, even though it is not as far advanced as the “classical” mathematics of quantity and number. Nevertheless, because in a sense mathematics contains all theories it contains none; it is the language of theory, but it does not give us the content [197].

En conclusión, se debe revisar la literatura teórica y empírica para determinar qué factores explicativos podrían ser relevantes y aclarar, sobre todo, el porqué de su relevancia. Es decir, la identificación de las características básicas relevantes se debe fundamentar con criterios teóricos y no mediante artificios estadísticos o por razones de la disponibilidad de información empírica.

Tal constatación tan rigurosa choca claramente con la realidad de las ciencias sociales, incluidas las teorías económicas. En el caso de la evaluación de las políticas de I+D empresariales, se detecta que la ausencia de una teoría

global limita claramente la viabilidad de la selección de las variables. La falta de un marco teórico claro convierte la construcción del modelo en un proceso de prueba y error permanente –que invita a incluir el máximo número de variables–, utilizando la inclusión y exclusión, de forma continua, de variables alternativas hasta que se obtiene un modelo aceptable que satisface los cinco supuestos y que se ajusta a los pocos argumentos teóricos disponibles. En el caso de la evaluación del impacto de las ayudas a la innovación empresarial, se debe revisar la literatura empírica respecto a dos aspectos. Primero, se deben analizar los determinantes de la participación en los programas para promover la innovación y así poder aleatorizar la distribución de la muestra para estas variables. Segundo, se deben identificar los factores explicativos del gasto en I+D y/u otras actividades innovadoras, variable que mide el efecto de adicionalidad de las ayudas.

El problema en nuestro caso es que no existe ninguna teoría que explique los determinantes de la participación en las ayudas públicas para I+D y solo existen algunos argumentos parciales respecto a la influencia de unas pocas variables (tamaño, nivel de gasto en I+D). La falta de teoría se debe, en parte, a que las decisiones en las empresas, en general, no se basan en modelos teóricos, sino en intuiciones personales y en la experiencia de los empresarios. Esto no implica que ellos en la actualidad no tengan en cuenta las leyes y mecanismos del mercado, sino que sus decisiones no se fundamentan en una reacción mecánica –con leyes “naturales” inalterables– a cada cambio en el panorama macro y microeconómico. Se observa una gran heterogeneidad de comportamiento de los empresarios en muchas de sus decisiones, y esto también se detecta cuando participan en los programas públicos de apoyo a la innovación. Por último, cabe destacar que, además de la heterogeneidad de las empresas, la influencia de las variables relevantes sobre la probabilidad de participación (*propensity score*) puede ser cambiante en el tiempo y por el tipo de ayudas. Primero, debido a que los gobiernos pueden reorientar sus ayudas de un sector o campo tecnológico a otro, por lo que el tipo de empresas que pueden participar sería muy distinto o porque la discrecionalidad del propio sistema de selección puede cambiar. Segundo, porque éstas pueden cambiar su estrategia innovadora.

Tampoco de los determinantes del nivel de gasto en I+D se tiene un marco teórico completo y, de hecho, existen pocos estudios que lo analizan. Independientemente de la existencia de un marco teórico, resulta que existe un alto nivel de heterogeneidad entre las empresas.

4.2.2. Realización de un análisis exploratorio para afinar la selección de las variables relevantes con base en los datos disponibles

Como se ha indicado, se deben seleccionar las variables a partir de las teorías, pero el campo de la participación en los programas se destaca por la ausencia de los argumentos teóricos y la gran heterogeneidad en la forma de actuar por parte de las empresas. Por lo tanto, la inclusión, o no, de las variables en los modelos empíricos se basa más en su disponibilidad y relevancia aparente que en la teoría, y, de manera muy importante, en la revisión de los estudios empíricos, el análisis exploratorio y la pericia de los investigadores. Una vez que se obtiene una lista larga de variables relevantes³ de la literatura empírica y teórica, se debe decidir cuáles se pueden incluir sin que se violen los supuestos mencionados, ya que, como se ha indicado, la inclusión de todas y cada una de las variables podría generar problemas metodológicos de multidimensionalidad y de multicolinealidad, por lo que, a continuación, se ofrecen unas pautas generales de la selección de variables.

En un primer paso, se debe llevar a cabo un análisis exploratorio de las variables potencialmente relevantes que podrían existir de dos actividades complementarias. El primero sería desarrollar –con base en los datos disponibles– los modelos de regresión para comprobar si la muestra ofrece los resultados iguales –o muy parecidos– a los estudios empíricos existentes. Se podría realizar un modelo de regresión para identificar los determinantes de la variable que mide el efecto de las ayudas: el gasto en I+D o innovación. Y por otro lado, se debería realizar un modelo de regresión logística para analizar las variables explicativas de la participación en los programas públicos. Una vez desarrollados los modelos, se pueden contrastar las variables estadísticamente significativas, o no, en cada uno de ellos, identificando cuatro tipos de variables (véase tabla 4.1).

³ Además, no siempre resulta fácil o posible obtener unas variables observables que representen de forma correcta los conceptos teóricos, por lo que se suelen utilizar proxies. Son variables cuya medición, de alguna forma, se aproxima al concepto real o se considera más o menos representativo.

Tabla 4.1 Regla de decisión respecto a la selección de variables

		Afecta a la participación	
		Sí	No
Afecta al gasto	Sí	Incluir	Ambigua
	No	Incluir	Excluir

Fuente: elaboración propia.

El primer tipo sería un conjunto de variables que influyen simultáneamente sobre la participación en el programa y en la variación o el nivel de la variable que mide supuestamente el efecto del tratamiento. Estas variables deberían estar incluidas en el modelo de aleatorización de las empresas en los dos grupos (GT y GC). El segundo tipo de variables que se debe incluir sería el de las variables altamente correlacionadas con la participación en el programa, pero no con el resultado o efecto del tratamiento. Aunque estas variables podrían afectar la aleatoriedad de la asignación, se podría suponer, inicialmente, que no hace falta incluirlas en el modelo, ya que no afectan la variable que mide el impacto y, por lo tanto, no sesgaría el efecto estimado. Sin embargo, al mismo tiempo, podría ser que los *shocks* o cambios externos que determinan el gasto en I+D o innovación no previstos podrían afectar de formas distintas a estas variables. De todos modos, si se quiere perfilar el tipo de las empresas que obtienen ciertas ayudas, estas variables sí serían interesantes.

Después, existen dos tipos de variables cuya inclusión se debería rechazar, o, por lo menos, su función resulta ambigua. El primero de ellos (el tercer tipo) son las variables no correlacionadas con la participación en el programa, pero que sí afectan el indicador del impacto (el gasto en I+D). Tal variable no generaría un sesgo de selección, debido a que, por definición, estarían asignados aleatoriamente a ambos grupos (GT y GC), por lo que podemos excluirlas del modelo, principalmente, porque aumentarían la varianza. En realidad, la decisión sobre la inclusión, o no, de estas variables sería ambigua porque se podría encontrar una situación contradictoria. Tal sería el caso en que, desde un punto de vista de la teoría o de las evidencias empíricas anteriores, una variable concreta se considera relevante para la participación y la variable que mide el efecto. Entre tanto, el modelo de regresión logística del propio estudio que se está realizando con una base de datos concreta no lo confirma de forma estadísticamente significativa. En este caso, el investi-

gador debe tomar una decisión al respecto. También se debe evitar la inclusión del último tipo de variables –no correlacionados con la probabilidad de obtener ayuda ni tampoco con el resultado– porque dificulta la obtención de un área común de soporte y puede introducir innecesariamente un sesgo de selección de forma artificial.

Un segundo análisis exploratorio estaría basado en el estudio de la correlación entre las variables. Podría ser que las variables altamente correlacionadas reflejen o representen el mismo concepto económico, por lo que una de ellas se podría eliminar. Es decir, se debe evitar la inclusión de múltiples variables que representen una misma característica, ya que no aportaría una mejora del problema de sesgo de selección, pero sí implicaría una mayor dificultad de conseguir un buen nivel de emparejamiento y cumplir los supuestos. La decisión de eliminar una de las variables implicadas no resulta fácil porque no siempre hay un consenso sobre cuál de los indicadores refleja mejor la característica conceptual.

Por ejemplo, indicadores de la competitividad a nivel empresarial podrían ser: el nivel de beneficios, la cuota del mercado, la presencia de la empresa en mercados internacionales o el crecimiento de sus ventas. Por lo tanto, tenemos cuatro opciones, pero, al mismo tiempo, se debe limitar el número de variables incluidas para asegurar un mejor emparejamiento. El problema sería cuál de ellas es el mejor indicador.

4.3. *Dimensionalidad: transformación de variables, efectos de interacción y el uso de retardos*

Una vez determinadas las variables potencialmente relevantes en términos generales, se debe elegir la forma de introducirlas en los modelos. Muchas de las variables ofrecen un número casi infinito de categorías (por ejemplo, el tamaño por empleo o el porcentaje de exportaciones sobre ventas), lo que afecta directamente el problema de dimensionalidad y podría implicar el incumplimiento del supuesto del área común de solapamiento. En el caso del método de emparejamiento, se debe seguir, más que nunca, el supuesto de parsimonia de los modelos econométricos; es decir, los modelos deben ser lo más simple posible. En los modelos económicos, resulta imposible reflejar de forma precisa la realidad; para ello, se requieren varios detalles de la economía, incluyendo muchas variables diversas con valores muy heterogé-

neos –y muchas de ellas colineales–, por lo que se desarrollarían modelos tan complejos que se perdería la visión global, obteniendo resultados poco prácticos. Por lo tanto, los investigadores están obligados a hacer abstracciones, simplificando la realidad y siguiendo el principio de parsimonia, o, en palabras de Milton Friedman, “una hipótesis [modelo] es importante si esta ‘explica’ mucho, con poco” [Friedman, 1966: 14].

Especialmente en el caso de los modelos de emparejamiento –con su problema inherente de multidimensionalidad–, sería preferible introducir el mínimo número de variables claves que capturen la esencia del fenómeno.⁴ Una de las soluciones más fáciles para remediar el problema de multidimensionalidad sería la simplificación de los modelos por medio de transformaciones. La primera sería convertir variables continuas en unos pocos intervalos o categorías. Tal ajuste se puede justificar con el objetivo de mejorar los modelos por razones técnicas, pero también por razones teóricas o conceptuales. Otro de los problemas más comunes en este tipo de estudios es la existencia de una relación no lineal entre la variable dependiente e independiente; tal relación se puede solucionar modelizando el modelo de regresión mediante la transformación de las variables continuas en algunos intervalos. El procedimiento óptimo para seguir en estos casos depende de la índole y, especialmente, de los objetivos del estudio de evaluación de las ayudas a empresas. Si el objetivo del estudio es saber precisamente el efecto, habría que ser más exigente, pero si el objetivo es ajustar la política y saber dónde se puede mejorar su diseño, se puede simplificar el modelo. En este caso, sería preferible una especificación lineal simple que ofrezca una buena aproximación del efecto, aunque no perfecto, que podría proporcionar suficiente información para tomar decisiones políticas. Por la misma razón, se puede optar por simplificar el modelo, con el objetivo de disminuir el problema de dimensionalidad –a costa de la precisión del efecto estimado– mediante recodificación de variables con información muy pormenorizada a variables menos precisas. Las transformaciones más comunes utilizadas son:⁵

⁴ La parte no explicada, debido a las variables estadísticamente significativas, pero con poco peso explicativo, se recoge, de esta forma, en el término de error.

⁵ Agregar ciertas variables, como crear variables ordinales de intervalos a partir de variables continuas (tamaño, importancia de obstáculos o motivos; intensidad exportadora, etcétera).

- Convertir las variables de valores continuos/ordinales en variables ordinales de intervalo.⁶
- Convertir las variables de valores continuos/ordinales en variables binarias individuales, aunque con intervalos mutuamente excluyentes.⁷
- Crear una sola variable binaria.⁸
- Agrupar o agregar los valores de ciertas variables nominales.⁹
- Linealizar las variables por medio de logaritmos o con la introducción de la misma variable en términos normales y al cuadrado.¹⁰
- Ajustar los valores de los casos atípicos.

Estas formas de disminuir la multidimensionalidad de las variables ayudan a balancear los modelos de emparejamiento, debido a que reducen varianza en cada una de las variables simplificadas y, por lo tanto, permiten cumplir más fácilmente con el supuesto del área común de solapamiento. O, dicho de forma intuitiva, tales transformaciones disminuyen drásticamente el número de subconjuntos de empresas para las que se requieren, al mismo tiempo, tanto tratadas como de control, aunque posiblemente la estimación será insesgada, pero menos precisa.

⁶ Creando una sola variable de tamaño a partir de cinco intervalos de extensión con un recorrido desigual (por ejemplo, usar los valores de 1 a 5 para reflejar el tamaño de las empresas a partir de los siguientes cinco intervalos: 0-20; 21-50; 51-250; 251-500; más de 500 empleados).

⁷ Crear variables binarias separadas para distintos intervalos de tamaño. La diferencia con la primera transformación es que se usan variables individuales binarias con los valores 0 y 1. Esta forma de transformación sería útil en el caso de que exista una relación no lineal entre el tamaño y el gasto en innovación, ya que tal “no linealidad” se reflejaría en las betas de cada variable binaria.

⁸ Por ejemplo, convertir la variable de empleados, según el tamaño de la muestra, en una binaria: empresas pequeñas y medianas *versus* grandes; convertir la variable continua de intensidad en exportaciones (exportaciones/ventas) en una variable binaria “probabilidad exportadora” (exportan sí *versus* no).

⁹ Por ejemplo, sintetizar las decenas de sectores por CNAE en cuatro grupos de sectores, según nivel tecnológico, o en 6-8 sectores agregados, según su comportamiento innovador y tipo de producto [Pavitt, 1984; Bogliacino y Pianta, 2016]. Otro ejemplo sería tipificar las 200 y más regiones europeas en unos pocos grupos, según sus características (regiones centrales *versus* periféricas; regiones pobres *versus* ricas; etcétera).

¹⁰ El uso de variables binarias separadas, según intervalos, también permite introducir la no linealidad en el modelo.

4.4. *El proceso de emparejamiento y del cumplimiento de los supuestos: un proceso continuo de prueba y error*

4.4.1. Ajustes del modelo de aleatorización: selección del método de emparejamiento

Teóricamente, los métodos de emparejamiento identifican, para cada empresa con ayuda, una idéntica sin ayudas para poder estimar el impacto (véase recuadro metodológico 4.2), pero, en la realidad investigadora, no existen tales “clones” perfectos, por lo que se trabaja con casos de control muy similares a las empresas beneficiadas. Debido a las diferencias que siguen

Recuadro metodológico 4.2. *Emparejamiento desde un punto de vista técnico*

En los estudios de evaluación que analizan la adicionalidad en términos financieros, se calcula –por medio de las variables disponibles en las encuestas– la probabilidad de obtener ayudas (*propensity score*) y se empareja cada empresa tratada con una sin ayudas, pero con un *propensity score* igual o muy parecido. Es decir, se utilizan como casos de control aquellas que no han sido beneficiadas por el Estado, pero cuya probabilidad de haber obtenido ayudas es igual.*

Para que la empresa sea un “clon” perfecto, el valor medio del PS de ambos grupos (GT y GC) debe ser casi igual, y la distribución del PS de ambos grupos debe ser igual o muy parecida, por lo que el valor medio de la variable que mide el posible impacto debe tener, en el momento anterior a la asignación de las ayudas, el mismo nivel, distribución o valor tanto en el grupo beneficiado como en el grupo de control. Una vez creado el GT y el GC, se debe comprobar si se cumple la igualdad de ambos grupos.

El emparejamiento final se basa en la regresión logística (Probit o Logit) que no solo define, a partir de la significancia estadística de las variables, el perfil de las empresas según su participación en las ayudas, sino que, a partir de los coeficientes obtenidos, se calcula el *propensity score* o probabilidad de obtener las ayudas. Para crear el grupo de control, se calcula para cada una de las empresas de la muestra la probabilidad esperada de obtener ayudas (*propensity score*):

$$PS_i^{\text{treat}} = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots$$

Se debe observar que la puntuación de la propensión es solo el valor predicho PS_i^{treat} que se obtiene de esta regresión con independencia de si la empresa obtiene, o no, ayudas. Esta probabilidad teórica se utiliza para emparejar cada empresa beneficiada con una de control, ya que se supone que aquellas con el mismo *propensity score* son iguales. Es decir, la creación del grupo de control son las empresas sin ayudas con el mismo *propensity score* que las beneficiadas.

Fuente: elaboración propia.

existiendo para cada pareja de empresas con y sin ayudas, el investigador debe indicar el margen de similitud aceptable, entre el GT y GC, para que el impacto se estime de forma correcta.

Los distintos métodos o formas de emparejar las empresas beneficiadas con las de control tienen un efecto variado sobre los supuestos básicos, especialmente, la aleatoriedad (efecto de sesgo) y el soporte común de solapamiento (efecto de la varianza). Un menor nivel de aleatoriedad implicaría un mayor sesgo en el efecto estimado, que se conoce, en la literatura, con el denominador de *bias effect*, y el problema de solapamiento afectaría, como ya se ha indicado, a la generalización de los resultados para el conjunto de las empresas tratadas (ATET) o la representatividad del impacto potencial en las no tratadas (ATE). Para detectar posibles problemas de solapamiento, se analiza la varianza, ya que este aumentaría debido a la inclusión de un mayor número de variables o categorías por variable. Cabe destacar que la sensibilidad del algoritmo de emparejamiento utilizado también influye en la intensidad del impacto estimado. No se sabe de antemano en qué dirección, por lo que se recomienda analizar los resultados, aplicando diversos algoritmos que se explican en esta sección y observando las diferencias en los resultados (sensibilidad de los ajustes de los algoritmos).

A continuación, se debate sobre los distintos ajustes del modelo de emparejamiento y su impacto en el sesgo y la varianza. Dependiendo del número total de empresas en la muestra, la relación de la cantidad de ellas con y sin ayudas, y la cuantía de variables incluidas en el modelo se puede ser más exigente al momento de especificar el modelo. En el momento de disponer de muchos casos u observaciones, se puede utilizar un modelo mucho más estricto y exigente sin que haya un problema de sesgo de falta de solapamiento entre las empresas del GC y GT. Sin embargo, en el caso de disponer de una muestra pequeña de pocos datos, no queda más opción que modelizar una estimación más limitada para poder cumplir lo mejor posible con los supuestos. Para ello, se pueden emplear diversos tipos de ajustes o formas de emparejamiento, entre otros:

1. Variar el número de empresas de control por cada una que es beneficiada (una o más).
2. Limitar, o no, el emparejamiento de cada empresa beneficiada a una distancia máxima en el PS.
3. Aplicar, o no, una ponderación al estimador, según la distancia en el PS entre empresa tratada y de control.
4. Optar por un método de emparejamiento con o sin remplazamiento.

5. Optar por un análisis de diferencias en diferencias en caso de que los datos lo permitan.

La selección concreta de cada uno de los ajustes de los modelos de emparejamiento influye en los dos aspectos básicos mencionados. En realidad, durante el proceso de modelar la estimación, se debe tratar de forma simultánea el tipo de modelo y la inclusión del número de variables, por lo que el *matching* se convierte en una tarea casi artesanal de prueba y error que requiere una persona con mucha experiencia en el campo en el que intervienen las políticas que se evalúan y que sepa interpretar de forma correcta los problemas y sus posibles soluciones.

Una primera decisión que se debe tomar es el número de parejas por cada empresa con ayudas para la innovación (unidad tratada). En el caso de escoger para cada una de las tratadas una sola pareja o empresa de control, se seleccionaría el vecino más cercano; pero, desde un punto de vista estadístico, se puede suponer que en los estudios donde se utilizan más de una empresa de control la representatividad de este grupo aumentaría. La posibilidad de elegir uno o más casos de control depende del tamaño de la muestra. En muestras grandes, pueden coexistir muchas con y sin ayudas con un PS muy parecido y, por lo tanto, usar más de una empresa de control, pero en las muestras pequeñas podría ser imposible.

No cabe duda de que elegir la empresa más parecida a la tratada influye positivamente sobre la aleatoriedad y minimiza un posible sesgo en el valor del impacto, debido a que se usa la observación de mayor similitud como la de control, aunque resulta que, al mismo tiempo, se pierde parte de información disponible. En otras palabras, utilizando una sola pareja, se ignora una información potencialmente rica que podrían ofrecer las demás empresas con una similitud muy parecida, pero, en términos del *propensity score*, algo menor. En conclusión, se debe apreciar si se prefiere un menor sesgo en la aleatoriedad, usando una empresa como pareja, o una estimación más eficiente del efecto basado en la máxima cantidad de información disponible, utilizando más de una de control por cada empresa tratada.

Otra forma para mejorar la similitud de ambos grupos (GT y GC) –utilizada frecuentemente– sería la aplicación de un límite de distancia máxima¹¹ entre la empresa tratada y de control. Especialmente, en el caso de muestras

¹¹ Aplicando, en términos de *propensity score*, un *caliper*, lo que en español significa una calibración.

pequeñas, el vecino más cercano¹² puede ser muy diferente y, por lo tanto, aquellas emparejadas serían menos “similares”. La inclusión de una distancia máxima mejoraría la aleatoriedad de las ayudas porque las empresas serían más parecidas, pero, al mismo tiempo, puede ocurrir que para algunas no se encuentre ninguna empresa de control dentro del límite establecido, lo que restringiría esa observación de la estimación del efecto. Es decir, ajustando la distancia máxima, mejora el problema de endogeneidad (problema de selección), pero podría implicar el incumplimiento del supuesto de área de soporte común, debido a que solo se emparejan aquellas que presentan PS similares, renunciando a una parte de la muestra de las empresas tratadas. Otra forma de limitar o aleatorizar las diferencias sería exigir que solo se emparejen las que tengan ciertas características, como empresas del mismo sector, tamaño o año.

Un tercer tipo de ajuste sería el emparejamiento mediante el *radius matching*, donde se excluyen las parejas que se encuentran fuera de un rango máximo de la diferencia entre el PS de las empresas tratadas y de control (*caliper*). Aplicando este método, se “empareja” con aquellas tratadas a todas las empresas que se encuentran dentro del límite marcado. La diferencia con el límite máximo es que el radio *matching* implica que para cada empresa tratada el número de casos de control puede ser distinto y depende del número que esté dentro del radio establecido. Mientras tanto, la distancia máxima implica establecer el mismo número de casos de control para cada empresa tratada y, de no haber ninguna con un PS suficientemente cercano, se excluye la observación del estudio.

El cuarto tipo de ajuste se basa en la aplicación, o no, de una ponderación al estimador, según la distancia en el PS de la tratada *versus* la de control. En el caso de optar por usar múltiples parejas (es decir, usar para cada empresa tratada dos o más), se puede ponderar la aportación de cada caso, según la distancia entre el PS de la empresa tratada y el PS de la de control. En este caso, en el momento de estimar el efecto de las ayudas a las empresas, se concede más importancia a las que cuentan con un PS casi igual y, según se aumenta la diferencia en el PS, se concede cada vez menos peso, por lo que el efecto medio está basado en una media ponderada.

¹² La distancia máxima se puede combinar con el emparejamiento con más de una empresa de control, siempre que se encuentren casos adecuados dentro del *caliper*. Esto implicaría perder empresas tratadas si dentro del *caliper* no hay suficientes empresas de control. En este caso, se recomienda comparar los resultados reduciendo el número de empresas de control.

La opción alternativa sería optar por un ajuste tipo Kernel, aplicando una solución no paramétrica que compara cada empresa beneficiada con una media ponderada del impacto, utilizando todas las que no tienen ayudas. De nuevo, se asigna un peso mayor a las de control con un PS cercano a la empresa beneficiada y un peso menor a los más alejados.¹³ Es decir, se asigna un mayor peso (credibilidad) a los casos más parecidos a la unidad tratada dentro de una franja de diferencia máxima. Este método reflejará una varianza menor –mejorando el nivel de solapamiento–, pero, a cambio, incluye emparejamientos muy pobres, lo que aumentaría el sesgo. Como siempre, eligiendo más empresas, aunque a mayor distancia, se gana en el área de solapamiento, pero se pierde en el sesgo, debido al uso de casos menos similares.

Una última opción es el emparejamiento por estratificación o intervalos, donde se divide al área de solapamiento común en diversos intervalos (de los PS) y para cada intervalo se calcula el impacto como la media simple, y la media para la muestra sería una media ponderada, según el número de parejas por cada intervalo. La decisión sobre el número de intervalos –su recorrido– no está claramente establecida; Rajeev Dehejia y Sadek Wahba [1999] han usado algunos donde el PS de ambos grupos o los intervalos sean iguales.

Las preferencias para cada una de las opciones mencionadas (*kernel*, *caliper* y la estratificación) no tienen una respuesta clara, sino que depende de las particularidades de la muestra. Entre otros aspectos, depende de la amplitud del área de solapamiento común (existen muchos o pocos casos similares de ambos grupos GC y GT). En el caso de muestras asintóticas (infinitos), cualquiera de ellas debería llegar al mismo resultado, pero en el caso de muestras limitadas (siendo lo común en los estudios econométricos) se generan resultados diferentes, por lo que se debe optar por uno de ellos y justificar por qué se selecciona una opción concreta. De todos modos, se pueden ofrecer distintas opciones, comparar los resultados de cada uno

¹³ El *kernel* “dibuja” una función de distribución (por ejemplo, normal) alrededor de la unidad tratada y pondera cada uno de los casos, según su distancia. De tal forma, calcula la media ponderada de todas las observaciones dentro del área de solapamiento de la empresa subvencionada. La ponderación de cada caso de control denominado Inverse Probability of Treatment Weighting (IPTW) se basa en la división $1/(1-\text{distancia en términos de propensity score})$ y el peso de las empresas tratadas en $1/\text{PS}$. De alguna forma, se corrige tanto la distancia en términos del PS de ambas (GT/GC) como para la probabilidad de obtener las ayudas por sí mismo.

y, si llegan a ser muy parecidos, no será necesario seleccionar alguno en concreto, de hecho, confirmaría la robustez del estudio.

Además de las opciones de los estimadores ponderados o el número de empresas de control para cada unidad tratada, existe otro aspecto del modelo que se puede ajustar: emparejamiento con o sin remplazamiento. La decisión al respecto depende, en parte, de la disponibilidad de los datos, especialmente en el caso de muestras pequeñas o muestras con pocas no tratadas. En tales casos, sería difícil encontrar para cada empresa tratada una de control, si se aplica el emparejamiento sin remplazamiento. Es decir, si impedimos que una de control sea emparejada en más de una ocasión, utilizándolas una única vez como empresa de control, estaremos permitiendo que el emparejamiento se establezca entre casos que no son similares. Además, la aplicación de la opción sin remplazamiento implica que, una vez que se haya utilizado una de control, esta ya no puede ser utilizada como el “vecino más cercano” de otras empresas tratadas. En los estudios, puede ocurrir que la más cercana de muchas de las tratadas sea la misma empresa. Se podría imaginar el caso de que, para unas 15 empresas, el caso de control más parecido –en términos de PS– es la misma. En el caso de definir un modelo sin remplazamiento, resulta que, una vez utilizada ésta, las empresas de control para las otras 14 se basan, en definición, en un PS cada vez más alejado de sus PS, por lo que podríamos suponer que hay más sesgo en el efecto estimado. La ventaja de utilizar un método con emparejamiento y remplazamiento es que cada empresa tratada se empareja con la más parecida, evitando, así, un posible problema de sesgo. Sin embargo, al mismo tiempo, se podría debatir la idoneidad de que un solo caso representa a muchas, sobre todo, cuando tal empresa de control tiene un valor muy alto en la variable de medir el impacto. Una opción sería combinar el caso sin remplazamiento, con una distancia máxima del PS, aunque en este caso se excluye un conjunto de empresas concretas, generando un problema respecto a la generalización posterior de los resultados.

Emparejamiento: un proceso continuo de prueba y error

Una vez seleccionadas las variables y el “estimador” específico se inicia el proceso de emparejamiento. Se recomienda empezar con una especificación simple mediante un modelo lineal con pocas variables –siguiendo el criterio de parsimonia– para decidir si esta especificación es lo suficientemente buena. Para ello, se analiza si el modelo cumple los primeros dos supuestos:

la aleatoriedad de la distribución entre ambos grupos y el área común de solapamiento.

Como se explicará en detalle en la siguiente sección, para confirmar si el modelo cumple los requisitos, se analiza la media y varianza del *propensity score*¹⁴ y de cada una de las variables del modelo de asignación. La media y la varianza de estas variables deben ser estadísticamente iguales para que ambos grupos (de tratamiento y de control) puedan ser considerados iguales. Si el modelo no logra este equilibrio, se debe ajustar el proceso de emparejamiento a partir de las siguientes opciones:

1. Eliminar variables del modelo o reducir el número de categorías de ciertas variables para minimizar el problema de multidimensionalidad (véase sección 4.3).
2. Ajustar el algoritmo de emparejamiento exigiendo una distancia máxima en términos de PS para que las dos empresas que se quedan emparejadas sean lo más parecidas posible u otros ajustes en el algoritmo de emparejamiento (véase sección 4.4).
3. Revisar la muestra respecto a casos o empresas atípicas e influyentes y tratarlas.
4. Analizar el área de solapamiento para detectar y/o eliminar aquellos casos para los que no existen empresas de control adecuadas (falta de área de solapamiento).

Cualquier opción implica repetir los procesos de emparejamiento y análisis de control de igualdad entre ambos grupos. Es decir, cualquier cambio que se realiza implica comprobar otra vez si el nuevo modelo cumple los requisitos de aleatorización.

La primera opción trataría de ajustar el conjunto de variables incluidas en el modelo. Una opción fácil para identificar las variables problemáticas o no idóneas sería la creación de subconjuntos de empresas por intervalos, según su probabilidad de obtener ayudas y repetir los análisis para estos intervalos. En el caso en que una determinada variable no cumpla el requisito de igualdad de medias para una determinada submuestra, se procedería a crear nuevos intervalos más pequeños y a repetir los análisis. Si una variable

¹⁴ Se analiza también la distribución del PS de ambos grupos a partir del gráfico de distribución.

refleja un desequilibrio en diversos intervalos habría que analizar la idoneidad de la misma. Por un lado, se podría recodificar la variable, incluir términos de orden superior y/o interacciones de esta variable con otros indicadores. También se podrían simplificar los valores de la variable; por ejemplo, convertir variables de valores continuos en variables que reflejan los valores en unos pocos intervalos o binarias. Esta opción disminuye el número de valores (dimensionalidad) y permite reflejar una relación no lineal. Otras formas de “linealizar” la variable sería el uso de logaritmos, lo que implicaría disminuir la varianza en los valores del mismo.

Suponiendo que las variables incluidas en el modelo son las que nos indica la teoría y no falta ninguna variable relevante (debido a que sean inobservables o no han sido observadas), pero existe un problema en la igualdad de medias o varianzas, se podría optar por ajustar el algoritmo de emparejamiento para medir el impacto. Como se explicó en la sección anterior, hay diversas opciones, aunque algunas de ellas se recomienda usarlas siempre; especialmente, la exigencia de que la diferencia en el PS de una empresa de control no pueda superar cierto umbral. Otra opción, si se dispone de muchos casos, sería utilizar dos o más de control por cada empresa beneficiada. Incluso, hay alguna opción que permite usar a todas como empresa de control, ponderando su “efecto”, según la distancia en el PS. Las ventajas y limitaciones de cada una de ellas se han explicado en la sección anterior.

La tercera y cuarta opciones implicarían limitar el número de los casos de la muestra, eliminando las empresas con valores atípicos. Como siempre, en el momento de estimar modelos econométricos, se debe revisar si existen valores atípicos en la base de datos que pudieran generar el incumplimiento de los supuestos. Los datos atípicos son susceptibles de distorsionar los resultados, debido a esto es conveniente realizar un análisis para identificarlos y corregir su efecto anómalo. La identificación de estos datos no siempre resulta fácil; además, existen diversos criterios sobre a partir de qué “valor” una empresa se considera un *outlier*. En realidad, depende de la consideración del investigador decidir, para cada variable, qué valores se consideran como un dato atípico. La medida genérica de tratamiento consiste en la eliminación de los valores atípicos por medio de la exclusión automática de los casos con valores que excedan ciertos límites. Es habitual eliminar de la muestra 1 % de los valores extremos en los dos lados de la distribución o eliminar solo los del extremo superior. Otra forma es identificar, mediante los procedimientos adecuados, los casos con valores atípicos para algunas variables concretas, con el objetivo de la eliminación de las observaciones específicas que presentan tales valores.

Una alternativa a la eliminación de datos –especialmente en el caso de muestras con relativamente pocos casos– es la técnica de Winsoring, que permite mantener todas las observaciones, realizando una sustitución de los datos atípicos por el siguiente valor más alto o más bajo. Es decir, se sustituiría un porcentaje de los datos extremos por otro valor.¹⁵ Entre las ventajas de este procedimiento se encuentra mantener el tamaño de la muestra –de gran valor cuando éstas son reducidas– y la eliminación del efecto de los datos atípicos, consiguiendo una desviación típica menor a la que se obtendría eliminando observaciones.

Finalmente, se debe analizar el área de solapamiento para detectar y/o eliminar aquellos casos para los que no existen empresas de control adecuadas (falta de área de solapamiento). Es decir, se deben revisar o detectar aquellos subconjuntos de empresas para los que no existen suficientes casos de control, dicho de otro modo, para los que no existen (suficientes) empresas sin ayudas con un *propensity score* cercano. La exclusión de éstas mejoraría el análisis, pero, al mismo momento, implica limitar el potencial de generalizar los resultados. En la revisión de la literatura empírica (véase capítulo 5, sección 5.2), se ha detectado que ninguno de los estudios comprueba el problema de área común de solapamiento de forma amplia. Existen algunos estudios¹⁶ que excluyen –por precaución– cierto tipo (aquellas con menos de un número concreto de empleados, pertenecientes a ciertos sectores de difícil emparejamiento, etc.). Por otro lado, se ha detectado que muchos estudios limitan el número de casos antes de realizar el PSM, eliminando empresas con un gasto en I+D especialmente alto (por ejemplo, se consideran gastos anómalos los mayores a 1.5 veces la cifra de ventas o con intensidad de gasto –gasto sobre ventas– mayor a 10). Otra forma de tratar por precaución la posible existencia de valores atípicos es eliminar las empresas cuyo PS está por encima o debajo de cierto valor límite. Ambas formas se basan en una argumentación teórica *a priori* sin entrar en un análisis pormenorizado de los resultados. En general, se utilizan unas reglas estadísticas, excluyendo las que no se ajustan a los modelos.

¹⁵ En el caso del gasto en I+D sobre ventas (GIDv), esta técnica asignaría a 1 % de las empresas con un mayor nivel de GIDv el valor de la empresa con el valor más alto, de 99 % de las restantes.

¹⁶ Por ejemplo, Czarnitzki y Hussinger [2004] no toman en cuenta a las empresas que tengan más de 3 000 empleados, ya que las consideran únicas en el mercado; Hud y Hussinger [2015] restringen a aquellas con más de 250 empleados; Huergo y Moreno [2017] eliminan a las que cuentan con una ratio de gasto sobre ventas superior a 1 000 %.

4.4.2. Las pruebas para comprobar la correcta aleatorización (ausencia de sesgo de selección)

Como se ha indicado, el Propensity Score Matching tiene como objetivo simular un análisis cuasiexperimental mediante datos empíricos. Se intenta solucionar el problema de sesgo de selección aleatorizando la asignación del tratamiento referente a todas las características relevantes. Las pruebas para comprobar el sesgo de selección analizan la sensibilidad de los resultados del balanceo aleatorio bajo diferentes algoritmos (modelos de emparejamiento) o la eliminación o inclusión de nuevas variables o variables transformadas. Como se ha explicado, en el caso de intentar emparejar exactamente las empresas por medio de muchas variables, posiblemente no se encuentren parejas, o, por lo menos, no para todo tipo, por lo que se usa el *propensity score*, la probabilidad de obtener ayuda, independientemente del hecho de si obtienen ayudas o no. Es decir, habrá algunas con una alta probabilidad, pero que no participan, y otras con una baja probabilidad teórica que sí han obtenido ayudas. El método de emparejamiento se basa en el supuesto de que las empresas con el mismo *propensity score* son iguales. Para comprobar este supuesto, se contrasta la diferencia en la media y la varianza de cada grupo (GT y GC) antes y después del emparejamiento, tanto en el PS como en cada una de las variables del modelo. Es decir, no se analiza la igualdad de cada una de las empresas en concreto, sino la igualdad de la distribución del PS o cada variable en los dos grupos, debido a que el efecto estimado es la diferencia del valor medio de la variable relevante en los dos grupos. Además, se compara la distribución del PS para ambos grupos tanto gráficamente como mediante un test estadístico.

Existen algunos test estadísticos que comprueban la adecuación del balanceado controlando la igualdad de ambos grupos (GT y GC) en términos de su *propensity score*. El test más comúnmente utilizado sería comparar la media del *propensity score* (PS) de ambos grupos y –mediante un gráfico de densidad– de su distribución. Se incluye en un solo gráfico de distribución para los dos grupos y la curva de ambos debe ser casi idéntica. En el test de igualdad de la media, varianza y distribución del *propensity score*,¹⁷ no

¹⁷ En muchos estudios, se presenta el gráfico de densidad y se decide su idoneidad, basándose en una revisión ocular, pero, para ser más rigurosos, se podría incluir la prueba de Kolmogorov-Smirnov de igualdad de distribución (si en el $K - S$ el $P > 0.05$ no se rechaza la hipótesis nula de que las distribuciones son iguales). Por lo tanto, se puede considerar que el emparejamiento ha sido exitoso, ya que las diferencias no son estadísticamente significativas.

puede haber en ningún intervalo una distancia entre ambas curvas. En el caso de que haya en un nivel de PS o intervalo muy concreto, se debe analizar a qué se debe esta diferencia y si esto implica un sesgo de selección y/o el incumplimiento del supuesto de un área de solapamiento común para cierto grupo de empresas. La desigualdad del PS de un grupo de ellas en los intervalos extremos se ajusta regularmente mediante la exclusión de ellas como una solución a unos valores atípicos de las mismas.

Otra forma de control del balanceado se basa en comparar las medias y varianza de cada grupo para cada una de las variables del modelo antes y después del proceso de emparejamiento. En este caso la diferencia en las medias para cada variable debe ser cero o estar muy cercana a este valor.¹⁸ Además, la diferencia en términos de la varianza (ratio de varianzas) entre ambos grupos –después del emparejamiento– debe ser igual o cercana a uno; esto nos indica que los valores medios son obtenidos con distribuciones parecidas y no por el efecto de valores extremadamente grandes y pequeños. La diferencia en medias estandarizadas y la varianza para cada una de las variables nos indica, en términos globales, en qué medida hay igualdad en ambos grupos (GT y GC). Además, la reducción en la varianza nos indica de forma indirecta la mejora del área de soporte común, ya que refleja el recorrido y la distribución de cada una de las variables respecto a la media. Es decir, no se analiza la igualdad de cada una de las empresas, sino la igualdad de la distribución de cada variable en los dos grupos. En el caso de que la media o varianza de una de las variables sea distinta, podría implicar un mal emparejamiento, generando, por un lado, un sesgo y, al mismo tiempo, podría indicar un problema de área común de solapamiento.

Aparte de la comparación de los grupos por cada variable de control, es necesario evaluar los indicadores de balance después del emparejamiento para comprobar si este ha sido correcto. Para esto, resulta útil analizar el sesgo estandarizado (*standardized bias*), que se computa para cada variable de control como la diferencia en las medias muestras de los grupos tratados y de control emparejados como un porcentaje de la raíz cuadrada del promedio de las varianzas muestrales en los dos grupos. Este análisis se realiza para los dos grupos y no para cada variable, es decir, se considera el

¹⁸ Para su comprobación, será necesario realizar un test de igualdad de medias entre los grupos evaluados. Para que el emparejamiento sea considerado correcto, no se debe rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias; es decir, se espera un p-valor mayor a 5 por ciento.

sesgo medio estandarizado (*mean bias*) y el sesgo mediano estandarizado (*med bias*). Se considera suficiente una reducción de 3 o 5 % después del emparejamiento. Además, se deben analizar los indicadores de los modelos de la estimación del PS antes y después del emparejamiento. Como en todos los modelos de regresión, el Pseudo R^2 de los modelos de regresión logística también muestra el poder explicativo de las variables de control en el momento de identificar su influencia sobre la probabilidad de participación en los programas de apoyo. Una vez emparejadas correctamente las empresas, no debería haber diferencias en la distribución de las variables de control entre ambos grupos y, por tanto, el Pseudo R^2 debería ser muy bajo –tender a cero–. El segundo indicador es el test de ratio de verosimilitud (LR) de insignificancia conjunta de todos los regresores. El test debería rechazarse antes del emparejamiento y no después del mismo, ya que proporciona información acerca de la capacidad de las variables para predecir si las empresas han recibido ayudas o no. En resumen, las variables que son capaces de predecir la participación antes del emparejamiento no deberían ser significativas cuando estimamos el modelo solo con las emparejadas.

Otro test habitualmente utilizado es el test de balanceo¹⁹ sobre identificación. Esta prueba de “identificación” se refiere a la selección o asignación correcta de las empresas de control, de tal forma que sean iguales o similares a las que cuentan con apoyo a la innovación. Este test contrasta si las medias ajustadas del modelo de las variables son estadísticamente iguales entre ambos grupos. En realidad, se aplica una comparación de diferencias estandarizadas y ratios de varianza de cada una de las variables de control entre los grupos tratados y de control. Si la Prueba χ^2 no es significativa,²⁰ implica que el GC y GT están balanceados, ya que las diferencias entre ambos grupos son estadísticamente insignificantes.

El análisis del emparejamiento debe continuar con el análisis gráfico. Se debe evaluar la distribución del PS antes y después del emparejamiento para comprobar que realmente las unidades emparejadas son iguales y, por lo tanto, que el efecto estimado es idóneo. Además del análisis visual, resulta

¹⁹ Rosenbaum y Rubin [1983] muestran que si se obtiene la misma distribución (balanceo) de covariables para las unidades tratadas y de control y, además, el tratamiento es totalmente ignorable, entonces, el valor medio de la muestra sería una estimación insesgada del tamaño del efecto.

²⁰ Si la Prueba χ^2 es significativa ($P < 0,1$) las diferencias entre ambos grupos son significativamente distintas de 0 y si la Prueba χ^2 no es significativa ($P > 0,1$) las diferencias no son estadísticamente distintas de cero.

conveniente una evaluación analítica de la igualdad de distribuciones; por ejemplo, estimar el test de Kolmogorov-Smirnov (K-S).²¹ Otro análisis visual sería la comparación de los valores de ambos grupos, por cuartiles, mediante los llamados *box plots*. Después del *matching* los valores de las medias y los cuartiles 25 y 75, deben ser parecidos en ambos grupos. Los valores de las colas (máximas y mínimas) podrían diferir algo, pero deben ser pocos casos. Su existencia podría indicar un problema de valores atípicos.

4.5. *Supuesto de la independencia de efectos a nivel individual (SUTVA)*

Hasta ahora se han presentado diversas formas de ajustar los modelos para asegurar dos aspectos básicos, la aleatoriedad de la asignación a ambos grupos (PC y GT) y asegurar la existencia de un área de solapamiento. Sin embargo, existen dos supuestos más que se deben tener en cuenta para la correcta estimación del impacto o generalización de los resultados; el primero de ellos es el supuesto de independencia de efectos a nivel individual (SUTVA).²² Como se ha indicado en el capítulo 3, el SUTVA se refiere a dos componentes [Rubin, 1980]: la ausencia de interacción entre las unidades de observación, en el sentido de que el tratamiento (ayuda) para una empresa no influye en el comportamiento de las demás. Es decir, para que la estimación del impacto sea correcta o insesgada, las ayudas a la I+D empresarial no deben tener efectos indirectos en el gasto en I+D de otras empresas apoyadas y, especialmente, las no tratadas. El segundo componente se refiere a que el efecto es igual para todas las unidades tratadas. Este supuesto exige la existencia de un efecto medio idéntico en todo tipo de empresas. Tal cumplimiento se puede ver violado en el caso de que la intensidad de ayudas que reciben éstas es muy distinta o que las ayudas proceden de programas de apoyo con una orientación y exigencia tecnológica desigual de los proyectos subvencionados, con diferentes criterios de asignación y de requisitos de los costes subvencionables, aunque

²¹ Esta prueba se utiliza para contrastar la hipótesis nula de que dos muestras independientes proceden de la misma población. Se basa en las diferencias entre las frecuencias relativas acumuladas hasta los mismos puntos de corte correspondientes a dos muestras. En el caso de evaluar el emparejamiento, se espera que el estadístico de contraste sea bajo, es decir, que no se pueda rechazar la hipótesis nula.

²² En inglés *stable unit treatment value assumption* [Rubin, 1980; Cox, 1958].

estos aspectos se pueden aleatorizar, incluyendo este tipo de variables en el proceso de emparejamiento. Tanto las empresas tratadas como las de control deben reaccionar igualmente a los demás acontecimientos que puedan afectar a la variable que mide el impacto. Otra opción para asegurar que se cumple el SUTVA sobre las demás variables es el uso de retardos en el proceso de emparejamiento.

Por lo tanto, el SUTVA también resulta importante en el caso de medir de forma simultánea el impacto de distintos instrumentos (*multi-treatment effects* o *policy mix*) y/o cuando se analiza el impacto diferenciado, según distintas intensidades de ayuda. Respecto al primer aspecto, la descentralización regional y, simultáneamente, la “europeización” de las ayudas a la I+D y la innovación provocan que haya múltiples niveles administrativos que ofrecen ayudas para una misma actividad. De hecho, las empresas españolas pueden solicitar ayudas a la innovación en organismos europeos, nacionales y, además, regionales. Algunas de estas ayudas son mutuamente excluyentes; es decir, si recibes un tipo de ayuda, ya no puedes aplicar a otras, o, al revés, programas nacionales que ofrecen ayudas complementarias a aquellas que hayan obtenido cierto tipo de ayudas europeas. Estas particularidades habría que tenerlas en cuenta en el diseño de los estudios de evaluación. Aplicando el método de *matching*, se está asumiendo que el efecto de los distintos programas es el mismo y, además, que participar en más de un programa también presenta el mismo efecto; en el caso de que los efectos fuesen distintos, se está incumpliendo el SUTVA.

El ejemplo típico es el análisis de un cierto tipo de instrumento (por ejemplo, las ayudas regionales) donde las de control son una mezcla de empresas sin ningún tipo de ayudas y aquellas que cuentan con ayudas nacionales y/o europeas. Se deben ajustar los modelos para identificar el efecto de la recepción de un tipo de ayudas y aislar su efecto del impacto de otro tipo de ayudas –supuesto de ausencia de variables confusoras–, por lo que es necesario estimar los efectos, teniendo en cuenta los distintos tipos de ayudas y la participación de múltiples programas. Por otro lado, existen estudios que indican que el impacto es distinto, según la intensidad de las ayudas. Aparentemente, las empresas con una intensidad muy alta (cantidad de la ayuda dividida por el gasto en innovación) [Guellec *et al.*, 2003; Vanino *et al.*, 2019; Heijs *et al.*, 2020] o una cantidad absoluta alta [Görg y Strobl, 2007; Dai y Cheng, 2015] tienen un efecto en término de adicionalidad menor. Teniendo en cuenta que la mayoría de los estudios no consideran la

intensidad de las ayudas –a menudo debido a la falta de información–, podría existir un incumplimiento del SUTVA.

Si el investigador dispone de la información necesaria de los programas y de la intensidad de las ayudas, se puede resolver el problema de los *multi-treatment effects* relativamente fácil. La principal diferencia entre un análisis de múltiples tratamientos y uno con un solo tratamiento es la composición de los grupos tratados. No se realiza la estimación del ATET para un solo grupo de tratamiento, sino que habrá que estimar múltiples modelos, considerando tantos grupos como combinaciones de los programas de ayudas sean posibles. Es decir, es necesario considerar grupos excluyentes –para evitar un sesgo en la estimación de los efectos– que solo participen de una ayuda, los que participen de dos ayudas y, finalmente, los que participen de todos los programas evaluados. Después de construir los grupos de tratamiento, se debe calcular el PS. En este paso, es necesario realizar la estimación utilizando un modelo multivariante que nos permita estimar los PS, teniendo en cuenta la interacción entre las distintas ayudas, debido a que de realizar estimaciones independientes se producirían sesgos en la estimación del efecto, ya que se estarían emparejando empresas que no son realmente iguales. Es decir, al estimar el PS para cada ayuda por separado, asumimos que se puede aislar la probabilidad de participar en cada ayuda sin tener en cuenta las otras.

Una vez estimados los PS y teniendo en cuenta la interacción de las ayudas, se procederá a la evaluación del efecto para cada una de ellas. Es necesario que todos y cada uno de los emparejamientos se evalúen para comprobar el correcto emparejamiento, cumpliendo los supuestos básicos del modelo. En el caso de un efecto diferenciado, según la intensidad de las ayudas, se crearían diversos intervalos de intensidad. Para estimar el impacto para cada uno de estos intervalos, se pueden considerar hipotéticamente programas distintos, aplicando el método que se acaba de explicar respecto a los *multi-treatment effects* o *policy mix*.

Por último, el estudio debe cumplir el quinto supuesto mencionado: la igualdad de tendencia básica. Para asegurar una estimación insesgada de las ayudas tanto las empresas tratadas como las de control, deben reaccionar de igual forma a los demás acontecimientos que puedan afectar a la variable que mide el impacto (el gasto en I+D y otras actividades de innovación), aunque este supuesto solo se puede asegurar mediante un buen “emparejamiento” en combinación con argumentos teóricos.

4.6. *Ventajas y limitaciones del Método PSM y otros modelos econométricos versus las encuestas ad hoc*

Siendo el objetivo de este libro-manual la presentación del Método Propensity Score Matching como forma de evaluar las políticas públicas, se cierra este capítulo con una revisión de las ventajas y limitaciones de este método tanto en su aplicación como en su relación con otros métodos de evaluación. Primero, se revisa la idoneidad de las encuestas de innovación como fuente de información secundaria para evaluar las políticas en comparación con las encuestas de evaluación *ad hoc*, diseñadas y aplicadas especialmente para este objetivo (4.6.1). En segundo lugar, se contrastan los tres métodos econométricos más comunes para tratar el problema del sesgo de selección: PSM, Variables Instrumentales y el modelo de Heckman en dos etapas (sección 4.6.2).

4.6.1. Evaluación de las políticas con base en datos secundarios (encuestas de innovación) *versus* el diseño de encuestas *ad hoc*

A continuación, se revisa la idoneidad de las encuestas de innovación como fuente secundaria de información para realizar estudios de evaluación en comparación con el diseño de las encuestas *ad hoc*. En relación con las encuestas de innovación, se debe considerar que, en las basadas en “datos secundarios”, la información no está especialmente reunida para los estudios realizados ni han sido diseñadas por el propio investigador con base en las hipótesis a contrastar.²³ Por lo tanto, los datos recolectados pueden estar muy lejos de los intereses del investigador o evaluador.

Un aspecto destacable, que limita el uso de los datos secundarios, sería la escasa información de algunos elementos relevantes que podrían afectar al impacto, especialmente en el caso de las encuestas de innovación. Resulta que estas ofrecen información amplia sobre las actividades innovadoras, mientras que las variables referentes a la situación financiera y el nivel de internacionalización de la empresa o sobre los mercados y su dinamismo son

²³ En nuestro caso, la existencia de un impacto positivo en términos de adicionalidad tanto financiera y tecnológica, de resultados como de comportamiento.

mucho más escasas. Algunos de estos aspectos podrían afectar directamente el impacto de las ayudas, por lo que su inclusión sería importante. Es decir, los estudios basados en datos indirectos o secundarios, no especialmente recopilados para la evaluación, ofrecen un análisis más restringido.

Una ventaja teórica de las encuestas secundarias podría ser su fusión con los datos administrativos sobre las empresas subvencionadas que tienen las agencias públicas encargadas de su gestión, pero no se ha detectado ningún estudio que combine ambos tipos de datos.²⁴ Por lo tanto, una posible línea de investigación futura sería la combinación de la Encuesta de Innovación (EdI) –como base de datos secundarios– con datos de las agencias que asignan ayudas²⁵ o combinarla con información obtenida de otras encuestas secundarias realizadas por los Institutos Nacionales de Estadística o de Investigación. En este campo, sigue habiendo muchas oportunidades de ampliar las investigaciones, pero su viabilidad depende, por un lado, de la colaboración de los Institutos Nacionales de Estadística y de las agencias, y, por otro lado, del cumplimiento legal del secreto de los datos aportados por las empresas. Es decir, una línea de investigación futura sería la búsqueda de formas de superar las limitaciones del uso de la información recogida en las Encuestas de Innovación conjuntamente con datos procedentes de otras fuentes de información.

Sin embargo, no cabe duda de que, a pesar de sus limitaciones, la aparición de las encuestas de innovación en las últimas dos décadas –y el acceso público a los microdatos para un conjunto de países– implica un cambio radical en la evaluación de las ayudas a la I+D e innovación empresarial, ya que ofrecen información confiable para poder estimar el impacto de las ayudas mediante modelos econométricos, simulando métodos experimentales y comparando el comportamiento de las empresas con y sin ayudas para la innovación. Entre los métodos más utilizados, se encuentran el Propensity Score Matching, el Método de Variables Instrumentales y el Método de corrección de Heckman.

Con respecto a las encuestas *ad hoc*, se ha detectado un número ínfimo de evaluaciones de este tipo que coexisten con un amplio número de estudios basados en datos secundarios, aunque, en realidad, no se sabe cuántos estu-

²⁴ El problema es que los datos de estas encuestas están anonimizados, por lo que solo se pueden fusionar con la ayuda de los Institutos Nacionales de Estadística.

²⁵ Entre otros, la cantidad de la subvención, el porcentaje del coste total del proyecto subvencionado, la duración del proyecto o el número de proyectos subvencionados.

dios *ad hoc* existen porque forman parte de la literatura “gris” [Heijts, 2000], es decir, existe una tendencia a no difundir los resultados de estos estudios por diversos motivos. Primero, porque a menudo las agencias responsables de la PCTI no se preocupan realmente de su publicación; además, aunque estén publicados, muchos están elaborados en el idioma minoritario del propio país donde se ha realizado el estudio. No se considera posible que las agencias tengan la intención de mantener los resultados en secreto, pero para ellos tales estudios no representan un trabajo científico que quieran publicar, sino que encargan tales estudios para analizar si sus políticas se pueden justificar –evaluando si su coste es rentable para la economía en su conjunto– y para mejorar su implementación. Es decir, utilizan los resultados más bien por razones internas respecto al diseño de medidas futuras de la PCTI, mientras que no se preocupan por la difusión de los resultados. Se puede distinguir entre dos tipos de estudios al respecto, aquellos encargados al mundo académico, en cuyo caso los investigadores se preocupan por publicar los resultados por interés en el tema o para mejorar sus *curriculum vitae*²⁶ mediante publicaciones en revistas de primer nivel. Otros estudios han sido realizados por consultores o por las propias agencias de la PCTI para el uso interno y, como ese ha indicado, muy frecuentemente no se preocupan mucho por publicar los resultados.

La gran desventaja de los estudios basados en encuestas *ad hoc* es –además de su alto coste– el hecho de que están, en general, dirigidos solo a las empresas subvencionadas y que, a menudo, no tienen en cuenta aquellas no apoyadas. Además, el impacto se mide esencialmente por medio de las opiniones de las empresas que recibieron las ayudas y no con resultados empíricamente contrastados. Las subvencionadas tienen incentivos para sobreestimar el impacto, en particular, si el estudio está abiertamente promovido por las agencias que las financian, ya que las primeras pueden pensar que, en el caso de que indiquen un impacto marginal o no existente, la agencia eliminaría el programa o las ayudas de esta empresa en concreto; es decir, las empresas tendrían incentivos para sobreestimar el efecto de las ayudas.

Por otro lado, la gran ventaja de las encuestas *ad hoc* es que permiten analizar diversas formas de impacto. No solo analizando el efecto sobre el gasto en I+D (adicionalidad financiera), sino también sobre la cooperación, la reorientación de los objetivos tecnológicos o resultados técnicos, el apren-

²⁶ Véanse los estudios de Heijts [2001; 2003] o Heijts y Buesa [2007].

dizaje (adicionalidad de comportamiento), etc. Otra ventaja se deriva de la posibilidad de combinar los resultados de la encuesta con datos administrativos para perfilar los rasgos de las empresas con un menor o mayor nivel de impacto, debido a que muchas de las encuestas *ad hoc* han sido promovidas por las propias agencias encargadas de la implementación de las ayudas. Esto permite analizar si el nivel de impacto está relacionado con las características de las ayudas obtenidas, como el volumen absoluto de la subvención recibida, la frecuencia con que se obtienen ayudas o el tipo de ayuda (subvenciones para proyectos individuales o de cooperación; ayudas para la I+D básica *versus* para el desarrollo tecnológico, etcétera).²⁷

Por todo ello, se puede concluir que ambos tipos de estudios –basados en encuestas *ad hoc* y en datos secundarios– se pueden considerar complementarios. Además, si fuera posible combinar los datos de ambas aproximaciones en una sola base de datos, se tendría un instrumento de evaluación muy potente.²⁸

4.6.2. Idoneidad del PSM respecto a otros métodos econométricos

En esta subsección, se trata de revisar de forma breve las ventajas del Método Propensity Score Matching sobre otros dos tipos de modelos econométricos que se han utilizado con cierta frecuencia para realizar estudios de evaluación, como el Método de Variables Instrumentales o el Modelo de selección de Heckman en dos pasos (Heckit).²⁹

Como se ha debatido en este capítulo, la medición de la adicionalidad financiera generada por las ayudas a la innovación empresarial es una tarea compleja que se debe regir por los criterios de la atribución causal, asegurando que la intervención estatal es el origen real de los cambios observados en un momento posterior a la aplicación de los incentivos. Esta tarea

²⁷ Para ejemplificar esta forma de combinar los datos y crear el perfil, según el nivel de impacto, véase Heijs [2001]; Heijs y Herrera [2007].

²⁸ En el caso de contar con tal combinación, se puede reducir drásticamente el tamaño (número de preguntas) de la encuesta *ad hoc*, de tal forma que aumentaría el porcentaje de empresas que contestan y los costes de su implementación.

²⁹ Como se acaba de indicar, será una revisión muy breve. Para más información sobre las diferencias –especialmente entre el Método PSM *versus* el de Variables Instrumentales–, se recomienda el libro *Mostly Harmless Econometrics: An Empiricist's Companion*, [Angrist, y Pischke, 2008].

se ve condicionada por la presencia de sesgos en la selección de las empresas beneficiarias, debido a que estas son muy diferentes entre sí.³⁰ Para corregir este problema, la literatura empírica dominante ofrece tres soluciones econométricas: el método de emparejamiento (PSM), las regresiones con el método de Variables Instrumentales (VI) y el Modelo en dos etapas de Heckman.

El modelo de selección de Heckman (conocido como Heckit) es un método de estimación en dos etapas, creado por James Heckman [1976; 1979], que ha sido desarrollado para superar el problema de selección, y ofrece un medio de corrección de las muestras no seleccionadas al azar. En realidad, es un método que corrige el problema de endogeneidad causado por la presencia de variables observables y no observables, basando la estimación en un sistema de dos ecuaciones correlacionadas: una para la selección y otra para la variable de interés.³¹ Sin embargo, y dado que las dos ecuaciones están correlacionadas, se requieren supuestos sobre la distribución, como una normal bivariada; si este supuesto no se cumple, las estimaciones serán inconsistentes. Por lo tanto, la principal ventaja del PSM sobre el método Heckit es que es una estimación paramétrica que no requiere supuestos sobre la relación entre la variable dependiente y los regresores.

Otro tipo de modelo que corrige el problema de selección sería el de VI,³² este método también corrige el posible sesgo generado por la ausencia de la información relevante que se ha omitido en el modelo o que se debe a posibles errores de medición. Como ya se ha indicado, el problema de selección implica que los modelos de regresión tradicionales producen estimaciones sesgadas e inconsistentes, que se podrían corregir con la inclusión de variables instrumentales. Tales instrumentos deben cumplir dos requisitos prin-

³⁰ La literatura empírica revela que las empresas innovadoras que reciben ayudas públicas gastan más en I+D, exportan más y tienen un mayor tamaño [Scott, 1984; Meyer-Krahmer, 1989; Heijs, 2000; Caliendo y Kopeinig, 2008; Heijs y Buesa *et al.*, 2020] que las que carecen de ayudas (véase también la sección 3.3). Los problemas de sesgo de selección están presentes en un gran número de problemas econométricos aplicados, por lo que la técnica de Heckman ha sido indispensable en econometría aplicada. De hecho, en 2000, Heckman recibió el Premio Nobel de Economía por haber inventado y desarrollado su metodología.

³¹ En el caso de la evaluación de las ayudas a la I+D e innovación, el primero se refiere a la distribución de las ayudas a la innovación y el segundo, a las distintas formas de adicionalidad.

³² Para una visión amplia del Método de Variables Instrumentales, véase Angrist y Pischke [2008] o el anexo 6.4.

cipales. Primero, el instrumento debe estar correlacionado con las variables explicativas endógenas que generan el problema de selección; en nuestro caso, con la variable que indica que una empresa obtiene ayudas a la innovación. Además, el instrumento no puede estar correlacionado con el término de error en la ecuación explicativa. Si fuera así, el instrumento tendría el mismo problema –un sesgo de selección– que la variable original que pretende predecir. El Método de VI tiene como ventaja que permite corregir el sesgo por la presencia de características no observables, pero requiere información adicional. Resulta que para cada una de las variables que refleja un problema de selección es necesario contar con al menos una variable instrumental para que el modelo pueda estimar el efecto de forma insesgada. Esto precisamente es la gran limitación que tiene este método, ya que resulta muy difícil –a veces imposible– encontrar variables que cumplan los supuestos de inclusión y exclusión y que, además, tengan concordancia con la teoría económica.

Una ventaja importante del Método PSM, respecto a los modelos de regresión con VI y el Heckit, es que estos últimos deben cumplir los requisitos típicos de una regresión tradicional,³³ mientras que el Método PSM es una estimación no paramétrica en la que no se requiere ningún cumplimiento de los supuestos sobre la distribución de los residuos. Otra desventaja es que el supuesto de independencia condicional (CIA),³⁴ en el que está basado el Método PSM, no puede ser contrastado directamente. Los trabajos asumen que la inclusión de un set amplio de variables de emparejamiento permite considerar que el CIA se cumple. Sin embargo, si no están incluidas todas las variables que determinan la participación, se debería considerar que el efecto es sesgado. Se puede decir que el Método PSM es, en esencia, como una regresión con controles, ya que controla –aplicando diferentes ponderaciones– todos los indicadores observables incluidos en el proceso de emparejamiento [véase Angrist y Pischke, 2008].

En realidad, se puede decir que las ventajas y desventajas del Método PSM *versus* el de Variables Instrumentales o de la especificación propuesta por Heckman sería comparar los modelos de regresión con controles o ponderaciones con los que no incluyen tal forma de corrección. Al respecto,

³³ Distribución normal, ausencia de multicolinealidad y homocedasticidad.

³⁴ *Conditional independence assumption* (CIA): el supuesto de independencia condicional requiere que las variables comunes que afectan la asignación del tratamiento y los resultados específicos del tratamiento sean observables.

una de las ventajas del PSM sería la acotación en el rango de variación de las variables de control, debido, especialmente, a la menor influencia de *outliers*.

Sin embargo, la principal desventaja del Método PSM es que corrige solo el sesgo causado por las características observables; es decir, no controla el efecto por los indicadores que no pueden ser observados, no han sido recogidos o no están disponibles para el investigador, mientras que el modelo de dos etapas y la regresión basada en VI sí corrige por variables no observadas, pero, en este caso, el problema es la necesidad de cumplir estrictamente los requisitos o supuestos típicos. Y en el caso de la ausencia de información relevante y de muestras pequeñas, el problema de cumplir estos requisitos se hace aún más patente.

En resumen, si el problema de selección está en las variables observables de las que se dispone la información, no hay problema, pero si esto se debe a indicadores no disponibles, tanto las regresiones con controles como el PSM tienen sesgo. Sin embargo, dicho sesgo sería mayor si se utilizara el modelo de VI o el de Heckman, en el caso de que la muestra no cumpla estrictamente los requisitos econométricos o cuando la muestra sea pequeña.

Como ya se ha indicado, el PSM es muy adecuado para muestras pequeñas con pocas empresas, siempre que haya para cada una de las que cuentan con ayudas un “clon” sin ellas. Una de las ventajas es que, incluso, si la muestra no es representativa, el PSM puede calcular el impacto para que aquellas empresas encuentren una pareja. En este último caso, los datos no se pueden generalizar, pero analizando las diferencias entre las subvencionadas con un “clon” y aquellas para las que no se ha encontrado una pareja adecuada, se puede definir para qué tipo los resultados serían representativos, lo que permitiría sacar conclusiones muy útiles para mejorar el diseño de las ayudas para este grupo de empresas.

No cabe duda de que para el caso de México se dispone de una base de datos con un número de observaciones relativamente pequeño, es decir, una muestra pequeña. Por lo tanto, la utilización del método PSM en este caso estaría más que justificada, pero es un método complementario a las otras dos formas de solucionar el problema de selección. Por ello, se recomienda utilizarlos de forma conjunta –como se verá en el capítulo 6– para comprobar si los resultados de las tres formas de evaluación son similares.

REFERENCIAS

- Angrist, Joshua & Pischke, Jörn-Steffen [2008], *Mostly Harmless Econometrics: An Empiricist's Companion*, Princeton, Oxford, Princeton University Press.
- Bogliacino, Francesco & Pianta, Mario [2016], "The Pavitt Taxonomy, Revisited: Patterns of Innovation in Manufacturing and Services", *Economia Politica*, 33(2): 153-180.
- Boulding, Kenneth [1956], "General Systems Theory-The Skeleton of Science", *Management Science*, 2(3): 197-208.
- [1966], *Economic Analysis. Microeconomics*, London, Harper & Brothers Publishers.
- Briones, Javier [2010], *Factores determinantes de la inversión financiera en innovación* (tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid.
- Caliendo, Marco & Kopeinig, Sabine [2008], "Some Practical Guidance for the Implementation of Propensity Score Matching", *Journal of Economic Surveys*, 22(1): 31-72.
- Cox, David [1958], *Planning of Experiments*, New York, John Wiley & Sons.
- Czarnitzki, Dirk & Hussinger, Katrin [2004], "The Link Between R&D Subsidies, R&D Spending and Technological Performance", *ZEW-Centre for European Economic Research Discussion Paper*.
- Dai, Xiaoyong & Cheng, Liwei [2015], "The Effect of Public Subsidies on Corporate R&D Investment: An Application of the Generalized Propensity Score", *Technological Forecasting and Social Change*, 90: 410-419.
- Dehejia, Rajeev & Wahba, Sadek [1999], "Causal Effects in Nonexperimental Studies: Reevaluating the Evaluation of Training Programs", *Journal of the American Statistical Association*, 94(448): 1053-1062.
- Friedman, Milton [1966], *The Methodology of Positive Economics. Essays in Positive Economics*, Chicago, University of Chicago Press.
- Görg, Holger & Strobl, Eric [2007], "The Effect of R&D Subsidies on Private R&D", *Economica*, 74(294): 215-234.
- Guellec, Dominique & Van Pottelsberghe De La Potterie, Bruno [2003], "The Impact of Public R&D Expenditure on Business R&D", *Economics of Innovation and New Technology*, 12(3), 225-243.
- Heckman, James [1976], "The Common Structure of Statistical Models of Truncation, Sample Selection and Limited Dependent Variables and a Simple Estimator for Such Models", *Annals of Economic and Social Measurement*, 5(4): 475-492.
- [1979], "Sample Selection Bias as a Specification Error", *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 47(1): 153-161.

- Heijs, Joost [2001], *Política tecnológica e innovación: Evaluación de la financiación pública de I+D en España*, Madrid, Consejo Económico Social.
- [2003], “Implicaciones políticas del sistema nacional y regional de innovación: Un enfoque regional”, *La Ciencia es Cultura: Actas del Congreso. II Congreso sobre Comunicación Social de la Ciencia*, 117-132.
- Heijs, Joost & Buesa, Mikel [2007], *La cooperación en innovación en España y el papel de las ayudas públicas*, Madrid, Instituto de Estudios Fiscales.
- Heijs, Joost; Buesa, Mikel; Vergara Reyes, Delia; Gutiérrez, Cristian; Arenas Díaz, Guillermo y Guerrero, Alex J. [2020], *Innovación, crecimiento y competitividad: El papel de la política tecnológica en España*, Madrid, Estudios de la Fundación, 94. La Fundación de las Cajas de Ahorros (Funcas).
- Herrera, Liliana & Heijs, Joost [2007], “Difusión y adicionalidad de las ayudas públicas a la innovación”, *Revista de Economía Aplicada*, 15(44): 177-197.
- Hud, Martin & Hussinger, Katrin [2015], “The Impact of R&D Subsidies During the Crisis”, *Research Policy*, 44(10): 1844-1855.
- Huergo, Elena & Moreno, Lourdes [2017], “Subsidies or Loans? Evaluating the Impact of R&D Support Programmes”, *Research Policy*, 46(7): 1198-1214.
- Meyer-Krahmer, Frieder [1989], *Der einfluß staatlicher technologiepolitik auf industrielle innovationen*, Baden Baden, Deutschland, Nomos Verlag-Ges.
- Pavitt, Keith [1984], “Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory”, *Research Policy*, 13(6): 343-373.
- Rosenbaum, Paul & Rubin, Donald [1983], “The Central Role of the Propensity Score in Observational Studies for Causal Effects”, *Biometrika*, 70(1): 41-55.
- Rubin, Donald B. [1980], “Randomization Analysis of Experimental Data: The Fisher Randomization Test Comment”, *Journal of the American Statistical Association*, 75(371): 591-593.
- Scott, John [1984], “Firm Versus Industry Variability in R&D Intensity”, in Zvi Griliches (ed.), *R&D, Patents, and Productivity* (233-248), Chicago, University of Chicago Press.
- Vanino, Enrico; Roper, Stephen & Becker, Bettina [2019], “Knowledge to Money: Assessing the Business Performance Effects of Publicly-Funded R&D Grants”, *Research Policy*, 48(7): 1714-1737.

CAPÍTULO 5

GUÍA PRÁCTICA DE LOS MÉTODOS DE EMPAREJAMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LAS POLÍTICAS

Alex J. Guerrero
Joost Heijs

5.1. *Introducción*¹

En el capítulo anterior se han explicado, desde un punto de vista conceptual y metodológico, los distintos aspectos, problemas y limitaciones, y posibles soluciones que se deben tener en cuenta al evaluar el impacto de una política basada en los métodos de emparejamiento. El objetivo de este capítulo es mostrar paso a paso la aplicación de los distintos métodos de emparejamiento a partir de un ejemplo práctico basado en el Propensity Score Matching (PSM) para una muestra de empresas españolas. Se intenta explicar y demostrar posibles problemas y limitaciones que pueden surgir durante el estudio de evaluación y las formas de detectarlos y solucionarlos. En esta “guía práctica” de la aplicación del Propensity Score Matching, se explica, en detalle, cada uno de los pasos de la elaboración de un modelo con datos reales. Intencionalmente, se incluyen en los modelos iniciales algunos errores o problemas que los investigadores encuentran habitualmente en la práctica. Enseguida, se presentan distintas formas para identificar los posibles problemas, así como una explicación y aplicación del abanico de posibles soluciones para superarlos.

El ejemplo que se comenta en este capítulo consiste en la evaluación del efecto de las ayudas directas (subsidios) a la innovación sobre el gasto privado de las empresas españolas. Los datos utilizados en este trabajo provienen del Panel de Innovación Tecnológica (PITEC), que es una base de datos de tipo panel elaborada por el Instituto Nacional de Estadística (INE) y la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECyT),² que ofrece información sobre las actividades de innovación tecnológica. Para el análisis, se toman en consideración los datos correspondientes al periodo 2011-2014.

Como se ha explicado en el capítulo anterior, el PSM estima el efecto de las políticas como la diferencia del valor medio de la variable de interés entre los grupos tratados (GT) y grupos de control (GC), emparejando a empresas

¹ De forma intencionada, se repiten brevemente algunos conceptos e ideas de los capítulos 3 y 4 para que los lectores puedan estudiarlos por separado y de forma independiente.

² Se puede consultar en la página web de la FECyT <<https://bit.ly/3ofZkHB>>.

con PS similares. La primera opción es estimar el efecto medio del tratamiento sobre los tratados (*average treatment effect on the treated*, ATET). En este caso, se estima el impacto solo sobre las empresas que han recibido el tratamiento. Una segunda opción sería estimar el efecto potencial en el caso de que se aplicara el tratamiento a todas las empresas de la población; esto se denomina efecto medio del tratamiento (*average treatment effect*, ATE). En este ejemplo, se estima el ATET, debido a que es el efecto comúnmente estimado. Además, el modelo ATE del efecto potencial se estima de una forma muy parecida, siendo el único problema posible la disponibilidad de suficientes casos.³

5.2. Selección de variables

5.2.1. Revisión de la literatura teórica y empírica para detectar las variables potencialmente relevantes

Elección de la variable de interés sobre la que se mide el impacto de las ayudas

El primer paso de la investigación consiste en la preselección de las variables a utilizar. Se deben seleccionar, basándose en la revisión de la literatura teórica y empírica, las variables de tratamiento, los indicadores del impacto (las variables de interés) y las variables de control que permitan aislar el efecto de las ayudas de los demás determinantes. En el caso de las ayudas a la I+D o la innovación empresarial, las variables de interés más utilizadas sobre las que se mide el impacto son el gasto en I+D –de forma conjunta o individual– y los gastos en innovación; además, estos gastos se pueden medir en términos absolutos o de forma relativa (normalmente respecto a las ventas o al empleo). Asimismo, hay otra decisión que se debe tomar en el momento de medirlo: distinguir entre el gasto “neto o bruto”. Los gastos brutos en I+D

³El estudio realiza de forma implícita dos emparejamientos (uno para las empresas tratadas y otro para las no tratadas), por lo que, para su estimación, no solo se requiere encontrar empresas de control para las unidades tratadas, sino que también se debe disponer de suficientes casos tratados que sirvan de empresas de control para los no tratados.

o innovación incluyen la cantidad de fondos públicos obtenidos, mientras que en el caso de los gastos netos se descuentan estos fondos. A continuación, se indican las implicaciones de cada una de estas decisiones.

En el caso de la decisión de estimar el efecto en los gastos de I+D *versus* el gasto en innovación, se podría indicar que el último implicaría un panorama más completo. El gasto en innovación incluiría los gastos en I+D más los otros gastos en actividades innovadoras. Un argumento importante para utilizar esta variable sería que las inversiones adicionales generadas por el apoyo público, incluso si el apoyo es explícitamente para actividades de I+D, podrían estar orientadas no solo a la I+D, sino también a otras actividades innovadoras. Se podría suponer que el apoyo le permite a la empresa realizar actividades adicionales, inicialmente, no previstas que pueden ser más marginales y, por lo tanto, ser innovación. En otras palabras, si solo se utilizan los gastos de I+D, los efectos podrían subestimarse porque se excluyen las actividades de innovación extraordinarias. Sin embargo, si el gobierno desea también saber explícitamente el efecto de la I+D (o la I+D básica o aplicada), la evaluación debería limitar el análisis a dichos gastos. Aunque, en realidad, se aconseja utilizar de manera complementaria las dos opciones.

La utilización del gasto en I+D y/o innovación en términos brutos o netos tiene implicaciones importantes, ya que existe una diferencia significativa respecto a la interpretación de los resultados en términos de adicionalidad financiera, es decir, del efecto de las ayudas. De nuevo, el uso de los gastos netos (el gasto total en I+D e innovación, excluido el montante de las ayudas) frente a los gastos brutos (que incluyen la cantidad de ayuda recibida) también puede considerarse como opciones complementarias. Al utilizar los gastos brutos en I+D o innovación, un efecto o ATET positivo implicaría que existe, como mínimo, un efecto de adicionalidad parcial y que no se observa un efecto de sustitución o *crowding-out* total. Sin embargo, no podemos saber directamente si este ATET implica un efecto del gasto mayor, igual o menor al monto del apoyo público recibido. Es decir, podría implicar un efecto de sustitución parcial (*crowding-out* parcial) si el aumento del gasto es menor que la ayuda recibida. En el caso de utilizar las inversiones netas como variable de impacto (siendo la cantidad total de gastos de innovación menos los fondos públicos recibidos para la innovación de la empresa), un ATET positivo reflejaría la existencia del efecto de adicionalidad, que indica que las ayudas han provocado un aumento del gasto en I+D financiado con fondos privados de la propia empresa.

Recuadro metodológico 5.1 *Tipos de efecto según el ATET*

Resultado	ATET gasto bruto	ATET gasto neto
Sustitución total	(0 o -)	(-)
Sustitución parcial	(+)	(-)
Adicionalidad	(+)	(+)

Fuente: elaboración propia.

La elección del uso de la variable de interés en términos absolutos o relativos –a las ventas o empleados– presenta ventajas e inconvenientes. El uso de la variable, en términos absolutos, nos aporta un resultado en unidades monetarias; es decir, se podrá analizar cuánto dinero han invertido, en media, las empresas receptoras de ayudas en comparación con las que no reciben ayudas. El principal problema que presenta es que, en la realidad, la distribución de la variable de interés es asimétrica, mostrando acumulación en torno a valores bajos. Además, es muy difícil identificar los valores atípicos, debido a que no se tiene en cuenta la naturaleza de la empresa. Por ejemplo, la tabla 5.2 recoge a un grupo de empresas que tienen un gasto en I+D total ubicado en el percentil 99, pero que tienen un gasto relativo en sus ventas ubicado por debajo del percentil 50. Esto nos muestra que un valor que puede parecer atípico en términos absolutos podría estar acorde con el tamaño de la empresa.

Tabla 5.1 *Valores atípicos de GID*

Ident.	GID total (en euros)	GID sobre ventas (en porcentajes)
1606	45 200 000	0.0047
1632	35 800 000	0.0144
2082	34 000 000	0.0137
2206	26 000 000	0.0248
2720	87 300 000	0.0090
2952	141 000 000	0.0249
4258	29 100 000	0.0077
7172	174 000 000	0.0180

Nota: empresas españolas con valores atípicos en el gasto total, pero no en el gasto relativo a sus ventas para 2014.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del PITEC.

Las variables de gasto en I+D en términos absolutos y relativos reflejan dos aspectos claramente diferenciados. El primero de ellos indica el tamaño absoluto de la unidad de I+D de la empresa y el segundo indica la intensidad innovadora de la empresa, independiente de su tamaño. De hecho, la correlación entre ambas variables resulta ser muy baja (0.0804). Por lo tanto, utilizar uno u otro indicador como variable de interés (que mide el impacto) en aspectos de distinta índole. Se recomienda el uso de la variable intensidad innovadora (teniendo en cuenta que el ATET mide la media del impacto de todas las empresas) porque, de esta forma, el efecto estaría estandarizado. Mientras tanto, el uso de la variable, en términos absolutos, la media del efecto (ATET) estaría predominado por el efecto en las grandes empresas. Es decir, si no se corrige el efecto por el tamaño, los valores de las empresas pequeñas se diluyen; sobre todo, en el caso de que unas pocas empresas muy grandes reflejen un impacto atípico muy alto, podrían sesgar el impacto a la baja o a la alta.

El uso de la variable relativizada con las ventas o los empleados resuelve, en parte, el efecto de la distribución asimétrica y nos ayuda a identificar los valores que realmente son atípicos, ya que hace que todos los valores de gastos tomen un nuevo valor acorde con el tamaño de la empresa. Además de la corrección de la distribución, el uso de estas variables permite evaluar el efecto, como la intensidad de gasto. Sin embargo, el uso de estas variables hace que los resultados sean sensibles no solo al gasto en innovación, sino también al volumen de ventas. Es decir, podemos encontrar que las empresas tratadas presenten una mayor intensidad de gasto, pero que esta no esté provocada por el mayor gasto, sino por las menores ventas. Una forma de corregir este problema sería relativizar el gasto en I+D conforme a otros tipos de variables, como sucede con la media de las ventas o del empleo de los últimos tres años o con el *stock* de capital, que son variables más estables en el tiempo.

Selección de las variables de control

La revisión de la literatura empírica revela (véase la tabla 5.2a) que las variables más utilizadas para la evaluación de las políticas tecnológicas son las que recogen el gasto absoluto [Wallsten, 2000; Clausen, 2009; Hottenrott *et al.*, 2017] en I+D/innovación de las empresas (46 estudios) o este gasto en términos relativos a la cifra de ventas (55) (Herrera y Heijls [2007]; Cerulli y Potì [2012]; Bellucci *et al.* [2019], entre otros), mientras que el gasto respecto al empleo ha sido aplicado 10 veces. Esta variable se aplica más frecuentemente en los últimos años, considerando que el empleo es más estable que

las ventas de las empresas [Huergo y Moreno, 2017; Albis *et al.*, 2017; Neicu, 2019]. Como también se observa, la mayoría de los estudios (77 estudios, 71 %) utiliza el gasto total de las empresas en I+D o innovación, sin descontar la cifra de ayudas recibidas.⁴ Como ya se indicó, tal forma de actuar implica que solo se puede evaluar si existe sustitución total. Para el ejemplo utilizado en este capítulo, y dado que se cuenta con la información necesaria, se considerará como variable de interés el gasto neto o privado, es decir, el gasto total de las empresas menos las ayudas recibidas. Esto nos permite evaluar la existencia de adicionalidad en términos de fondos *versus* el efecto de sustitución total o parcial. Aunque, como se ha indicado en el capítulo anterior, sería recomendable estimar dos modelos (gasto neto y gasto bruto).

Una vez definida la variable de interés, procedemos a la selección de las variables de control o variables que determinan la participación en las ayudas. Como se mencionó en el capítulo 4, la selección de tales variables es importante para poder aislar el efecto de las ayudas respecto a los demás determinantes del gasto en I+D y/o innovación, solucionando así el problema de sesgo de selección. Para la correcta selección de las variables de control, se debe revisar la literatura teórica y empírica que nos indicará qué factores explicativos podrían ser relevantes y explicar, ante todo, el porqué de su relevancia.

El problema en nuestro caso es que no existe una teoría respecto a la probabilidad de participar en las ayudas. La falta de un marco teórico claro convierte la construcción del modelo en un proceso de prueba y error permanente –que invita a incluir el máximo número de variables– basado en la inclusión y exclusión de forma continua de variables alternativas, hasta que se obtiene un modelo aceptable que se ajusta a los pocos argumentos teóricos de que se dispone. La falta de literatura teórica sobre el impacto de las ayudas a la innovación empresarial implica que se debe revisar, principalmente, la literatura empírica acerca de los determinantes de la participación en los programas que promueven la innovación empresarial para que se puedan identificar las variables relevantes, para aleatorizar la distribución de la muestra para estas variables. Es decir, se debe revisar la literatura empírica que analiza el perfil de las empresas que participan en los distintos programas.

⁴ Cabe mencionar que en muchos casos los investigadores no disponen de información acerca de la cantidad de ayudas recibidas.

Tabla 5.2a *Revisión de la literatura: variable de interés sobre la que se mide el impacto de las ayudas*

Variables	Efecto neto vs. bruto	Núm. de veces utilizada	Efecto positivo	Efecto negativo	Efecto no significativo
Log gasto en invest. básica	Neto	3	3	0	0
Gasto en invest. aplicada	Neto	3	3	0	0
Log gasto en invest. aplicada	Neto	3	3	0	0
Gasto en desarrollo	Neto	3	3	0	0
Log gasto en desarrollo	Neto	3	2	0	1
Valores absolutos por tipo de I+D					
Gasto en I+D	Neto	1	1	0	0
Log gasto en I+D	Neto	3	2	0	1
Gasto en I+D	Bruto	9	7	0	2
Gasto en innovación	Bruto	3	3	0	0
Log gasto en I+D	Bruto	11	11	0	0
Log gasto en innovación	Bruto	4	4	0	0
Valores absolutos en general en I+D o innovación		46	42	0	4
Gasto en I+D s/ventas	Bruto	16	16	0	0
Gasto en I+D s/ventas	Neto	4	4	0	0
Log gasto en I+D s/ventas	Bruto	4	4	0	0
Gasto en innovación s/ventas	Bruto	11	10	0	1
Gasto en desarrollo s/ventas		3	1	0	2
Gasto interno en I+D s/ventas	Bruto	12	11	0	1
Gasto externo en I+D s/ventas	Bruto	2	2	0	0
Gasto en invest. básica s/ventas	Neto	3	3	0	0
Valores relativos a las ventas		55	51	0	4
Gasto en I+D por trabajador	Bruto	1	1	0	0
Gasto en I+D por trabajador	Neto	5	4	0	1
Log gasto en I+D por trabajador	Bruto	2	2	0	0
Gasto interno en I+D por trabajador	Bruto	2	0	0	2
Valores relativos a los empleados		10	7	0	3

Nota: 1. El número total de veces utilizada se corresponde con las ocasiones en que la variable es empleada en modelos, no en estudios, debido a que ciertos estudios evalúan distintos países. 2. Aunque la mayoría de los estudios usan una combinación de metodologías, solo se presentan los resultados del PSM.

Fuente: elaboración propia* a partir de los datos publicados en Vergara *et al.* [2019].

* Esta tabla está basada en el inventario de 27 estudios publicado en la página web Instituto de Investigaciones Económicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (IIEc - UNAM). Esta revisión se realizó en el marco del proyecto “Efectos de la política tecnológica en el comportamiento innovador y el empleo” (PAPIIT IN 302317), dirigido por Delia Margarita Vergara Reyes.

La revisión de los estudios empíricos muestra las características consideradas, las cuales se pueden dividir en tres grupos. El primero recoge las variables relacionadas con la estructura de la empresa. El segundo presenta las variables relacionadas con la actividad innovadora de la empresa. Por último, un tercer grupo recoge la información de otras variables utilizadas y aquellas que serían susceptibles de serlo, relacionadas con la probabilidad de obtener ayudas.

Respecto a las variables estructurales de las empresas, se puede observar, en la tabla 5.2b, que el tamaño (en sus diferentes medidas, ha sido usado en 57 ocasiones), la pertenencia a un grupo empresarial nacional (21) o extranjero (22), y la actitud exportadora –probabilidad (19) o intensidad exportadora (5)– se han usado mucho. En cuanto a la estructura de la propiedad de las empresas, se han incluido variables binarias mutuamente excluyentes. Por ello, a menudo su beta se interpreta en términos de diferencia, según la probabilidad de obtener ayudas por parte de las empresas individuales.⁵

Para muchas de las variables, los resultados no son claros, aunque indican ciertas tendencias. Por ejemplo, el tamaño refleja una relación positiva donde las empresas más grandes participan más en las ayudas. Es verdad que en un grupo de estudios no se detecta esta relación, pero solo unos pocos detectan una negativa. Respecto a otras variables estructurales, parece que las Administraciones públicas (AA.PP.) discriminan positivamente a las exportadoras –como una estrategia de *picking up the winners*– y a las que forman parte de un grupo empresarial. Estas últimas, junto a las empresas, tienen a menudo una mejor relación con las AA.PP. y/o más poder indirecto respecto a la orientación de las políticas.

En el caso de las variables que reflejan la actividad innovadora (tabla 5.2c) de las empresas, parece que existen pocas dudas de que las más innovadoras participan más en las ayudas, posiblemente, porque este tipo tiene una mayor capacidad de definir de forma adecuada los proyectos de I+D, y tienen una cultura innovadora mayor, por lo que se presentan más para obtener las ayudas.

⁵ No olvidar que, en caso de tener valores únicos y excluyentes (en este caso tres), no se pueden incluir todos porque se generaría un problema de colinealidad perfecta. Por lo tanto, se debe excluir como mínimo uno de ellos de la regresión. En este caso, las betas reflejan la diferencia con las empresas “de referencia” que tengan el valor excluido del modelo. En el caso de la estructura de propiedad, se suelen excluir –de forma implícita o explícita– las empresas individuales.

Tabla 5.2b *Revisión de la literatura: características estructurales como variables determinantes de la participación en ayudas públicas*

Variables	Núm. de veces utilizada	Efecto positivo	Efecto negativo	Efecto no significativo
Log del número de empleados	27	15	3	9
Log del número de empleados al cuadrado	7	4	1	2
Empleo. Variable ordinal por intervalos	5	4	0	1
Empleados en I+D s/total empleados	5	0	0	5
Empleo por intervalos (<i>dummies</i>)	7	0	0	7
Pyme	6	0	2	4
Total de empleo (tamaño de las empresas)	57	23	6	28
Edad	2	0	1	1
Log de la edad	15	0	11	4
Edad: Empresas con > 20 años	7	3	1	3
<i>Start-up</i>	9	0	0	9
Total de antigüedad de la empresa	33	3	13	17
Grupo	21	2	4	15
Grupo extranjero	22	0	10	12
Capital público	3	1	0	2
Total por estructura de propiedad	46	3	14	29
Exportaciones s/ventas	5	3	0	2
Exportadora (binaria)	19	12	0	7
Total de actividad exportadora	24	15	0	9

Nota: 1. Por motivos de espacio, se restringieron las variables que solo han sido utilizadas una vez. 2. El número total de veces usado se corresponde con el número de “programas” y/o países evaluados.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos publicados en Vergara *et al.* [2019].

Tabla 5.2c *Revisión de la literatura: características de actividad innovadora como variables determinantes de la participación en ayudas públicas*

Variables	Núm. de veces utilizada	Efecto positivo	Efecto negativo	Efecto no significativo
Cooperación tecnológica	4	4	0	0
Actividad innovadora	15	13	0	2
Stock de patentes	3	3	0	0
Stock de patentes s/empleados	5	5	0	0
Gasto en I+D privado	7	5	1	1
Departamento de I+D	3	3	0	0
Capital humano (% de universitarios s/empleados)	7	2	0	5
Total de actividad innovadora	44	35	1	8

Nota: 1. Por motivos de espacio, se restringieron las variables que solo han sido utilizadas una vez. 2. El número total de veces usado se corresponde con el número de “programas” y/o países evaluados.
Fuente: elaboración propia a partir de los datos publicados en Vergara *et al.* [2019].

Llama la atención que son pocos los estudios sobre la función que tienen los problemas financieros que dificultan la innovación sobre la participación en las ayudas (véase tabla 5.2.d). Se podría esperar que las empresas con mayores dificultades para acceder a financiación se vean discriminadas positivamente para recibir ayudas, debido a que uno de los principios de la intervención pública es la subsanación de los fallos de mercado; en este caso, la corrección de la dificultad de llevar a cabo actividades innovadoras por falta de financiación. Sin embargo, los estudios empíricos no ofrecen una conclusión clara de los posibles problemas financieros que dificultan la innovación y el acceso a las ayudas.

5.2.2. Realización de un análisis exploratorio para afinar la selección de las variables relevantes con base en los datos disponibles (paso 1b)

Teniendo en cuenta que el método de emparejamiento evalúa el impacto de un cierto tratamiento, se debe definir el concepto de tratamiento. Aunque se podría considerar como obvia la definición del tratamiento, resulta que en muchos casos existen múltiples programas para promover la misma actividad.

Por esto, la estimación del efecto de un programa en concreto podría estar sesgada por los efectos simultáneos de otras ayudas. En el caso de que las empresas de control – “sin ayudas” – incluyan algunas que recibieron otro tipo de ayudas para la I+D o la innovación, el efecto detectado estaría subestimado, por lo que el efecto de una ayuda se debe analizar teniendo simultáneamente la interacción de los efectos de otras ayudas.

Tabla 5.2d *Revisión de la literatura: problemas financieros que dificultan la innovación y otras variables determinantes de la participación en ayudas públicas*

Variables	Núm. de veces utilizada	Efecto positivo	Efecto negativo	Efecto no significativo
Restricciones financieras	3	0	0	3
Financiación con créditos	5	4	0	1
Disponibilidad de fondos internos	2	0	2	0
Total de factores que dificultan innovación	10	4	2	4
Inversión s/ventas	7	0	1	6
Intensidad capital*	9	3	1	5
Recibe otras ayudas	6	6	0	0
Ventas s/empleados (<i>proxy</i> de productividad)	6	0	2	4
Certificado de calidad	5	2	0	3
Precios fijados por industria	5	0	0	5
Variación de ventas	5	0	1	4
Región	8	4	2	1
Total de otras variables	43	11	5	27

Nota: 1. Por motivos de espacio, se restringieron las variables que solo han sido utilizadas una vez. 2. El número total de veces utilizada se corresponde con el número de “programas” y/o países evaluados.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos publicados en Vergara *et al.* [2019].

* La medida más utilizada es la ratio entre los activos tangibles y empleados [Almus y Czarnitzki, 2003; Aerts y Schmidt, 2008; Czarnitzki y Lopes-Bento, 2011].

En el ejemplo desarrollado en este capítulo, las ayudas a la innovación empresarial provienen de un amplio número de programas que se diferencian en el proceso de selección, el tipo de actividades subvencionables y los requisitos de acceso, debido a que proceden de distintos niveles administrativos (ayudas locales, regionales, nacionales o europeas). En el ejemplo del PSM aquí manejado, se puede destacar que la variable que caracteriza la participación en los distintos programas públicos ha sido construida mediante las respuestas de las empresas sobre si han recibido ayudas a la I+D de las administraciones regionales, de la Administración Central del Estado o, bien, de algún programa de la Unión Europea. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si las empresas han recibido al menos una de las tres ayudas encuestadas y 0 en los demás casos.

Una vez realizada la revisión de la literatura teórica y de los estudios empíricos, se debe decidir el conjunto de variables que serán incluidas inicialmente en el modelo.⁶ En este ejemplo, se han seguido las pautas generales observadas en los estudios empíricos existentes y, a continuación, se realizan los análisis exploratorios pertinentes para comprobar su validez.

De acuerdo a lo expuesto con anterioridad (capítulo 3, sección 3.4.2), debido a la falta de teoría, es importante probar –mediante prueba y error– el máximo número de variables y, sobre todo, incluir todas las variables que, se sospecha, afectan la participación en los programas de ayudas públicas. Como se ha explicado en el capítulo anterior (sección 4.2), por un lado, se debe tener en cuenta el máximo número de características para asegurar una distribución aleatoria entre el grupo de empresas beneficiadas y el de control (empresas no apoyadas). Sin embargo, esta exigencia podría contradecir otro supuesto relevante: la existencia de un área de soporte común. El cumplimiento de esta condición es muy importante para asegurar que la generalización de los resultados sea correcta e insesgada, y el cumplimiento de este supuesto recomienda el uso de un número mínimo de variables. Todo ello implica que se debe reflexionar muy bien sobre la inclusión de cada una de las variables que ayudan a reducir el sesgo de selección y el sesgo de estimación.

Como se ha indicado en el capítulo 4, sección 4.2.2, las variables que deberían incluirse son las que influyen simultáneamente sobre la participación en el programa y en la variación o el nivel de la variable que mide supuestamente el efecto del tratamiento, debido a que estas variables favo-

⁶ La definición de las variables utilizadas se encuentra en el anexo 5.1.

recen la aleatorización y reducen el sesgo al estimar el impacto. Un segundo tipo de variables que se debe incluir serían las altamente correlacionadas con la participación en el programa, pero no con el resultado o efecto del tratamiento, debido a que permiten la correcta aleatorización. La inclusión se debe a que podrían existir *shocks* o cambios externos no previstos o conocidos que podrían afectar de forma diferente a nuestra variable que mide el impacto. Aunque es verdad, si estos originan un problema del área de solapamiento, se podrían excluir en el modelo final, sobre todo, en el caso de que apenas se encuentre un efecto distinto con o sin estas variables específicas. Estas variables formarían parte del perfil de las empresas con o sin ayudas, pero no generarían un sesgo en la estimación del impacto.

Finalmente, se deben incluir las variables no correlacionadas con la participación en el programa, pero que sí afectan al indicador del impacto (el gasto en I+D) y que estén respaldadas por la teoría. Tales variables no corrigen un sesgo de selección, pero ayudan a reducir el sesgo en la estimación del efecto, ya que permite comparar a las empresas iguales tanto en términos de acceso a las ayudas como en determinantes de gasto. Respecto a la inclusión de este tipo de variables, se podría encontrar una situación contradictoria. Esto sería el caso en el que, desde un punto de vista teórico o empírico, una variable se considera relevante para la participación, pero que, en el modelo de regresión logística, estimado con una base de datos concreta, no se confirma de forma estadísticamente significativa tal relevancia. En este caso, es el investigador quien debe tomar una decisión al respecto, ya que la exclusión de estas variables podría estar justificada si se puede explicar la ausencia de relación significativa, debido a las características específicas del instrumento que se está analizando. De cualquier manera, se recomienda hacer los modelos con y sin estas variables para observar si existen grandes diferencias en el impacto.

Tabla 5.3 *Criterios para la inclusión de variables*

Sí		Afecta a la participación	
		Sí	No
Afecta al gasto	Sí	Incluir	Ambiguo
	No	Incluir	Excluir

Fuente: elaboración propia.

Se debe evitar la inclusión de un último tipo de variables: aquel que no está correlacionado con la probabilidad de obtener ayuda ni tampoco con el resultado, ya que dificulta la obtención de un área común de soporte y puede introducir innecesariamente un sesgo de selección de forma artificial.

En un primer paso, se debe llevar a cabo un análisis exploratorio de las variables potencialmente relevantes que podrían existir de dos actividades complementarias. El primero sería estimar –según los datos disponibles– dos modelos de regresión para comprobar si las variables seleccionadas influyen sobre la participación en las ayudas y/o sobre el gasto en I+D. Los resultados de estos modelos serían una primera forma que permite ajustar el conjunto de variables seleccionadas. El segundo paso del análisis exploratorio es sobre las correlaciones entre las variables.

Como se ha indicado, el primer paso consiste en realizar dos modelos de regresión. Una regresión logística sobre la variable que recoge la participación, o no, en las ayudas para identificar los factores determinantes de ser beneficiario y, en segundo lugar, una regresión lineal para identificar las variables que influyen en la variable de interés (el gasto en I+D sobre ventas). Los resultados de la tabla 5.4⁷ muestran que, de las variables seleccionadas, hay dos que no afectan de forma estadísticamente significativa a ninguna de las dos variables dependientes: factores de conocimiento 1 y otros factores 2 que dificultan la innovación. Es decir, que no son relevantes para determinar las empresas que reciben ayudas y, además, no tienen poder explicativo sobre el gasto en I+D empresarial. Esto, como se acaba de indicar, implica que estas variables inicialmente seleccionadas deban ser excluidas del modelo.

El segundo paso consiste en analizar las correlaciones entre las variables seleccionadas, debido a que dos variables pueden recoger el efecto del mismo concepto teórico. La decisión, si el valor de la correlación se considera demasiado alto, o no, depende del contexto teórico y de los conocimientos tácitos del investigador. Se considera que un coeficiente de correlación es susceptible de presentar multicolinealidad cuando presenta un valor por encima de 0.7/0.9.

Sin embargo, en la evaluación de impacto mediante el PSM se busca captar la influencia de las variables sobre la probabilidad de obtener una ayuda, no para explicar la variable de interés. Así, se considera alta una correlación por encima de 0.5, debido a que con correlaciones por encima de este valor pueden producirse interferencias donde el efecto detectado, o no, de una de las variables se vea condicionado por el efecto de la otra, produciéndose, de esta forma, una adulteración del PS estimado.

⁷ Los detalles respecto a la creación y los valores de las variables se recogen en el anexo.

Tabla 5.4 Selección de variables: modelo inicial con ejemplos de errores

		(1)	(2)	(3)	(4)
		Logit Sub = 0/1		MCO GID sobre ventas	
		Coef.	Desviación típica	Coef.	Desviación típica
Bienes de consumo tradicional	Sector 1	-0.301***	0.080	-0.020***	0.005
Bienes intermedios tradicionales	Sector 2	0.338***	0.097	-0.018**	0.007
Especializados en bienes intermedios	Sector 3	0.122	0.089	-0.026***	0.006
Ensambladores/ventajas de escala	Sector 4	0.144*	0.084	0.014**	0.006
Basado en la ciencia	Sector 5	-0.419***	0.092	-0.032***	0.006
Servicios de alta tecnología	Serv. Alta Tec.	0.544***	0.071	0.174***	0.006
Tamaño (ln)	Ln Emp (t - 1)	0.148***	0.024	-0.035***	0.002
Tamaño binaria	Tam. > 200	-0.049	0.078	0.035***	0.006
Edad (ln)	Ln Edad	-0.158***	0.045	-0.023***	0.003
Probabilidad exportadora	Exp. (t - 1)	0.066	0.051	-0.014***	0.004
Grupo nacional	Grupo Nac.	-0.111**	0.053	0.004	0.004
Pública	Pública	0.388***	0.134	0.042***	0.010
Multinacional	Multinac.	-0.847***	0.082	0.007	0.005
Número de patentes	Patent. (t - 1)	0.017***	0.004	0.002***	0.000
Capital humano	Remusup (t - 1)	0.012***	0.001	0.001***	0.000
Cooperación en I+D	Coopera	1.332***	0.048	0.031***	0.003
Orientación: Aplicada	Inv. Apl. % (t - 1)	0.016***	0.001	0.001***	0.000
Orientación: Fundamental	Inv. Fun. % (t - 1)	0.020***	0.002	0.003***	0.000
Orientación: Desarrollo tec.	Des. Tec. % (t - 1)	0.016***	0.001	0.000***	0.000

(continúa)

		(1)	(2)	(3)	(4)
		Logit Sub = 0/1		MCO GID sobre ventas	
	Variables	Coef.	Desviación típica	Coef.	Desviación típica
Obstáculo: Falta fondos propios	Fac. Eco. 1(t - 1)	-0.034	0.056	-0.008**	0.004
Obstáculo: Falta fondos externos	Fac. Eco. 2(t - 1)	0.128**	0.055	0.018***	0.004
Obstáculo: Falta personal cualificado	Fac. Cono. 1(t - 1)	0.101	0.089	-0.007	0.007
Obstáculo: Falta de información tecnológica	Fac. Cono. 2(t - 1)	-0.001	0.111	-0.016**	0.008
Obstáculo: Mercado dominado por grandes empresas	Otro Fac. 1(t - 1)	0.133**	0.061	0.001	0.005
Obstáculo: Demanda incierta de innovaciones	Otro Fac. 2(t - 1)	0.017	0.054	0.001	0.004
	Constante	-3.733***	0.187	0.199***	0.012
	Observaciones	13,088		13,088	
	R ²			0.314	

Nota: 1. *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$ (significativo a 1 %, 5 % y 10 %, respectivamente). 2. Las variables sombreadas teóricamente no cumplen el requisito de inclusión.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del PITEC.

Como se puede observar en el ejemplo (tabla 5.5), hay variables que presentan correlaciones altas. La más significativa es, como no puede ser de otra forma, la que recoge información acerca del tamaño de la empresa mediante el número de trabajadores, utilizando una variable binaria que toma valor 1 cuando las empresas tienen un número de empleados igual o mayor a 200 y el tamaño en logaritmos. Por otro lado, las variables que recogen los factores económicos que dificultan la innovación también presentan una correlación alta; esto puede deberse a que las empresas que tienen falta de fondos propios también tienen dificultades para encontrar financiación externa. Finalmente, el porcentaje de gasto destinado a la orientación de la I+D también podría ser problemático, debido a que las empresas que orientan sus investigaciones hacia la investigación aplicada también dedican un porcentaje alto del gasto a las actividades de desarrollo tecnológico.

Tabla 5.5 Correlaciones por pares: modelo inicial con ejemplos de errores

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]
[1] Ln Emp (t - 1)	1																		
[2] Tam. > 200	0.76*	1																	
[3] Ln Edad	0.36	0.23	1																
[4] Exp. (t - 1)	0.08	-0.03	0.16	1															
[5] Grupo Nac.	0.30	0.23	0.05	0.04	1														
[6] Pública	0.12	0.11	-0.01	-0.12	0.00	1													
[7] Multinac.	0.27	0.24	0.09	0.08	-0.31	-0.07	1												
[8] Patent. (t - 1)	0.11	0.09	0.03	0.07	0.03	0.00	0.04	1											
[9] Remusup (t - 1)	-0.30	-0.18	-0.32	-0.12	-0.04	0.01	-0.07	0.02	1										
[10] Inv. Apl. % (t - 1)	-0.05	-0.05	0.01	0.07	-0.03	-0.01	0.00	0.01	0.03	1									
[11] Inv. Fun. % (t - 1)	-0.02	-0.02	-0.05	0.01	-0.02	-0.01	-0.02	0.02	0.09	0.02	1								
[12] Des. Tec. % (t - 1)	0.00	-0.04	-0.03	0.09	0.03	-0.03	-0.01	0.03	0.08	-0.53*	-0.10	1							
[13] Coopera	0.17	0.14	0.00	0.01	0.13	0.05	0.06	0.06	0.11	0.05	0.01	0.09	1						
[14] Fac. Eco. 1(t - 1)	-0.18	-0.12	-0.10	-0.03	-0.08	-0.02	-0.09	-0.03	0.09	0.01	0.01	0.02	0.01	1					
[15] Fac. Eco. 2(t - 1)	-0.16	-0.12	-0.12	-0.02	-0.05	-0.02	-0.13	-0.02	0.09	0.03	0.01	0.03	0.04	0.59*	1				
[16] Fac. Cono. 1(t - 1)	-0.04	-0.04	-0.02	0.03	-0.01	-0.01	-0.04	0.01	-0.01	0.00	-0.01	0.01	0.00	0.08	0.06	1			
[17] Fac. Cono. 2(t - 1)	-0.04	-0.04	0.01	0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.01	-0.04	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.07	0.07	0.38	1		
[18] Otro Fac. 1(t - 1)	-0.11	-0.08	-0.02	0.02	-0.01	-0.05	-0.08	-0.02	0.05	0.04	0.00	0.03	0.01	0.13	0.14	0.13	0.13	1	
[19] Otro Fac. 2(t - 1)	-0.08	-0.06	-0.01	0.02	-0.02	-0.06	-0.06	-0.01	0.03	0.03	0.01	0.01	0.03	0.17	0.16	0.09	0.11	0.38	1

*Valores relativamente altos.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del PITEC.

5.3. Dimensionalidad: transformación de variables, efectos de interacción y el uso de retardos

Debido a la presencia de problemas tanto de dimensionalidad –exceso de variables– como de correlaciones y relevancia de las variables que *a priori* se consideran relevantes para las estimaciones, es necesario analizarlas, transformarlas o, cuando sea necesario, eliminarlas.

A continuación, se ha optado por convertir algunas variables categóricas –en concreto, la importancia de los distintos factores que dificultan la innovación–⁸ en una única variable binaria para cada factor.⁹ Para facilitar la interpretación y la dimensionalidad, se han construido tres nuevas variables –Fac. Eco. (t - 1), Fac. Cono. (t - 1), Otro Fac. (t - 1)– que son binarias y que toman valor 1 cuando la empresa considera muy importante, al menos, una de las barreras de innovación referidas a cada grupo.

Otra de las transformaciones aplicada a ciertas variables, basándonos en la literatura empírica, ha sido la transformación logarítmica. Tal transformación se realiza básicamente por dos razones. Por un lado, corrige la posible relación no lineal entre la variable de control y la dependiente. Por otro lado, la presentación de datos en una escala logarítmica puede ser útil cuando los datos cubren una amplia gama de valores –el logaritmo los reduce a un rango más manejable que podría reducir el problema de multidimensionalidad–.¹⁰ Tal transformación se ha aplicado al tamaño de las empresas, así como a la variable edad. Además, debido a la presencia de correlación alta entre el tamaño de la empresa y la variable binaria que

⁸ Estas variables constan de cuatro valores: 1 = alta; 2 = media; 3 = baja; 4 = no relevante/no empleada.

⁹ Las variables de factores que dificultan la innovación se concentran en torno a tres grupos diferenciados: factores económicos, factores de conocimiento y factores de mercado.

¹⁰ Para los lectores no acostumbrados a la econometría y/o matemáticas, reflejamos aquí el efecto de los logaritmos en la escala y, sobre todo, el recorrido de la variable (valor máximo-valor mínimo). Como se puede observar, el recorrido disminuye de forma excepcional, lo que implica una mayor “linealización” de la variable. Además, ayuda a solucionar el problema de que los modelos de regresión están afectados si se utilizan variables de una escala muy distinta.

V. original	1	2	5	10	50	500	1000	50 000	100 000	500 000	2 000 000	50 000 000
V. logarítmico	0.0	0.3	0.7	1.0	1.7	2.7	3.0	4.7	5.0	5.7	6.3	7.7

refleja si la empresa tiene más de 200 empleados, esta última ha sido restringida de las estimaciones.

Cuando se dispone de datos para varios periodos, se recomienda retardar las variables de control, debido a que la asignación de las ayudas y el resultado de estas pueden verse influidos mutuamente [Caliendo y Kopeinig, 2008; Imbens, 2015]. Por ejemplo, la recepción de ayudas ocasiona que se contrate más personal o que se generen patentes el mismo año de haber recibido las subvenciones. Por esta razón, habría correlación entre la obtención de las ayudas y el valor de las variables de control incluidas en la estimación, generando un problema de selección y produciéndose, así, un error en la estimación de los factores que facilitaron el acceso de las empresas a las ayudas. La solución sería –como se ha hecho en este ejemplo– retardar las variables que se consideran susceptibles a este problema para la estimación del modelo que analiza los determinantes de obtener ayuda. El uso de retardos en el proceso de emparejamiento asegura, en cierto modo, que se cumple el SUTVA sobre las demás variables.

Finalmente, resulta necesario identificar el problema que presentan los valores atípicos, ya que estos también podrían estar sesgando los resultados. Este paso resulta relevante, sobre todo, cuando nos referimos a la variable de interés, en nuestro caso el gasto en I+D sobre ventas (GIDv). Unos datos atípicos, en esta variable, excesivamente altos podrían sesgar el impacto estimado, porque, al momento de usarlo en el modelo, podría tener un peso importante sobre la media del ATET. Como se observa en la tabla 5.6, la variable gasto en I+D sobre ventas presenta datos atípicos que elevan el valor medio y podrían provocar que los resultados se vean influidos por estos datos. Debido a esto, es necesario realizar un tratamiento a los mismos.

Tabla 5.6 *Tratamiento de datos atípicos del gasto en I+D sobre ventas*

Estadísticas descriptivas de la variable de interés. Tratamiento de datos atípicos					
	Obs.	Media	Desv. típica	Min.	Max.
GID s/ ventas	13 179	0.238	4.019	0.000	334.120
GID s/ ventas < 10	13 136	0.104	0.368	0.000	9.080
GID s/ ventas Winsor 1%	13 179	0.092	0.220	0.000	1.290
Ln GID s/ ventas	13 179	0.086	0.256	0.000	5.814

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del PITEC.

Recuadro metodológico 5.2 *Ajustes en las variables de la dimensionalidad*

- Convertir las variables de valores continuos/ordinales en variables ordinales de intervalo.
- Convertir las variables de valores continuos/ordinales en variables binarias a partir de los intervalos.
- Crear una sola variable binaria.
- Agrupar o agregar los valores de ciertas variables nominales.
- Linealizar las variables a base de logaritmos o la introducción de la misma variable en términos normales y al cuadrado.
- Ajustar los valores de los casos atípicos.

Fuente: elaboración propia.

De entre las diversas opciones presentadas en el capítulo anterior (apartado 4.4.1), se ha optado por utilizar la técnica de Winsor¹¹ a 1 %, debido a que nos permite mantener el tamaño de la muestra, así como eliminar la influencia de los datos atípicos e impedir que la varianza se incremente. La tabla 5.6 presenta los estadísticos descriptivos de la variable de gasto en I+D respecto de ventas con las diferentes opciones de tratamiento; como se observa, utilizar la técnica de Winsor proporciona una reducción de los datos extremos y su influencia, así como una disminución de la desviación típica.

Finalmente, resulta necesario presentar los resultados del análisis exploratorio de las variables después de haber sido transformadas y eliminados los problemas que presentaban.

Las regresiones nos indican que las variables seleccionadas y transformadas son relevantes para la participación en las ayudas o para la cuantía gastada en I+D. Además, muchos de ellos influyen simultáneamente en las dos. La presencia de variables que no resultan estadísticamente significativas en el modelo de regresión logística se debe a que son consideradas como variables teóricamente relevantes, aunque resulta que, en este ejemplo, sus coeficientes no son significativos. A partir de los ajustes en las variables y análisis de los modelos, podemos concluir que las variables seleccionadas para este ejemplo son relevantes y deben estar presentes en las estimaciones.

¹¹ Como ya se ha indicado, esta técnica asigna a 1 % de las empresas con mayor nivel de GIDv el valor de la empresa con el valor más alto del otro 99 % de las empresas.

5.4. *Ajustes del modelo de aleatorización: un proceso continuo de prueba y error*

Como se ha indicado en el capítulo anterior, una vez obtenida una lista de variables teóricamente relevantes (tabla 5.7), se debe decidir cuáles de ellas se deben incluir –y de qué forma– para que no violen los supuestos mencionados. El método de emparejamiento (algoritmos) acopla a empresas similares con y sin ayudas, pero es difícil encontrar un “clon” perfecto, por lo que el investigador debe indicar el margen de similitud aceptable (entre el GT y GC) para que el impacto se estime de forma correcta.

Los distintos métodos o formas de emparejar las empresas beneficiadas con las de control tienen un efecto variado sobre los dos supuestos básicos, especialmente la aleatoriedad (efecto de sesgo) y el soporte común de solapamiento (efecto de la varianza). La correcta creación de un grupo de control que respeta la aleatoriedad artificial se comprueba mediante un test de medias entre las empresas de GT y GC. Mientras tanto, para detectar posibles problemas de solapamiento que afectarían la correcta generalización de los resultados, se analiza la varianza, ya que esta aumentaría debido a la inclusión de un mayor número de variables o categorías por variable, generando un problema de dimensionalidad.¹²

Por otro lado, la tabla 5.8 recoge las correlaciones de las variables una vez que han sido ajustadas y/o transformadas. Se puede observar que todas las correlaciones son inferiores a 0.5, lo que nos permite considerar que posiblemente el efecto que recoge cada variable no se verá influenciado por el de otra.

En la siguiente sección, se ofrece una introducción sobre la estimación de los primeros modelos (variando los logaritmos) y la valoración de la idoneidad del mismo, mientras que en el resto se detalla el proceso de prueba y error para llegar a un modelo satisfactorio y de los test correspondientes. La sección 5.4.2 ofrece la forma de comprobar si ambos grupos son iguales, comparando la media y la varianza para cada una de las variables incluidas e incluyendo la nueva variable creada para el emparejamiento: el propensity score. Una vez realizados estos contrastes de variables individuales, se comprueba la fiabilidad del modelo en su conjunto (sección 5.4.3).

¹² Estos y otros contrastes se desarrollan con mayor profundidad en el apartado 5.4.2.

Tabla 5.7 Selección de variables: modelo final

		(1)	(2)	(3)	(4)
		Logit		MCO	
		Sub = 0/1		GID sobre ventas	
	Variables	Coef.	DT	Coef.	DT
Bienes de consumo tradicional	Sector 1	-0.282***	0.079	-0.021***	0.005
Bienes intermedios tradicionales	Sector 2	0.413***	0.096	-0.017**	0.007
Especializados en bienes intermedios	Sector 3	0.156*	0.089	-0.027***	0.006
Ensambladores/ventajas de escala	Sector 4	0.145*	0.084	0.011*	0.006
Basado en la ciencia	Sector 5	-0.391***	0.092	-0.034***	0.006
Servicios de alta tecnología	Serv. Alta Tec.	0.574***	0.071	0.176***	0.006
Tamaño (ln)	Ln Emp (t - 1)	0.111***	0.018	-0.029***	0.001
Edad (ln)	Ln Edad	-0.151***	0.045	-0.024***	0.003
Probabilidad exportadora	Exp. (t - 1)	0.079	0.050	-0.015***	0.004
Grupo	Grupo	-0.118**	0.053	0.005	0.004
Pública	Pública	0.387***	0.132	0.044***	0.010
Multinacional	Multinac.	-0.723***	0.075	0.004	0.005
Capital humano	Remusup (t - 1)	0.011***	0.001	0.001***	0.000
Número de patentes	Patent. (t - 1)	0.016***	0.004	0.001***	0.000
Cooperación en I+D	Coopera	1.292***	0.048	0.029***	0.003
Probabilidad orientación fundamental	Inv. Fun. (t - 1)	0.104	0.072	0.042***	0.006
Probabilidad orientación aplicada	Inv. Apl. (t - 1)	0.572***	0.048	0.030***	0.003
Probabilidad orientación Desarr. tec.	Des. Tec. (t - 1)	0.717***	0.050	0.019***	0.003
Obstáculo: Factores económicos	Fac. Eco. (t - 1)	0.114**	0.055	-0.001	0.004
Obstáculo: Factores de conocimiento	Fac. Cono. (t - 1)	0.110**	0.056	0.006	0.004
Obstáculo: Factores de mercado	Otro Fac. (t - 1)	0.061	0.048	0.006*	0.003
	Constante	-3.083***	0.174	0.199***	0.012
	Observaciones	13088		13088	
	R ²			0.308	

Nota: *** p < 0.01, ** p < 0.05, * p < 0.1 (significativo a 1 %, 5 % y 10 % respectivamente).

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del PITEC.

Tabla 5.8 Correlaciones por pares: modelo final sin errores

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]
[1] Ln Emp (t-1)	1														
[2] Ln Edad	0.36	1													
[3] Exp. (t-1)	0.08	0.16	1												
[4] Grupo	0.48	0.12	0.09	1											
[5] Pública	0.12	-0.01	-0.12	-0.04	1										
[6] Multinac.	0.27	0.09	0.08	0.37	-0.07	1									
[7] Remusup (t-1)	-0.30	-0.32	-0.12	-0.09	0.01	-0.07	1								
[8] Patent. (t-1)	0.11	0.03	0.07	0.05	0.00	0.04	0.02	1							
[9] Inv. Fun. (t-1)	0.03	-0.01	0.03	-0.01	0.00	0.00	0.08	0.03	1						
[10] Inv. Apl. (t-1)	0.01	0.01	0.11	0.00	-0.01	-0.01	0.08	0.06	0.26	1					
[11] Des. Tec. (t-1)	0.02	-0.03	0.12	0.03	-0.03	-0.01	0.12	0.06	0.15	0.06	1				
[12] Coopera	0.17	0.00	0.01	0.18	0.05	0.06	0.11	0.06	0.07	0.14	0.15	1			
[13] Fac. Eco. (t-1)	-0.15	-0.07	-0.01	-0.13	-0.04	-0.10	0.07	-0.03	0.02	0.07	0.07	0.04	1		
[14] Fac. Cono. (t-1)	-0.09	-0.04	0.01	-0.08	-0.03	-0.08	0.03	-0.01	0.01	0.04	0.05	0.03	0.16	1	
[15] Otro Fac. (t-1)	-0.09	-0.02	0.02	-0.07	-0.06	-0.06	0.04	-0.02	0.01	0.05	0.03	0.02	0.16	0.25	1

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del PITEC.

5.4.1. Ajustes del modelo de aleatorización: selección del método de emparejamiento

El investigador debe seleccionar, entre los distintos algoritmos disponibles para el emparejamiento, un modelo y partir de este para realizar las estimaciones.¹³ Para ello, debe tener en cuenta la naturaleza de los datos y que el objetivo sería emparejar (y comparar) empresas tratadas y de control que sean lo más similares. Para el modelo inicial, se podría utilizar el algoritmo que empareja cada empresa tratada con una sola empresa de control; además, se ha optado por no condicionar la distancia máxima entre los puntajes estimados para las empresas tratadas y de control. Estas dos opciones son preferibles cuando hay suficientes casos –tanto de empresas tratadas como de control–, ya que implican que el modelo empareja las empresas más parecidas.

Asimismo, en este modelo inicial, se permite el remplazamiento de las empresas de control. Es decir, las empresas de control podrán ser contrafactual de más de una empresa que ha recibido ayudas. En este ejemplo, optamos por permitir el remplazamiento para asegurar tener suficientes casos para aquellos subconjuntos de empresas donde haya pocas empresas sin ayudas –siendo los que recogen las empresas que tengan un PS alto–. Como se ha indicado en el capítulo anterior, si no se admite el remplazamiento, habrá parejas de empresas con un PS más desigual, lo que podría generar un sesgo en el impacto estimado.

El modelo inicial se ha estimado usando las variables que se consideran relevantes mediante la revisión de la literatura empírica y la teoría económica. Los resultados del emparejamiento se muestran en la tabla 5.9. Los resultados de esta estimación inicial muestran que el emparejamiento conseguido no es idóneo, debido a que los valores medios de tres variables de control (patentes, el sector 3 e investigación fundamental) calculados después del emparejamiento no son estadísticamente iguales entre los dos grupos GT y GC. Además, el gráfico muestra que la distribución del PS en los dos grupos de empresas emparejadas (GT y GC) no es igual. Debido al mal emparejamiento observado en estas comprobaciones, es oportuno considerar el análisis exploratorio de los datos, realizado en el apartado anterior, y utilizar en el modelo solo aquellas variables relevantes que no presentan problemas relacionados con las correlaciones, distribuciones asimétricas, entre otros.

¹³ Las estimaciones se han realizado utilizando el módulo de Stata `psmatch2`, desarrollado por Leuven y Sianesi [2003].

Tabla 5.9 *Análisis del balance del emparejamiento*

Gráficos de distribución	Test de igualdad de medias después del emparejamiento				
	Variable	Tratado	Control	t	p> t
Antes del emparejamiento Propensity Score — Tratado - - - - Control	Sectores Tradicionales	0.12	0.13	-1.54	0.124
	Proveedores Tradicionales	0.08	0.08	-0.75	0.454
	Proveedores Especializados	0.10	0.08	2.23	0.026*
	Industrias Intensivas en Escala	0.12	0.11	0.41	0.681
	Industrias Intensivas en Conocimiento	0.07	0.07	0.18	0.855
	Serv. Alta Tecnología	0.25	0.26	-0.72	0.474
	Ln Emp (t - 1)	4.41	4.40	0.37	0.710
	Tam. >200	0.28	0.29	-0.66	0.507
	Ln Edad	3.21	3.20	0.71	0.478
	Exp. (t - 1)	0.57	0.57	0.36	0.718
	Grupo Nac.	0.41	0.42	-0.82	0.410
	Pública	0.04	0.03	1.36	0.174
	Multinac.	0.10	0.09	0.49	0.622
	Patent. (t - 1)	1.86	3.06	-3.05	0.002*
Después del emparejamiento Propensity Score — Tratado - - - - Control	Remusup (t - 1)	44.12	44.22	-0.13	0.898
	Inv. Apl. (t - 1)	38.36	37.72	0.68	0.493
	Inv. Fun. (t - 1)	2.97	3.64	-2.4	0.016*
	Des. Tec. (t - 1)	53.46	52.53	0.95	0.341
	Coopera	0.74	0.73	1.05	0.292
	Fac. Eco. 1(t - 1)	0.40	0.39	0.88	0.378
	Fac. Eco. 2(t - 1)	0.44	0.43	0.58	0.563
	Fac. Cono. 1 (t - 1)	0.08	0.08	0.61	0.539
	Fac. Cono. 2 (t - 1)	0.05	0.05	-0.17	0.868
	Otro Fac. 1(t - 1)	0.21	0.21	-0.23	0.815
	Otro Fac. 2(t - 1)	0.28	0.30	-1.53	0.126

Nota: *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$ (significativo a 1 %, 5 % y 10 %, respectivamente).

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del PITEC.

El camino del modelo inicial al modelo final.

La elaboración de modelos consecutivos por medio de un proceso continuo de prueba y error

Con el propósito de llegar al modelo final satisfactorio, se requiere la elaboración de modelos consecutivos por medio de un proceso continuo de prueba y error. Partiendo del modelo elegido, se ha optado por estimar el efecto de las ayudas a la innovación con cuatro algoritmos de emparejamiento alternativos.¹⁴ Por un lado, estos modelos permiten contrastar la robustez del modelo inicial, observando la variación que se presenta entre los coeficientes estimados en cada uno de los modelos y sus desviaciones típicas correspondientes. Además, las diversas formas de emparejamiento influyen sobre la calidad del propio *matching*; es decir, se podría utilizar para mejorar bien la aleatoriedad artificial del modelo o mejorar el área común de solapamiento.

Para la evaluación, se ha optado por utilizar algoritmos que emparejan una sola empresa de control con las tratadas (el vecino más cercano); como se ha indicado anteriormente, se considera que es la mejor opción para no distorsionar el efecto. Esto es debido a que la máxima reducción del sesgo se produce cuando todas las parejas son lo más idénticas posibles. En el caso de permitir el remplazamiento, permitimos que las empresas tratadas se emparejen con la empresa de control más similar, mientras que, si no se permitiese el remplazamiento, los emparejamientos serían entre empresas cada vez más alejadas en términos del PS, creando parejas cada vez peores.

Como se ha indicado en el capítulo 4, sección 4.3.2, el algoritmo del Propensity Score Matching (PSM) se puede modelizar o ajustar en distintas formas. El modelo inicial aquí estimado –el modelo básico– implica el emparejamiento por PSM de cada empresa subvencionada con una sola empresa de control con emparejamiento del vecino más cercano o Nearest Neighbour

¹⁴ Aquí se realizan pequeños comentarios al respecto, pero en el capítulo 4 se desarrollan con más detalle las ventajas e inconvenientes de cada algoritmo (4.3.2). En esta sección se debaten incluso algunos ajustes que no se han utilizado en este capítulo para simplificar las explicaciones.

Matching (NNM) sin entrar en consideraciones de la distancia entre los puntajes estimados.¹⁵

En el segundo modelo,¹⁶ se eliminan del proceso de emparejamiento las empresas con puntajes de probabilidad de obtener ayudas extremas. Como se puede observar en la figura 5.1, solo se incorporarían al análisis las empresas que se encuentren dentro de las bandas que marcan los valores mínimo y máximo del PS estimado, restringiendo del análisis las empresas con puntajes extremos. En realidad, se eliminan las empresas con una probabilidad de obtener ayudas muy altas o muy bajas. Esto se debe al hecho de que para las empresas tratadas con un PS muy alto posiblemente no se encuentren casos de control suficientes para calcular el ATET (pocas empresas de este tipo se han quedado excluidas de las ayudas). Por otro lado, si el PS es muy bajo, solo habrá unas pocas empresas con ayudas, lo que dificultaría el cálculo del efecto potencial sobre las empresas no tratadas (ATE). Sería interesante analizar cómo afecta esta exclusión al área de solapamiento y, además, en ambos grupos se podría debatir acerca de las pocas empresas con o sin tratamiento y si serían lo suficientemente representativas para el conjunto de estas empresas. Sin embargo, este último debate queda fuera del alcance de esta guía práctica.

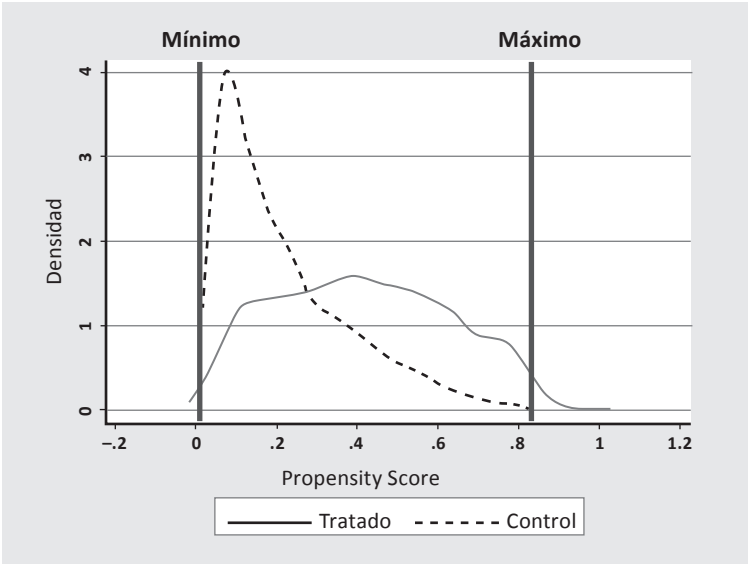
Mediante el tercer y cuarto ajustes, se condiciona todavía más el emparejamiento –buscando “clones” aún más perfectos– mediante la imposición de una distancia máxima entre los PS de las empresas emparejadas, aplicando dos límites: 0.003 y 0.001.¹⁷ Esto provoca que no se emparejen las empresas con distancias mayores a los valores asignados, lo que hará que solo se emparejen las empresas consideradas suficientemente similares. Igual que en el caso de la exclusión de los valores extremos, este ajuste sería otra forma de restringir el emparejamiento a las empresas más similares. Es decir, otra forma para asegurar una mejora de la asignación aleatoria entre el GC y GT, fortaleciendo la máxima similitud y disminuyendo el sesgo del impacto estimado.

¹⁵ Reflejado en la tabla 5.10 como NNM (1).

¹⁶ Reflejado como NNM (1) common.

¹⁷ Denominados en la tabla como NNM (1) cal (0.003) y cal (0.001). La distancia máxima se suele denominar en los paquetes estadísticos como *caliper*.

Figura 5.1 *Restringiendo empresas fuera del soporte común*



Fuente: elaboración propia a partir de los datos del PITEC.

Como se observa en la tabla 5.10, al analizar el número de casos emparejados, se observa que, dependiendo de las restricciones que se impongan al emparejamiento, el tamaño de la muestra de empresas tratadas se ve afectado muy poco. La exclusión de los valores extremos del PS disminuye el número de empresas tratadas en solo 19 unidades y la imposición de un *caliper* de 0.001 disminuye la muestra en 128 unidades. Se recomienda utilizar el *caliper*, principalmente, si existen muchos casos con valores extremos en combinación con pocas empresas de control. En este último caso, podría ocurrir que se empareje una empresa en la frontera con una empresa más alejada, mientras que puede haber empresas excluidas más parecidas o cercanas.

Tabla 5.10 *Efecto medio sobre los tratados (ATET)*

	Coef.	Desv. típica	Tratados	Control
NNM(1)	0.058***	0.011	3 506	2 180
NNM(1) comm	0.055***	0.008	3 487	2 180
NNM(1) cal (0.003)	0.055***	0.011	3 489	2 180
NNM(1) cal (0.001)	0.044***	0.008	3 378	2 177

Nota: 1. *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$ (significativo a 1 %, 5 % y 10 %, respectivamente).
2. Desviaciones típicas estimadas mediante Bootstrap con 50 repeticiones.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del PITEC.

Por otro lado, los resultados reflejan que los coeficientes estimados con los distintos algoritmos son muy parecidos y, además, si se analizan los intervalos de confianza, se confirma que no podemos rechazar la hipótesis de que los coeficientes sean iguales, lo que refleja cierta robustez del modelo. La similitud entre los cuatro ajustes se debe posiblemente al tamaño grande de la muestra que se ha utilizado en este capítulo. En este caso, los cuatro tipos de modelos serían aceptables, pero en el caso de una muestra pequeña se podrían encontrar diferencias mucho más acentuadas y se debería elegir cuál de ellos sería el más acertado, y decidir si se prefiere un menor sesgo del impacto estimado o un mayor nivel de representatividad, o, dicho de otro modo, un área común de solapamiento mayor.

De todos modos, la selección de uno de los cuatro ajustes no se basa en las diferencias del efecto identificado o el número de las empresas excluidas, sino en las mejoras del cumplimiento de los dos supuestos básicos. Para ello, se debe comprobar si los ajustes mejoran la aleatorización de la creación de los grupos GT y GC, y si mejora el problema en términos de área común de solapamiento. Para este último aspecto, se debe analizar, por un lado, si para todos los subconjuntos de empresas incluidos en el análisis se cumple la existencia de un área común de solapamiento; es decir, por cada subconjunto, se dispone de suficientes empresas tratadas y de control para que se les pueda considerar como representativos. Por otro lado, en el caso de los modelos que implican la exclusión de ciertas empresas tratadas, se debe estudiar con exactitud el perfil de las empresas que han quedado excluidas porque el hecho de que sean empresas específicas o atípicas podría implicar que se dificulte la generalización de los resultados para el conjunto de la población. En ambos casos –el estudio de las empresas incluidas o excluidas–, se debe explicar al autor las implicaciones y limitaciones de la generalización de los resultados. A continuación, se comprueban los supuestos básicos y se proponen ajustes (véase recuadro metodológico 5.3) para mejorar el modelo.

Recuadro metodológico 5.3 *Posibles ajustes y control de viabilidad del modelo inicial*

1. Eliminar variables del modelo o reducir el número de categorías de ciertas variables para disminuir el problema de multidimensionalidad.
2. Ajustar el algoritmo de emparejamiento exigiendo una distancia máxima en términos de PS para que dos empresas se queden emparejadas u otros ajustes en el algoritmo de emparejamiento.
3. Revisar la muestra de casos o empresas atípicas e influyentes, y tratarlas.
4. Analizar el área de solapamiento para detectar y/o eliminar aquellos casos para los que no existen empresas de control adecuadas (falta de área de solapamiento).

Fuente: elaboración propia.

5.4.2. Pruebas para comprobar la correcta aleatorización (ausencia de sesgo de selección)

Test de medias y análisis de la densidad de la distribución del Propensity Score Match

La comprobación de la calidad del emparejamiento es una pieza fundamental del análisis mediante la utilización del PSM, debido a que tenemos que conseguir que los grupos utilizados para la estimación del efecto (ATET) sean lo más similares. En esta sección, se explica, como se indica en el recuadro metodológico 5.4, diversos test y métodos para comprobar la idoneidad del emparejamiento.

Recuadro metodológico 5.4 *Análisis de la viabilidad del emparejamiento*

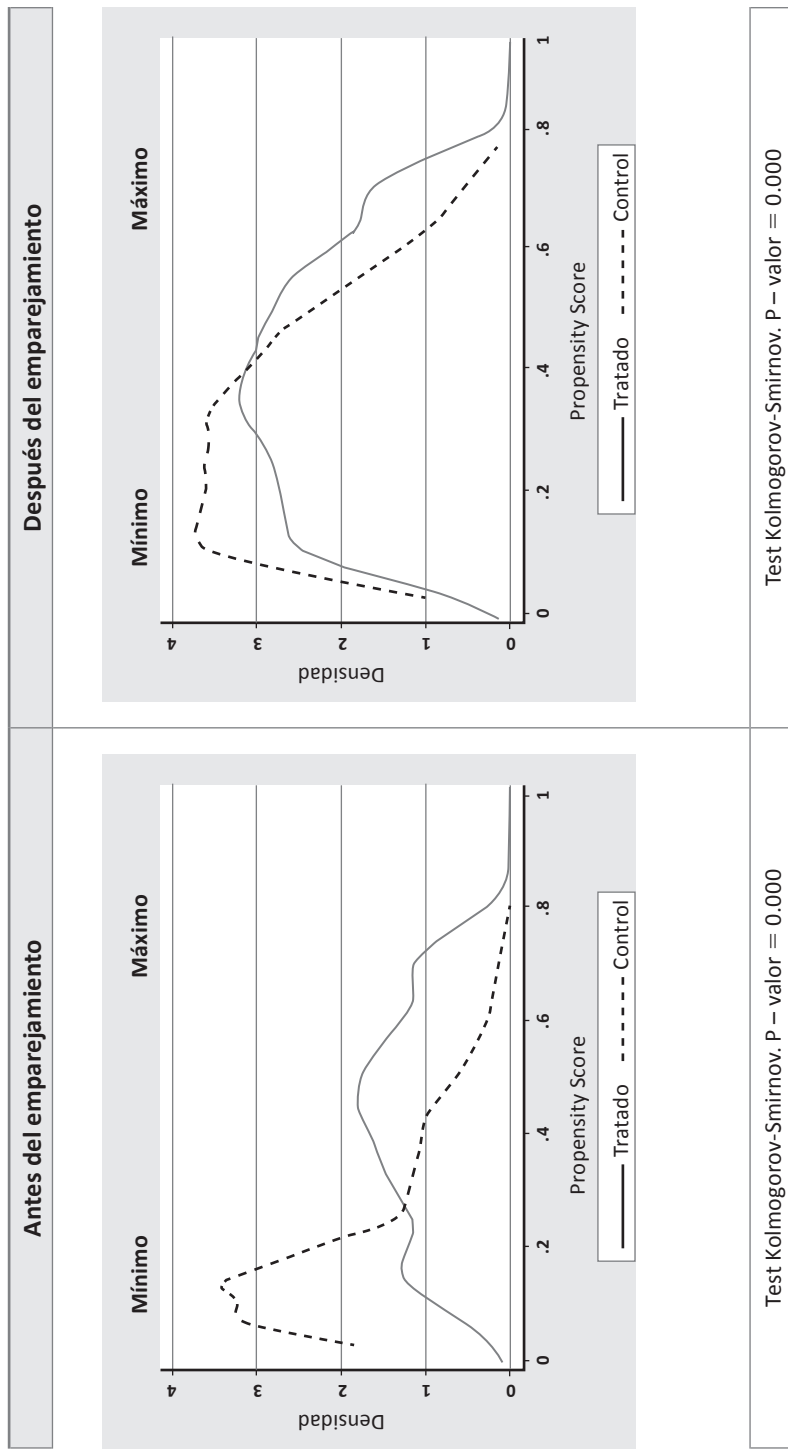
1. Análisis visual de las distribuciones del PS de obtener ayudas.
2. Análisis estadístico de la igualdad de las distribuciones del PS: el test de Kolmogorov-Smirnov.
3. Test de diferencia de medias de las variables del modelo.
4. Poder explicativo del modelo: el análisis del Pseudo R^2 y el logaritmo de verosimilitud de insignificancia conjunta del primer paso de la estimación
5. Análisis de la reducción del problema de selección o la diferencia entre los dos grupos (GT y GC).
6. Análisis de la diferencia estandarizada de las medias y la ratio de varianzas.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del PITEC.

La primera comprobación consiste en analizar el gráfico de las distribuciones del PS para ambos grupos de empresas (con y sin ayudas) antes y después del emparejamiento. Cuanto más parecida es la distribución, mejor sería la calidad del modelo. En el caso de que se observen algunas diferencias importantes o que, en cierto tramo de la curva, se detecten algunos valores (picos) diferenciados, se debería reiniciar el proceso de emparejamiento mediante la inclusión o exclusión de variables o alterando su codificación.

Los gráficos de densidad de la distribución del *propensity score* nos permiten analizar visualmente si existen diferencias significativas en la distribución del PS entre los grupos. La figura 5.2 muestra los gráficos antes y después del emparejamiento. Se puede observar que, una vez aplicado el emparejamiento (PSM), las distribuciones del GT y del GC se aproximan más, pero, a pesar de este acercamiento, no se pueden considerar iguales. Además del análisis visual, se puede aplicar un análisis más formal de las distribuciones. El test de Kolmogorov-Smirnov (K-S) nos permite evaluar la hipótesis nula de que las dos muestras tienen la misma distribución. El

Figura 5.2 Gráficos de densidad de la distribución del propensity score



Fuente: elaboración propia a partir de los datos del PITEC.

resultado del test rechaza la hipótesis, por lo que confirma nuestra conclusión basada en la revisión visual del gráfico: las dos distribuciones no son iguales.

Complementariamente al análisis gráfico de la distribución del PS, se realiza un análisis estadístico del emparejamiento para cada una de las variables. Para esto, se realiza un test de igualdad de medias y de la varianza entre los grupos para cada una de ellas. Esta comprobación nos permitirá constatar si los valores medios de las variables utilizadas en la estimación son estadísticamente iguales en los dos grupos (GT y GC). La tabla 5.11 recoge los resultados del test de igualdad de medias realizado entre los grupos tratados y de control antes y después del emparejamiento. El análisis de las diferencias estandarizadas de las medias nos permite comprobar la reducción del sesgo presentado para cada una de las variables. Los valores deberán tender a 0 después del emparejamiento, lo que nos indicaría que el emparejamiento es correcto. En otras palabras, si para una o algunas de las variables las diferencias de medias fueran estadísticamente significativas se debe concluir que los grupos GC y GT no serían iguales respecto a estas variables, lo que podría sesgar la estimación del impacto. El test de igualdad de medias realizado para este ejemplo (tabla 5.11) indica que casi todas las variables, excepto el sector 5, son estadísticamente iguales a 5 %. Por lo tanto, desde un punto de vista de la igualdad de medias, el emparejamiento sería idóneo. Aunque, como se observa en la siguiente sección, se ha identificado un problema en la igualdad de varianza.

Tabla 5.11 *Test de igualdad de medias*

Variable	Antes del emparejamiento				Después del emparejamiento			
	Tratado	Control	t	$p > t $	Tratado	Control	t	$p > t $
Sectores tradicionales	0.147	0.208	-18.27	0.000	0.122	0.117	0.55	0.581
Proveedores tradicionales	0.069	0.072	-1.60	0.109	0.077	0.084	-1.01	0.313
Proveedores especializados	0.096	0.098	-0.84	0.399	0.096	0.096	-0.04	0.968
Industrias intensivas en escala	0.117	0.079	16.19	0.000	0.117	0.112	0.60	0.548
Industrias intensivas en conocimiento	0.071	0.067	1.99	0.047	0.074	0.088	-2.01	0.044*
Serv. Alta Tecno.	0.227	0.071	63.24	0.000	0.248	0.252	-0.41	0.679
Ln Emp (t - 1)	4.203	4.164	2.50	0.012	4.413	4.400	0.31	0.754
Ln Edad	2.927	3.104	-30.57	0.000	3.211	3.202	0.63	0.530
Exp. (t - 1)	0.510	0.379	29.43	0.000	0.569	0.575	-0.51	0.612
Grupo	0.427	0.406	5.09	0.000	0.505	0.509	-0.36	0.720
Pública	0.032	0.019	10.29	0.000	0.038	0.036	0.51	0.613
Multinac.	0.079	0.126	-17.18	0.000	0.095	0.088	1.04	0.300
Remusup (t - 1)	42.296	23.086	71.82	0.000	44.118	44.390	-0.36	0.719
Patent. (t - 1)	1.755	0.259	25.57	0.000	1.864	1.982	-0.41	0.680
Inv. Fun. (t - 1)	0.145	0.049	43.33	0.000	0.144	0.148	-0.47	0.636
Inv. Apl. (t - 1)	0.640	0.242	100.18	0.000	0.652	0.651	0.08	0.940
Des. Tec. (t - 1)	0.748	0.286	113.11	0.000	0.763	0.769	-0.59	0.554
Coopera	0.662	0.291	91.78	0.000	0.740	0.724	1.54	0.124
Fac. Eco. (t - 1)	0.773	0.635	32.24	0.000	0.801	0.806	-0.51	0.609
Fac. Cono. (t - 1)	0.266	0.207	15.71	0.000	0.236	0.232	0.37	0.714
Otro Fac. (t - 1)	0.363	0.386	-5.15	0.000	0.378	0.400	-1.86	0.063*

* La diferencia de medias es estadísticamente significativa.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del PITEC.

Análisis de la varianza y el área común de solapamiento

El análisis de la varianza se utiliza, en parte, para analizar el área común de solapamiento. La ratio de varianzas¹⁸ de las variables resulta reveladora a la hora de identificar si los grupos son iguales, no solo en términos de la media de sus valores, sino en la dispersión que presentan. Si uno de los grupos presenta una mayor dispersión, nos indica que tiene valores muy alejados del valor medio, lo que provocará que el emparejamiento de esos casos se haya realizado con empresas que no son iguales. Es decir, si la ratio de varianzas no tiende a uno, significará que esas variables podrían presentar un problema de falta de área común de solapamiento.

Dado que conseguir una ratio igual a uno es muy improbable, se considera que el emparejamiento es bueno cuando la ratio no excede los percentiles 2.5 o 97.5 de la distribución F. En la tabla 5.12, se observa que para dos variables la ratio excede los límites establecidos (tamaño de empresa y número de patentes). Respecto a la variable número de patentes, no sería sorprendente, ya que es la variable con mayor varianza ya antes del emparejamiento.

¹⁸ Diferencias estandarizadas de las medias:

$$\delta(t, t_0) = \frac{\hat{\mu}_x(t_1) - \hat{\mu}_x(t_0)}{\sqrt{\hat{\sigma}_x^2(t_1) + \hat{\sigma}_x^2(t_0)}} \text{ donde: } \hat{\mu}_x(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i=t)x_i; \hat{\sigma}_x(t) = \frac{1}{N_{t-1}} \sum_{i=1}^N (t_i=t)x_i - \hat{\mu}_x(t))^2$$

$$\text{La ratio de varianzas es: } \frac{\hat{\sigma}_x(t_1)}{\hat{\sigma}_x(t_0)}$$

Tabla 5.12 Medias estandarizadas y ratio de varianzas

	Medias estandarizadas		Ratio de varianzas	
	Antes	Después	Antes	Después
Sector 1	-0.250	0.013	0.634	1.031
Sector 2	0.021	-0.024	1.069	0.928
Sector 3	-0.078	-0.001	0.822	0.997
Sector 4	0.014	0.014	1.034	1.035
Sector 5	-0.149	-0.048	0.661	0.862
Serv. Alta Tec.	0.415	-0.010	2.178	0.989
Ln Emp (t - 1)	0.049	0.008	1.047	0.805*
Ln Edad	-0.213	0.015	1.095	1.027
Exp. (t - 1)	0.008	-0.012	0.998	1.004
Grupo	0.001	-0.009	1.000	1.000
Pública	0.102	0.012	1.790	1.061
Multinac.	-0.207	0.025	0.627	1.073
Remusup (t - 1)	0.486	-0.009	1.363	1.010
Patent. (t - 1)	0.139	-0.010	9.682	1.310*
Coopera	0.746	0.037	0.807	0.962
Inv. Fun. (t - 1)	0.208	-0.011	1.698	0.978
Inv. Apl. (t - 1)	0.374	0.002	0.911	0.999
Des. Tec. (t - 1)	0.485	-0.014	0.728	1.018
Fac. Eco. (t - 1)	0.148	-0.012	0.827	1.019
Fac. Cono. (t - 1)	0.113	0.009	1.173	1.011
Otro Fac. (t - 1)	0.085	-0.044	1.052	0.980

* Valores que exceden los percentiles de la distribución F.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del PITEC.

5.4.3. Validación de la fiabilidad del modelo en su conjunto

Una vez analizado el cumplimiento de los dos supuestos para el PS y para las variables a nivel individual, se debe comprobar también la idoneidad del modelo en su conjunto. Una primera forma de tal análisis es repetir el primer paso del PSM (la regresión logística), usando solo el conjunto de las empresas emparejadas. En realidad, este test comprueba la relevancia de las variables de control mediante un intento por identificar a las empresas beneficiadas, utilizando solo la muestra de empresas tratadas y de control que han sido emparejadas. Si el modelo estimado, con la muestra obtenida después del emparejamiento,¹⁹ no es significativo –como ocurre en este caso– se puede considerar que las empresas de ambos grupos son iguales. Es decir, no se puede rechazar la hipótesis de insignificancia conjunta de estas variables, ya que su poder explicativo es nulo.

Un primer indicador al respecto sería el R^2 , que refleja el poder explicativo del modelo,²⁰ dado que el Pseudo R^2 muestra la calidad con la que se puede predecir a las empresas no receptoras, respecto de las receptoras. Si existiera una igualdad perfecta entre las empresas del GC y GT, el valor observado del R^2 correspondiente al modelo emparejado debería tender a cero, ya que si los grupos son iguales, sería difícil predecir la pertenencia a uno de los dos grupos. Es decir, se han aleatorizado de forma correcta ambos grupos y no se podría predecir la pertenencia a uno de los dos grupos. Otro indicador que aporta información sobre la precisión del modelo sería la ratio de verosimilitud de

¹⁹ Es decir, excluyendo las empresas que no hayan sido utilizadas como empresa de control en el PSM.

²⁰ Para los lectores ajenos a este tipo de análisis, se puede destacar que el R^2 , coeficiente de determinación, refleja la proporción de variación de los resultados que puede explicarse por el modelo, y el R^2 corregido realiza un ajuste a este coeficiente, considerando el número de variables incluidas en el modelo. En muchos estudios basados en datos empresariales, el R^2 resulta ser muy bajo (menor al 0.3). Es más, un R^2 muy alto apuntaría a un posible problema metodológico o error de la especificación del modelo o de la base de datos utilizados. El bajo nivel de explicación se debe a la gran heterogeneidad, entre las empresas, que impide generalizar más.

insignificancia conjunta (LRchi²).²¹ Para que el modelo sea válido, no se debe rechazar que la ratio LRchi² sea no significativa.

El rechazo de este parámetro nos indica que las variables de control son, después del emparejamiento, incapaces de predecir correctamente la asignación entre tratados y no tratados. Con base en esto, se puede considerar que el emparejamiento es adecuado, ya que el Pseudo R² o LRchi² tiende a 0 y no se puede rechazar la insignificancia conjunta.

Otra prueba de la fiabilidad del emparejamiento sería el análisis del sesgo estandarizado entre los grupos²² [Rosenbaum y Rubin, 1985], medido en sus valores medios y medianos. Para que el PSM sea válido, se considera suficiente una reducción de 3 o 5 % del sesgo estandarizado después del emparejamiento [Ho *et al.*, 2007]. Se considera que el emparejamiento es bueno si se ha producido una reducción del sesgo medio no menor a 5 %. En los resultados de la tabla 5.13 se observa que la reducción de la media del sesgo ha sido de 26.6 %. Una última forma complementaria sería el análisis del valor de la diferencia absoluta de las medias estandarizadas (B) y la ratio de varianzas (R). Para considerarse un buen emparejamiento, el valor de las medias estandarizadas debería ser inferior a 25 y el valor de la ratio de varianzas debería estar entre 0.5 y 2.0, y en ambos casos se cumplen claramente estos requisitos [Rubin, 2001].

²¹ Para los lectores con pocos conocimientos de los modelos, se puede indicar que las razones de verosimilitud o *likelihood ratio* es un test o herramienta que resume la precisión de una prueba diagnóstica; el *likelihood ratio* (LR) se estima por medio de la razón entre la posibilidad de observar un resultado (en nuestro caso el impacto de las ayudas) en las empresas con ayudas *versus* la posibilidad de ese resultado en las empresas sin ayudas.

²² El sesgo estandarizado para cada variable de control se estima como la diferencia de medias de los dos grupos dividida por la raíz cuadrada de la media de las desviaciones típicas de los dos grupos y multiplicado por 100, con base en la fórmula:

$$sesgo_x = \frac{x_T - x_C}{\sqrt{S_T^2 + S_C^2 / 2}} * 100$$

Tabla 5.13 Balance global de la estimación

	Antes del emparejamiento	Después del emparejamiento
Pseudo R ²	0.225	0.002
LRchi ²	13217.16	17.300
p > chi ²	0.000	0.693
Mean bias	28.2	1.6
Med bias	15.5	1.2
B	127.4	9.90
R	1.10	0.97

Nota: 1. B = diferencia absoluta de las medias estandarizadas. 2. R = ratio de varianzas.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del PITEC.

Como se ha podido observar, los distintos contrastes de la calidad del emparejamiento nos muestran cosas contradictorias. Los contrastes realizados en sección 5.4.2, respecto a las variables individuales, indican, por un lado, que el resultado gráfico y el test formal de distribuciones (el test de Kolmogorov-Smirnov rechaza la hipótesis de igualdad de distribución) no son del todo idóneos. Mientras tanto, la comparación de los valores cuantitativos de las medias y varianzas para cada variable del modelo nos indica lo contrario. El test de igualdad de medias de las variables muestra que después del emparejamiento los grupos muestran valores similares en cada una de ellas. Además, las diferencias de medias estandarizadas tienden a 0 después del emparejamiento y la ratio de varianzas no muestra valores fuera del rango óptimo considerado. Finalmente, los análisis del modelo en su conjunto (sección 5.4.3) reflejan, como balance global, que se ha producido una reducción significativa del sesgo y que las variables de control, después del emparejamiento, no pueden clasificar correctamente a las empresas entre tratadas y control.

Estos resultados contradictorios nos muestran que si no realizamos todos los posibles contrastes existentes se pueden obtener resultados sesgados. Por ejemplo, si solo analizamos los datos del balance de la estimación consideraríamos que el emparejamiento ha sido correcto, pero al evaluar todas las pruebas la conclusión es que el emparejamiento no es del todo idóneo.

5.5. *Supuesto de la independencia de efectos a nivel individual (SUTVA)*

5.5.1. Comparación del impacto de distintos programas en apoyo a la I+D e innovación empresarial

Una vez comprobada la satisfacción de los dos supuestos básicos (una correcta aleatorización y área de solapamiento), se debe comprobar un último supuesto: la independencia de efectos a nivel individual (SUTVA)²³ (véanse también las secciones 3.4.4. y 4.5 de los capítulos 3 y 4, respectivamente). Como se ha indicado en el capítulo 4, el supuesto SUTVA se refiere a dos componentes [Rubin, 1980]: la ausencia de interacción entre las unidades de observación, en el sentido de que las ayudas para una empresa en concreto no influyen sobre el gasto en I+D e innovación de las demás empresas. El segundo componente se refiere a que el efecto de las ayudas es igual para todas las unidades tratadas. Este supuesto exige la existencia de un efecto medio idéntico en todo tipo de empresas. Aplicando el método de *matching*, tal como hemos hecho hasta ahora, se está asumiendo que el efecto es igual para todas las empresas, independientemente del hecho de que algunas participen en programas distintos (europeos, regionales o nacionales) o, incluso, en más de un programa. Además, el efecto también sería igual, independientemente del hecho de que las empresas reciben ayudas en distintas intensidades para su gasto (definido como ayuda dividido por el gasto en I+D). Tales supuestos implican que se podría estar incumpliendo el SUTVA.

A pesar de haber aplicado diversos ajustes de los modelos presentados, el emparejamiento sigue sin poder ser considerado como bueno. Por eso, es probable que el emparejamiento no sea posible debido a la violación de uno o más supuestos básicos del modelo. En el ejemplo desarrollado para este capítulo, se consideró como variable de tratamiento una que toma valor 1 si las empresas han recibido al menos una de las tres ayudas evaluadas (regional, nacional y de la Unión Europea), lo que implícitamente conlleva una heterogeneidad, ya que los requisitos y el proceso de selección de estas ayudas son muy diferentes. En el ejemplo de la siguiente sección, se analiza si el problema está relacionado con el hecho de que se incumple la igualdad del efecto en las empresas, aplicando el PSM, según el tipo de programas individuales o debido al *policy mix* donde empresas participan en más de un programa.

²³ En inglés Stable Unit Treatment Value Assumption [Rubin, 1980; Cox, 1958].

5.5.2. Evaluación simultánea de múltiples programas y/o distintas intensidades de ayuda

Como no se ha podido conseguir un emparejamiento de calidad, se deduce que se está violando el supuesto SUTVA, debido a que las empresas que están sometidas a las distintas ayudas o a una combinación de estas presentan resultados diferentes. Es decir, lo que se está produciendo es que las empresas responden de manera diferente a los distintos niveles de intensidad de ayudas. Esto puede producirse porque las cantidades subvencionadas son más grandes en alguno de los programas o porque participar en ciertos programas aporta más beneficios que los económicos, como, por ejemplo, relaciones o colaboraciones.

Para captar el efecto que tienen las distintas ayudas, resulta necesario reiniciar el proceso descrito hasta el momento, con la salvedad de que no se puede utilizar la variable de tratamiento definida originalmente.²⁴ Se debe diseñar un proceso de evaluación alternativa, donde se construya un grupo de variables de tratamiento, mutuamente excluyentes, compuesto por siete variables. Es decir, se debe evaluar por separado a las empresas que reciben una única ayuda, las combinaciones de las que reciben dos ayudas y, finalmente, a las empresas que son beneficiarias de las tres ayudas.

La construcción de los grupos mutuamente excluyentes es necesaria para evitar que las empresas receptoras de varias ayudas alteren los resultados sesgando el efecto al alza. Es decir, así evitamos que una ayuda presente un efecto alto provocado por la influencia de otra ayuda.

Para el nuevo análisis, repetimos los procedimientos seguidos previamente. Es decir, realizamos las estimaciones con distintos algoritmos para evaluar el efecto presentado en cada uno de ellos y la muestra que se pierde al condicionar los emparejamientos.

En la tabla 5.14, se puede observar que el efecto estimado con los distintos algoritmos es estadísticamente igual. Esto nos permite basar la elección de este en los contrastes de calidad del emparejamiento. Para la correcta elección, será necesario valorar, además, las observaciones que se restringen al utilizar los distintos algoritmos.

²⁴ Este tipo de análisis ha sido considerado previamente por Busom *et al.* [2014]; Czarnitzki y Lopes-Bento [2014]; Dumont [2017]; Carboni [2017]; Neicu [2019], entre otros.

Tabla 5.14 *ATET por tipos de ayudas*

	NNM (1)		NNM (1) cal. 0.003		NNM (1) cal. 0.001	
	Coef.	DT	Coef.	DT	Coef.	DT
Solo regional	0.030 **	0.013	0.030 **	0.014	0.031 ***	0.010
Solo nacional	0.027 **	0.012	0.026 **	0.011	0.025 **	0.012
Solo Unión Europea	-0.006	0.028	-0.006	0.029	-0.009	0.030
Regional y nacional	0.083 ***	0.023	0.076 ***	0.025	0.064 ***	0.022
Regional y Unión Europea	0.138 ***	0.051	0.120 ***	0.043	0.122 **	0.050
Nacional y Unión Europea	0.111 ***	0.035	0.115 ***	0.033	0.116 ***	0.039
Regional, nacional y Unión Europea	0.261 ***	0.035	0.211 ***	0.039	0.223 ***	0.041

Nota: 1. DT = desviación típica estimada mediante Bootstrap con 50 repeticiones. 2. *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$ (significativo a 1 %, 5 % y 10 % respectivamente).

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del PITEC.

La tabla 5.15 recoge el número de empresas emparejadas en los distintos algoritmos utilizados. Esto nos indica el coste que tiene, en la pérdida del número de observaciones –en cuanto a la muestra–, buscar emparejamientos entre empresas muy similares, debido a que cuanto más estricta sea la distancia permitida entre los PS estimados, más empresas tratadas se quedarán fuera del análisis. Mientras que en el modelo global se perdieron 228 empresas, en el caso de separar las ayudas y sus combinaciones se pierden 242. Para comprobar si la exclusión de tantas empresas genera un problema respecto al área de solapamiento, se podría crear un perfil de las empresas excluidas por medio de una regresión logística.²⁵

Al incrementar el número de formas de tratamiento, la dimensión de los contrastes es mucho mayor. Debido al espacio que ocuparía presentar todos los resultados, se ha optado por resumirlos en sus componentes básicos, como se ha realizado en la mayoría de los estudios de valuación publicados en la literatura empírica. A continuación, se presentan los resul-

²⁵ Dicha regresión logística se crearía mediante una muestra de las empresas con ayudas donde la variable dependiente sería el 0 para las empresas incluidas en el análisis y 1 para las excluidas.

Tabla 5.15 Casos emparejados

	Total		Emparejados						
			NNM (1)		NNM (1) cal 0.003		NNM (1) cal. 0.001		
	Tratados	Control	Tratados	Control	Tratados	Control	Tratados	Control	
Solo regional	1 055	9 582	1 055	915	1 055	915	1 051	913	-4
Solo nacional	1 054	9 582	1 054	901	1 044	898	1 030	889	-24
Solo Unión Europea	281	9 582	281	271	277	268	273	267	-8
Regional y nacional	376	9 582	376	328	369	326	359	323	-17
Regional y Unión Europea	134	9 582	134	123	131	121	124	115	-10
Nacional y Unión Europea	231	9 582	231	188	210	181	183	166	-48
Regional, nacional y Unión Europea	375	9 582	375	240	292	230	244	218	-131
	3 506	9 582	3 506	2966	3 378	2 939	3 020	2 891	-242

Nota: observaciones para el total de la muestra y para los casos emparejados utilizando los distintos algoritmos de emparejamiento.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del PITec.

tados del balance del emparejamiento. La tabla 5.16 recoge los resultados de balance global para todos los grupos evaluados, y la figura 5.4 muestra el análisis gráfico y formal de las distribuciones. Con base en los contrastes realizados, se confirma que el emparejamiento ha sido correcto en todos los grupos evaluados.

Una vez analizado el cumplimiento de los dos supuestos para el PS y para las variables a nivel individual, se debe comprobar también la idoneidad del modelo en su conjunto. En este caso, los distintos indicadores de la tabla 5.16 –la R^2 , la ratio de verosimilitud de insignificancia conjunta (LRchi²), el sesgo de medias estandarizadas y los indicadores basados en las medias estandarizadas y la ratio de varianzas– reflejan unos modelos correctos.

En la figura 5.3, se presenta el análisis gráfico, el test de igualdad de distribución de Kolmogorov-Smirnov y el test de igualdad de medias para las empresas que participan de las tres ayudas. Se observa que el emparejamiento sin restricciones provee resultados que incumplen el supuesto de igualdad, debido a que el test de medias presenta dos variables con diferencias significativas después del emparejamiento. También, el análisis visual de las distribuciones del PS de ambos grupos (GT y GC) concluye que los grupos no pueden ser considerados iguales, y se confirma con el test K-S. Sin embargo, al analizar el emparejamiento restringiendo la distancia máxima del *propensity score* a 0.001, se observa que tanto el test de medias como el resultado gráfico y analítico de las distribuciones nos indican que el emparejamiento ha sido correcto. Es decir, en este caso ha sido necesario evitar que empresas tratadas y de control con un PS muy distinto puedan ser emparejadas, un hecho que ocurre con bastante frecuencia en muestras más reducidas con empresas bastante heterogéneas.

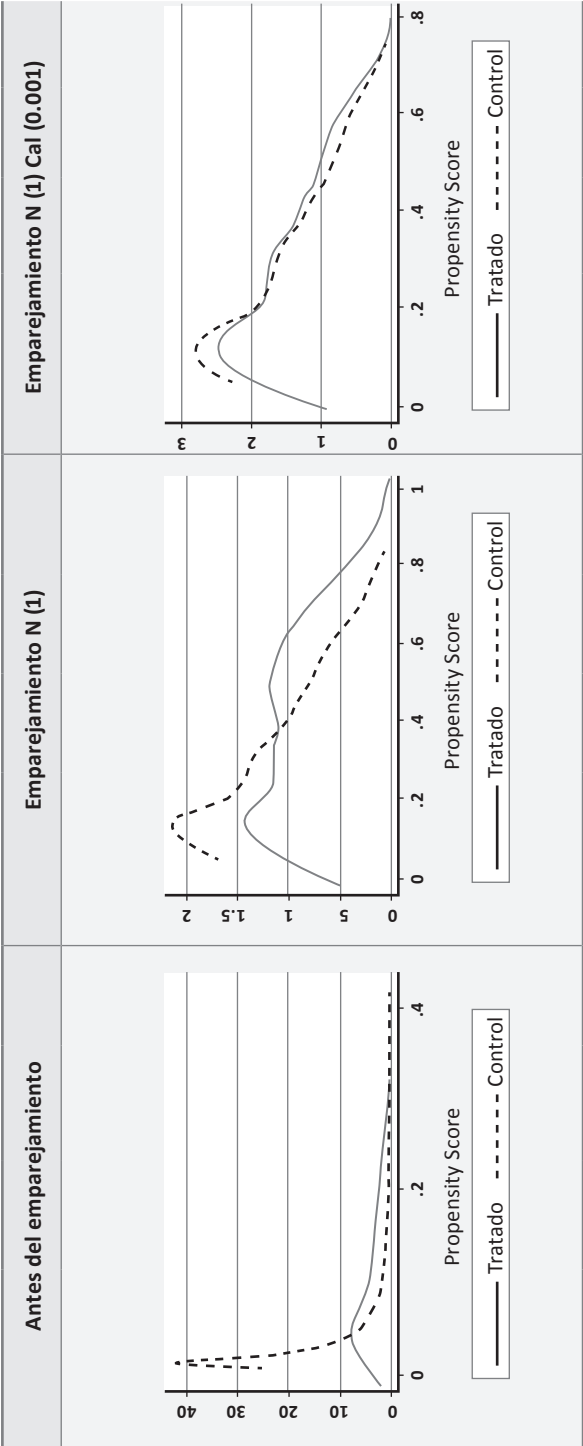
De manera análoga a la comparación del impacto, según combinaciones en la participación de los programas, se puede analizar el impacto diferencial conforme a la intensidad de las ayudas. Para ello, se debería crear una variable ordinal agrupando las empresas de cada intervalo de intensidad de las ayudas (volumen de fondos públicos obtenido dividido por el gasto total en I+D e innovación). Una vez obtenidos estos intervalos, se pueden considerar cada uno de ellos como un programa diferente y realizar el mismo análisis para los programas regionales, nacionales y europeos, con la ventaja de que los intervalos de intensidad de las ayudas son mutuamente excluyentes.

Tabla 5.16 *Balance después del emparejamiento*

	Antes del emparejamiento						Después del emparejamiento							
	Ps R ²	LR chi ²	p>chi ²	Mean bias	Med bias	B	R	Ps R ²	LR chi ²	p>chi ²	Mean bias	Med bias	B	R
Solo regional	0.13	3594.5	0.000	25.3	18.3	103.8	0.86	0.01	21.81	0.411	3.6	2.8	20.3	0.82
Solo nacional	0.16	4038.2	0.000	26.7	14.8	114.6	1.00	0.00	7.29	0.997	2.0	2.0	11.8	0.75
Solo Unión Europea	0.16	876.48	0.000	27.3	11.1	136.9	1.16	0.01	10.09	0.978	4.5	4.6	27.2	0.81
Regional y nacional	0.25	4199.9	0.000	34.3	23.9	161.0	0.90	0.01	7.52	0.997	3.2	3.1	20.5	1.07
Regional y Unión Europea	0.25	883.6	0.000	37.3	17.3	197.1	0.76	0.04	13.00	0.877	7.6	5.5	45.8	0.85
Nacional y Unión Europea	0.36	2135.3	0.000	46.9	33.5	228.1	0.79	0.03	13.62	0.885	7.7	6.8	38.9	0.88
Regional, nacional y Unión Europea	0.52	5485.1	0.000	54.2	30.1	266.4	0.86	0.02	11.02	0.962	5.7	4.5	30.1	0.80

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del PITEC.

Figura 5-3 *Emparejamiento de empresas que obtienen de forma simultánea ayudas europeas, nacionales y regionales*



Test Kolmogorov-Smirnov. P-valor = 0.000				Test Kolmogorov-Smirnov. P-valor = 0.056				Test Kolmogorov-Smirnov. P-valor = 0.682			
Test de igualdad de medias				Test de igualdad de medias				Test de igualdad de medias			
Variable	Tratado	Control	p-valor	Variable	Tratado	Control	p-valor	Variable	Tratado	Control	p-valor
Sector 1	0.021	0.208	0.000	Sector 1	0.024	0.00	1.000	Sector 1	0.037	0.00	1.000
Sector 2	0.021	0.072	0.000	Sector 2	0.027	-0.43	0.666	Sector 2	0.041	-0.22	0.824
Sector 3	0.027	0.098	0.000	Sector 3	0.027	0.23	0.817	Sector 3	0.037	0.00	1.000
Sector 4	0.094	0.079	0.037	Sector 4	0.099	-1.27	0.206	Sector 4	0.127	-1.03	0.303
Sector 5	0.018	0.067	0.000	Sector 5	0.029	-2.54	0.011*	Sector 5	0.045	-1.34	0.181

(Continúa)

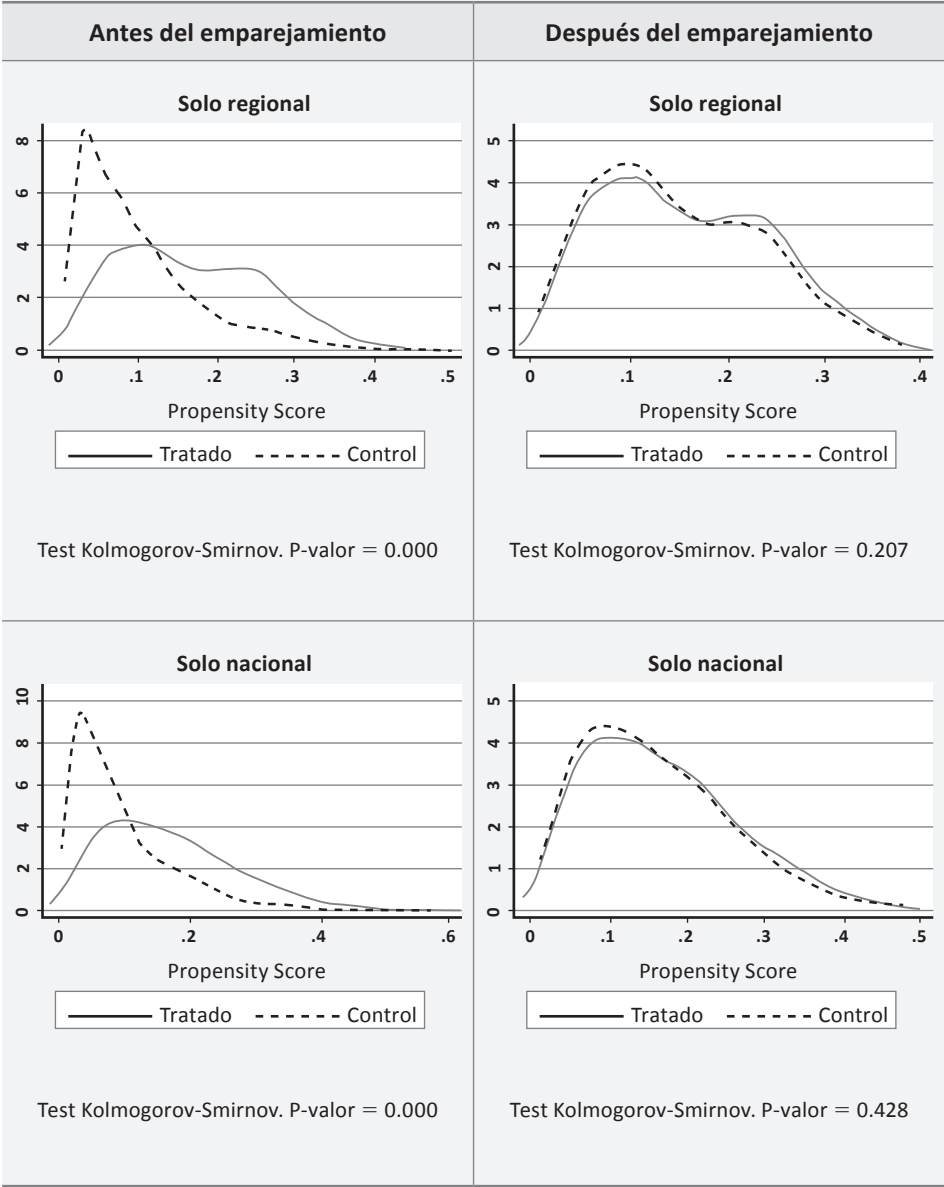
Figura 5.3 Emparejamiento de empresas que obtienen de forma simultánea ayudas europeas, nacionales y regionales

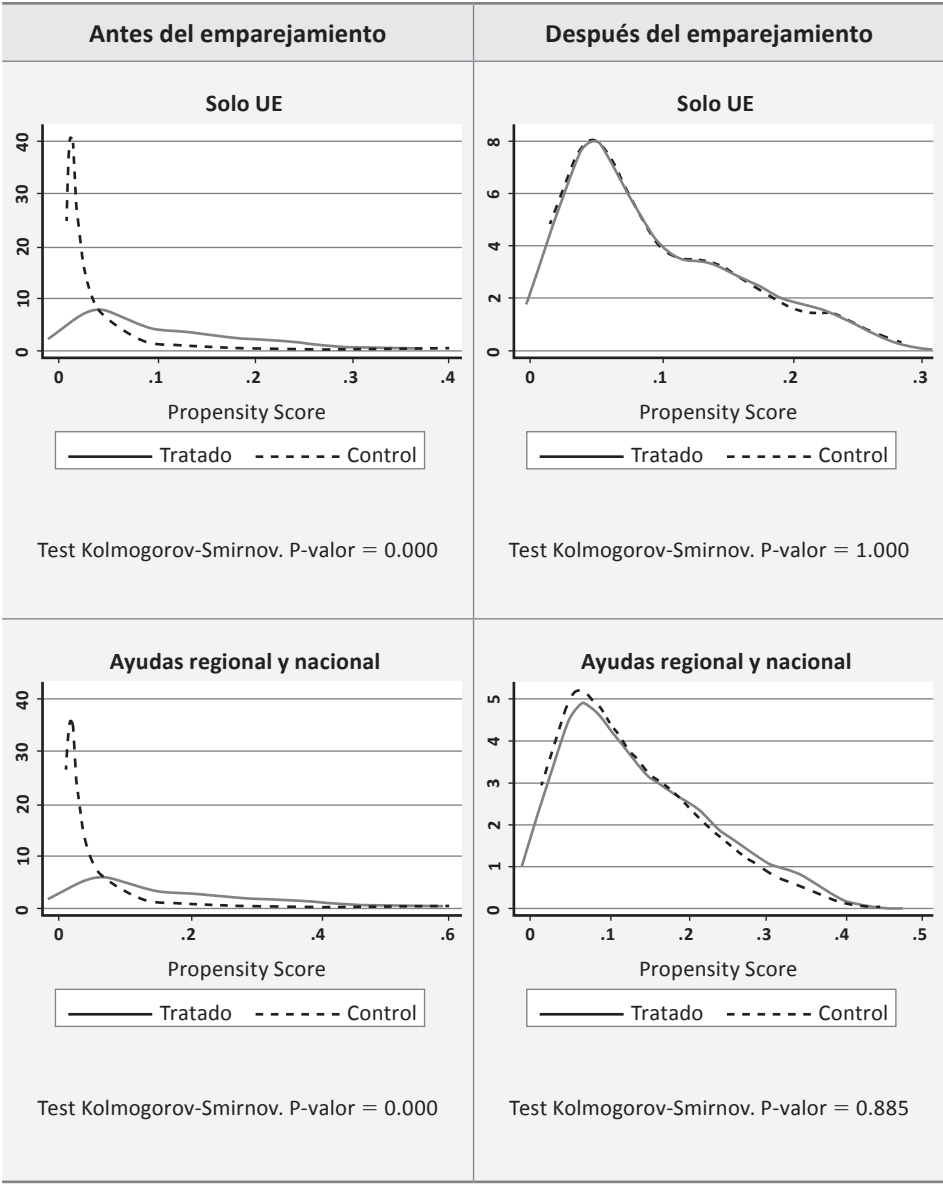
Serv. Alta Tec.	0.566	0.071	0.000	Serv. Alta Tec.	0.547	1.68	0.093	Serv. Alta Tec.	0.414	1.30	0.194
Ln Emp (t - 1)	4.772	4.164	0.000	Ln Emp (t - 1)	4.940	-1.93	0.054	Ln Emp (t - 1)	4.844	-0.45	0.652
Ln Edad	2.857	3.104	0.000	Ln Edad	3.061	0.02	0.987	Ln Edad	3.113	-0.23	0.819
Exp. (t - 1)	0.489	0.379	0.000	Exp. (t - 1)	0.603	-0.22	0.823	Exp. (t - 1)	0.566	-0.73	0.464
Grupo	0.398	0.406	0.554	Grupo	0.440	-3.98	0.000*	Grupo	0.525	-0.82	0.414
Pública	0.078	0.019	0.000	Pública	0.059	0.16	0.875	Pública	0.049	-1.13	0.259
Multinac.	0.041	0.126	0.000	Multinac.	0.048	-1.10	0.272	Multinac.	0.057	-0.56	0.579
Remusup (t - 1)	62.343	23.086	0.000	Remusup (t - 1)	62.686	-0.14	0.887	Remusup (t - 1)	57.397	0.16	0.872
Patent. (t - 1)	4.644	0.259	0.000	Patent. (t - 1)	6.979	0.61	0.542	Patent. (t - 1)	2.586	-0.79	0.430
Inv. Fun. (t - 1)	0.266	0.049	0.000	Inv. Fun. (t - 1)	0.283	0.00	1.000	Inv. Fun. (t - 1)	0.221	-0.32	0.747
Inv. Apl. (t - 1)	0.846	0.242	0.000	Inv. Apl. (t - 1)	0.837	-0.30	0.765	Inv. Apl. (t - 1)	0.770	-0.77	0.442
Des. Tec. (t - 1)	0.836	0.286	0.000	Des. Tec. (t - 1)	0.867	-0.77	0.439	Des. Tec. (t - 1)	0.836	0.12	0.903
Coopera	0.878	0.291	0.000	Coopera	0.901	-0.25	0.805	Coopera	0.861	-0.13	0.896
Fac. Eco. (t - 1)	0.771	0.635	0.000	Fac. Eco. (t - 1)	0.797	0.18	0.857	Fac. Eco. (t - 1)	0.787	-0.56	0.574
Fac. Cono. (t - 1)	0.272	0.207	0.000	Fac. Cono. (t - 1)	0.267	-0.25	0.806	Fac. Cono. (t - 1)	0.258	0.52	0.601
Otro Fac. (t - 1)	0.381	0.386	0.714	Otro Fac. (t - 1)	0.411	-1.55	0.123	Otro Fac. (t - 1)	0.406	-1.28	0.202

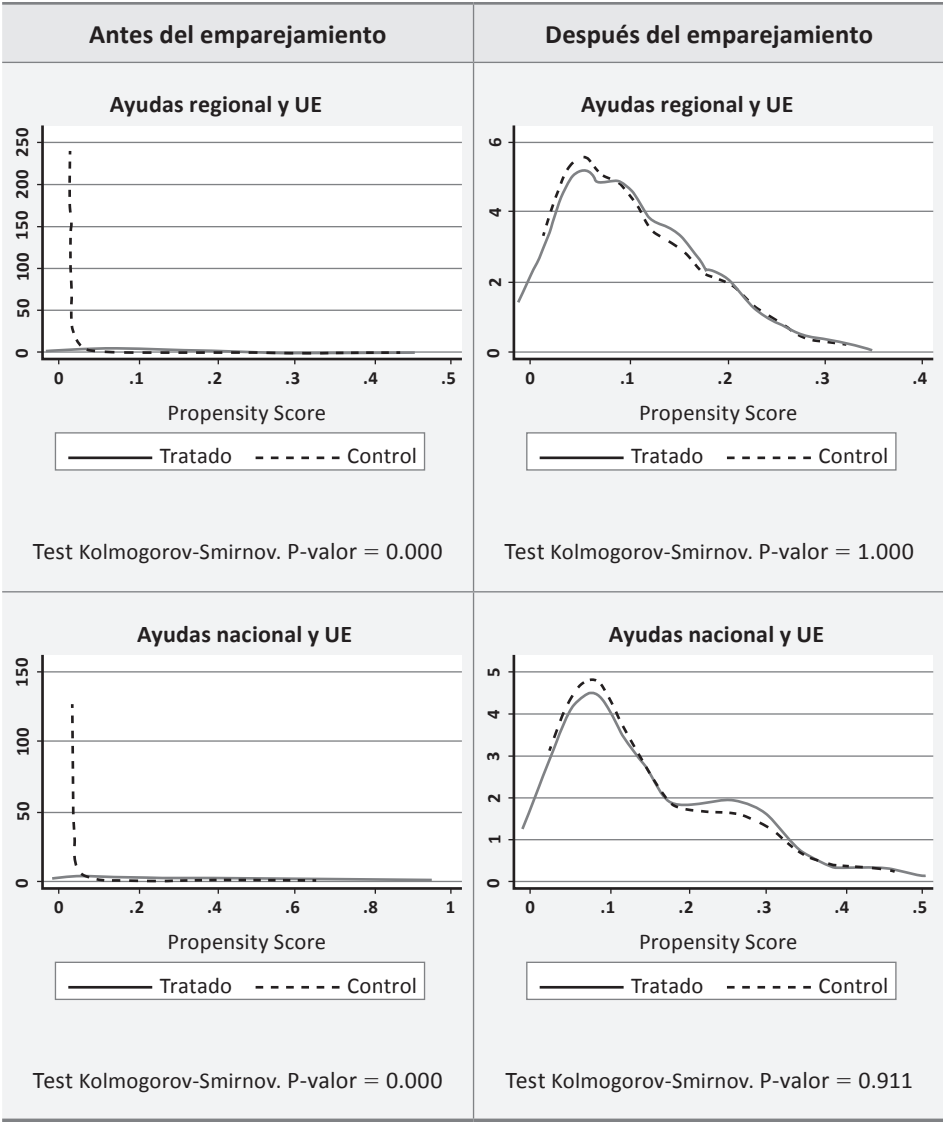
Nota: ***p < 0.01, **p < 0.05, *p < 0.1 (significativo a 1 %, 5 % y 10 %, respectivamente).

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del PITEC.

Figura 5.4 Gráficos de distribución







Nota: gráficos correspondientes a la estimación de densidad de Kernel con base en el emparejamiento realizado con el algoritmo de un vecino con remplazamiento y *caliper* 0.001.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del PITEC.

REFERENCIAS

- Aerts, Kris & Schmidt, Tobias [2008], “Two for the Price of One?: Additionality Effects of R&D Subsidies: A Comparison Between Flanders and Germany”, *Research Policy*, 37(5): 806-822.
- Albis, Nadia; García, Juan; Sánchez, Erika & Bayona-Rodríguez, Hernando [2017], “Evaluación de políticas públicas de apoyo a la innovación sobre la productividad de las empresas manufactureras y de servicios en Colombia”, Banco de Desarrollo de América Latina, Documento de trabajo 2017/29.
- Almus, Matthias & Czarnitzki, Dirk [2003], “The Effects of Public R&D Subsidies on Firms’ Innovation Activities: The Case of Eastern Germany”, *Journal of Business & Economic Statistics*, 21(2): 226-236.
- Bellucci, Andrea; Pennacchio, Luca & Zazzaro, Alberto [2019], “Public R&D Subsidies: Collaborative Versus Individual Place-Based Programs for SMEs”, *Small Business Economics*, 52(1): 213-240.
- Busom, Isabel; Corchuelo, Beatriz & Martínez-Ros, Esther [2014], “Tax Incentives... or Subsidies for Business R&D?”, *Small Business Economics*, 43(3): 571-596.
- Caliendo, Marco & Kopeinig, Sabine [2008], “Some Practical Guidance for the Implementation of Propensity Score Matching”, *Journal of Economic Surveys*, 22(1): 31-72.
- Carboni, Oliviero [2017], “The Effect of Public Support on Investment and R&D: An Empirical Evaluation on European Manufacturing Firms”, *Technological Forecasting and Social Change*, 117: 282-295.
- Cerulli, Giovanni & Potì, Blanca [2012], “Evaluating the Robustness of the Effect of Public Subsidies on Firms’ R&D: An Application to Italy”, *Journal of Applied Economics*, 15(2): 287-320.
- Clausen, Tommy [2009], “Do Subsidies Have Positive Impacts on R&D and Innovation Activities at the Firm Level?”, *Structural Change and Economic Dynamics*, 20(4): 239-253.
- Cox, David R. [1958], *Planning of Experiments*, New York, John Wiley & Sons.
- Czarnitzki, Dirk & Lopes-Bento, Cindy [2011], “Evaluation of Public R&D Policies: A Cross-Country Comparison”, *World Review of Science, Technology and Sustainable Development*, 9(2-4): 254-282.
- [2014], “Innovation Subsidies: Does the Funding Source Matter for Innovation Intensity and Performance? Empirical Evidence from Germany”, *Industry and Innovation*, 21(5): 380-409.
- Dumont, Michel [2017], “Assessing the Policy Mix of Public Support to Business R&D”, *Research Policy*, 46(10): 1851-1862.

- Herrera, Liliana & Heijs, Joost [2007], “Difusión y adicionalidad de las ayudas públicas a la innovación”, *Revista de Economía Aplicada*, 15(44): 177-197.
- Ho, Daniel; Imai, Kosuke; King, Gary & Stuart, Elizabeth [2007], “Matching as Nonparametric Preprocessing for Reducing Model Dependence in Parametric Causal Inference”, *Political Analysis*, 15(3): 199-236.
- Hottenrott, Hanna; Lopes-Bento, Cindy & Veugelers, Reinhilde [2017], “Direct and Cross Scheme Effects in a Research and Development Subsidy Program”, *Research Policy*, 46(6): 1118-1132.
- Huergo, Elena & Moreno, Lourdes [2017], “Subsidies or Loans? Evaluating the Impact of R&D Support Programmes”, *Research Policy*, 46(7): 1198-1214.
- Imbens, Guido [2015], “Matching Methods in Practice: Three Examples”, *Journal of Human Resources*, 50(2): 373-419.
- Leuven, Edwin & Sianesi, Barbara [2003], PSMATCH2: “Stata Module to Perform Full Mahalanobis and Propensity Score Matching, Common Support Graphing and Covariate Imbalance Testing”, *Statistical Software Components S432001*, Boston College Department of Economics.
- Neicu, Daniel [2019], “Evaluating the Effects of an R&D Policy Mix of Subsidies and Tax Credits”, *Management and Economics Review*, 4(2): 1-13.
- Rosenbaum, Paul & Rubin, Donald B. [1985], “Constructing a Control Group Using Multivariate Matched Sampling Methods that Incorporate the Propensity Score”, *The American Statistician*, 39(1): 33-38.
- Rubin, Donald [1980], “Randomization Analysis of Experimental Data: The Fisher Randomization Test Comment”, *Journal of the American Statistical Association*, 75(371): 591-593.
- _____[2001], “Using Propensity Scores to Help Design Observational Studies: Application to the Tobacco Litigation”, *Health Services and Outcomes Research Methodology*, 2(3-4): 169-188.
- Vergara Reyes, Delia Margarita; Heijs, Joost; Arenas Díaz, Guillermo y Guerrero, Alex [2019], *Efectos de la política tecnológica en el comportamiento innovador y el empleo: análisis de contenido*. Recuperado de <<https://bit.ly/3vVtSkp>>.
- Wallsten, Scott J. [2000], “The Effects of Government-Industry R&D Programs on Private R&D: The Case of the Small Business Innovation Research Program”, *The Rand Journal of Economics*, 31(1): 82-100.

CAPÍTULO 6

LA FUNCIÓN Y EL IMPACTO DE LAS AYUDAS A LA INNOVACIÓN EMPRESARIAL EN EL CASO DE MÉXICO

Delia Margarita Vergara
Alex J. Guerrero
Guillermo Arenas
Joost Heijs

6.1. Introducción

La innovación tecnológica empresarial ha servido de impulso para el aumento de la productividad y competitividad (cambio tecnológico) y es fundamental en el proceso de crecimiento de un país –tanto de los desarrollados como los de menor desarrollo–, el cual dependerá, en gran medida, del desempeño o eficiencia de sus empresas; sin embargo, el hecho de que las empresas innoven no depende solo de sus esfuerzos, sino del entorno institucional donde se desenvuelven (como ya se ha mencionado en los primeros capítulos de este libro). Por lo tanto, es importante la función que desempeñan las instituciones tanto privadas como públicas. Entre ellas, está el fomento a través de la política pública que lleva a cabo el Estado para apoyar a las empresas en la realización de actividades innovadoras y de I+D, las cuales, por sus costos y un alto nivel de incertidumbre sobre sus resultados, no encuentran suficientes incentivos en el mercado para realizarlas. Debido a la presencia de fallas de mercado, existiría una subinversión, alejando a la economía del nivel socialmente óptimo en este tipo de actividades [Nelson, 1959; Arrow, 1962].

Los altos costos y riesgos relacionados con la actividad innovadora implican que las instituciones financieras del mercado sean reticentes en el momento de financiar la innovación, por lo que las empresas cubren sus gastos en I+D, principalmente, con fondos propios [Hall y Lerner, 2010; Spielkam y Rammer, 2009]. Además, la Gran Recesión de 2008 ha restringido claramente el gasto en I+D e innovación y, con la actual crisis por la pandemia de COVID-19, será difícil su recuperación. Primero, porque la I+D se financia en gran parte con fondos propios derivados de los beneficios de las empresas, los cuales bajaron drásticamente durante ambos periodos.

Asimismo, porque la inversión alternativa en los mercados financieros se redujo considerablemente, debido al *credit crunch* y la disminución del precio del petróleo que afectó muy negativamente a la economía mexicana.

El objetivo de este capítulo es exponer los principales resultados de la evaluación de algunos instrumentos de la política en ciencia, tecnología e innovación (PCTI) mexicana, en concreto, el impacto de aquellos programas públicos que financian la innovación empresarial. Se parte del supuesto de que la intervención del Estado en el fomento de actividades de innovación debería propiciar un efecto en términos de adicionalidad financiera. Es decir, las subvenciones públicas deben generar un gasto en innovación adicional en las empresas receptores de éstas, ya que tal aumento extraordinario mejoraría las condiciones de crecimiento económico de México y la composición competitiva de sus empresas. La política pública mexicana en CTI debería desempeñar una tarea importante para estimular el gasto en actividades de innovación, de investigación y desarrollo de las empresas. Para ello, se han creado diversos programas, cuyos resultados deberían ser evaluados para mejorar su diseño y, por ende, sus efectos, entre ellos, de costo-beneficio en términos de bienestar social. Sin embargo, la función del Estado se puede interpretar solamente a partir de un gran número de supuestos sobre la relación causa-efecto de la interacción entre las actividades públicas y privadas. Además, resulta que los estudios de evaluación de las ayudas a la innovación en los países en vías de desarrollo son escasos, por lo que existe la necesidad de realizar evaluaciones de impacto [Zúñiga-Vicente *et al.*, 2014; Heijs *et al.*, 2020].

En la siguiente sección, se presentan algunos indicadores de la evolución de las ayudas que reciben las empresas mexicanas para sus actividades innovadoras en comparación con otros países de la OCDE y especialmente con otros países de Latinoamérica. Además se revisan los resultados de los pocos estudios empíricos que han evaluado el impacto de estas ayudas. En la sección 6.3, se explican las características de la fuente de datos y de las variables utilizadas.

Respecto al impacto real de las ayudas en el caso de México, se analizan dos aspectos. Por un lado, el perfil de las empresas que han participado con mayor o menor frecuencia en las ayudas. Es decir, se identifican aquellos tipos de empresas que, en parte, han sido excluidas de las ayudas (sección 6.4). Por otro lado, se analiza el impacto de las ayudas en forma de adicionalidad financiera mediante el Método Propensity Score Matching (PSM) (sección 6.5). Para comprobar la fiabilidad de nuestro análisis, se contrasta la robustez de los resultados con el Modelo de Variables Instrumentales en dos etapas (sección 6.6). Mientras tanto, en la última sección, se presentan las conclusiones generales.

6.2. *El apoyo a la innovación empresarial en México y su impacto*

6.2.1. El esfuerzo cuantitativo de la política tecnológica empresarial en México: comparación internacional y su evolución en el tiempo

A continuación, se reflejan los datos más recientes respecto al gasto en I+D por parte de las empresas mexicanas y el apoyo que reciben por parte del estado a nivel nacional. El gasto en I+D por parte de México sigue siendo una de las debilidades del sistema productivo. Como se ha indicado en el capítulo 2, el gasto total destinado a la I+D, en México, fluctúa alrededor del medio punto porcentual del PIB (véase tabla 6.1), siendo un nivel muy por debajo de los países más avanzados (véase la tabla 1.1). También la intensidad de gasto en I+D de las empresas respecto al PIB es muy baja y, además, han reducido su esfuerzo innovador relativo.

Tabla 6.1 *Evolución del gasto en I+D y el presupuesto público en I+D*

Tipos de gasto	1. Gastos totales en I+D como % del PIB (GIDT)	2. Gastos en I+D empresariales (GIDE) como % de los GIDT	3. Gastos en I+D empresariales como % del PIB	4. GIDE financiado con fondos públicos como % del GIDE
2004	0.39	38.62	0.17	4.86
2005	0.40	41.51	0.19	11.02
2006	0.37	45.22	0.18	7.96
2007	0.43	38.83	0.18	9.08
2008	0.47	33.13	0.16	12.09
2009	0.52	33.82	0.19	17.16
2010	0.54	32.85	0.19	8.39
2011	0.52	32.32	0.18	9.23
2012	0.49	24.49	0.15	19.07
2013	0.50	20.96	0.16	34.07
2014	0.54	19.46	0.16	36.08
2015	53	19.67	0.16	35.31
2016	0.50	20.67	0.15	33.18

GIDT = gasto total en I+D; GIDE = gasto empresarial en I+D; PIB = producto interior bruto.

Fuente: elaboración propia con datos de OECD.Stat.

El gasto empresarial en I+D como porcentaje del PIB del periodo 2005-2011 estaba entre 0.18 y 0.19 %, mientras que en 2012-2016 fue de alrededor de 0.15 % del PIB. Por lo tanto, la función del gasto empresarial en el gasto total de I+D e innovación se ha visto reducida drásticamente entre 30 y 40 % en el periodo 2004-2011, y hasta 20 % en los últimos cuatro años aquí analizados.

Debido a que en este capítulo se analiza el efecto de las ayudas a la innovación –en forma de subvenciones y ventajas fiscales–, sería interesante saber la intensidad con la que el Estado apoya la innovación empresarial. El gasto empresarial con financiamiento público (columna 4) registra una tendencia ascendente, se observa un aumento de 10 al 12 % antes de la crisis e incluso aumenta hasta 30 % al final del periodo aquí analizado.

No queda claro si este aumento es un objetivo perseguido por las AA.PP. o si es un efecto indirecto donde, de forma simultánea, mantienen los presupuestos para el apoyo a las empresas y éstas reciben la misma cantidad de apoyo, pero gastan menos. Aunque aparentemente el gobierno mexicano no ha logrado dinamizar la inversión privada en I+D sería necesario hacer una evaluación de los programas implementados para estudiar si las ayudas por lo menos han contribuido a frenar el decrecimiento del gasto en I+D en las empresas. Con el objetivo que los resultados de tal evaluación sean considerados por el gobierno en la elaboración de sus políticas de fomento, así como asegurar el buen uso de los fondos públicos y el cumplimiento de sus propósitos en términos de eficiencia y efectividad, porque no cabe duda de que tales programas sean importantes para potenciar el avance económico de México.

Para comparar el esfuerzo de México en PCTI enfocado en las empresas para incentivar su gasto en innovación el I+D con el de otros países, se exponen las estadísticas que ofrece la OCDE de las ayudas directas (subvenciones) o indirectas (ventajas fiscales) a las empresas. La OCDE brinda información de la intensidad de apoyo a la I+D empresarial, en este caso para un conjunto de 46 países. Las figuras 6.1 y 6.2 ofrecen los datos de una parte de los seleccionados, incluyendo todos los latinoamericanos y algunos de los desarrollados, mientras que en los anexos 6.1 y 6.2 se reflejan los datos para el conjunto de los 46 países.

En las bases de datos de la OCDE, se distinguen dos tipos de apoyo: por un lado, el indirecto a la I+D, basado en ventajas fiscales, y, por otro, las ayudas directas, que incluyen aquellos estímulos mediante subvenciones, de forma directa, a las empresas. Estos se asientan, en general, en programas con un presupuesto cerrado y, frecuentemente, dirigidos a campos tecnológicos definidos, además muy a menudo están basados en la presentación de

propuestas de proyectos concretos con un mecanismo que selecciona las mejores de ellas.

Mientras tanto, las ventajas fiscales financian las actividades de I+D en innovación y el costo para el Estado no es fijo, sino que depende del esfuerzo innovador de las empresas. Se le llama ayuda indirecta porque normalmente no se enfoca a un sector, campo o proyecto tecnológico concreto, sino que tiene un carácter general.

Los datos presentados en las figuras 6.1 y 6.2 (y en los anexos 6.1 y 6.2) comparan la intensidad de las ayudas de los distintos países analizados por la OCDE [2020] para el año 2017.¹ Se ha optado por comparar inicialmente la intensidad tanto en términos del PIB como del gasto en I+D empresarial total (Business Expenditures on R&D, BERD)² y, como se puede observar, ambos indicadores reflejan resultados comparativos muy distintos.

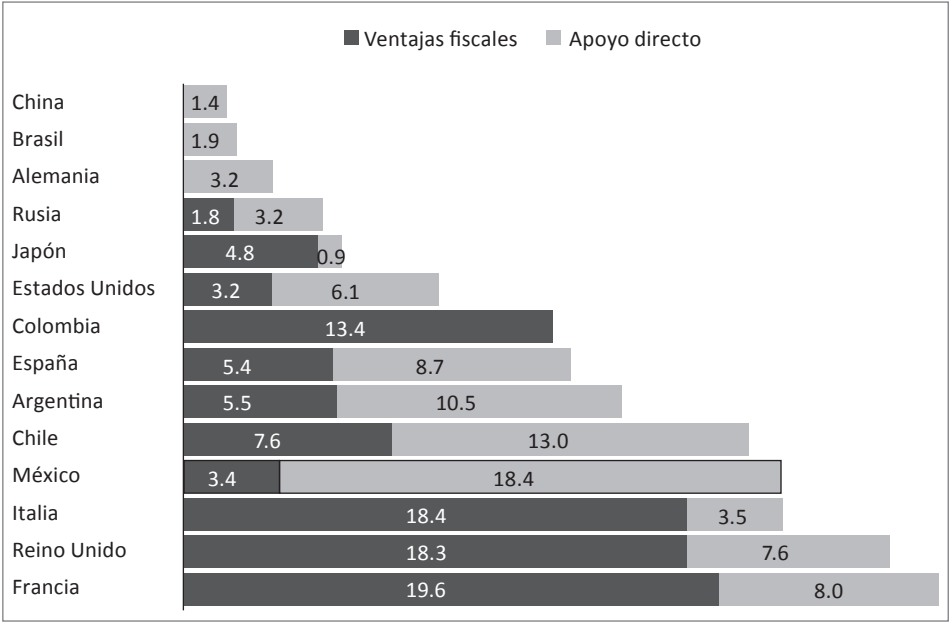
Una primera conclusión que se puede derivar de los datos de los 46 países recogidos en los anexos es la amplia heterogeneidad en el nivel de las ayudas, donde las primeras y las últimas posiciones del ranking se encuentran ocupadas tanto por países desarrollados como en desarrollo. No se puede decir que los gobiernos de los países más avanzados apoyen más a sus empresas que los países en desarrollo. Por ejemplo, Alemania³ y especialmente Suiza ofrecen muy pocas ayudas a sus empresas. Aparentemente, los países más avanzados tienen, como media, una intensidad de apoyo, en términos de su PIB, claramente mayor (0.17 %) que los menos desarrollados (0.06 %). Aunque, si se compara el apoyo como porcentaje del gasto total con el ejecutado por las empresas, ambos tipos de países tienen un nivel medio muy parecido y es, incluso, algo mayor para los menos desarrollados (11.8 %) respecto a los avanzados (11.6 por ciento).

¹ Aunque la OCDE ofrece datos –incompletos– para todo el periodo, en el anexo de este capítulo se presenta información para cuatro años concretos: 2000, 2006, 2011 y 2017. Cuando el dato sobre cierto país no se encuentra disponible, se ha utilizado el del año más cercano, o si está disponible, la media del año anterior y posterior. En el caso de que haya fluctuaciones muy altas y suficientes datos, se ha optado por imputar un valor medio, y cuando los hay de muy pocos años, se ha dejado sin información.

² BERD: Business Expenditures on R&D (Gastos comerciales en I+D).

³ El bajo nivel de ayuda en Alemania podría estar relacionado con el hecho de que otorga grandes apoyos a los centros tecnológicos, siendo una característica específica de su política de innovación. Sin embargo, un análisis pormenorizado que explica las diferencias queda fuera del ámbito de este trabajo.

Figura 6.1 Ventajas fiscales y apoyo directo a la I+D e innovación empresarial como porcentaje del total de gasto empresarial en estas actividades en 2017 (FB-IDE/BERD en porcentaje)

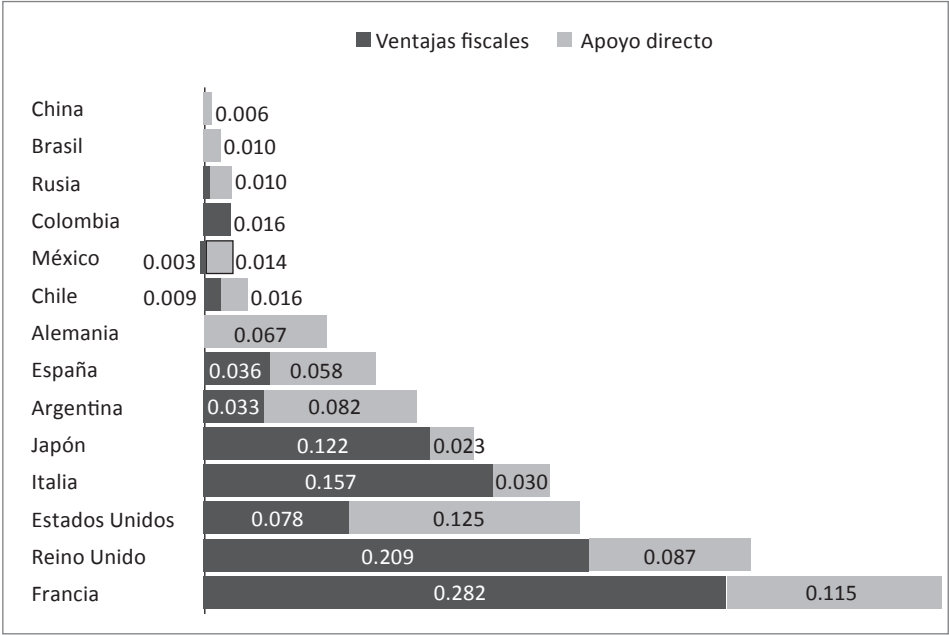


Fuente: OCDE.*
 * Para detalles metodológicos, véase el siguiente enlace <<https://bit.ly/3brH1Ks>>.

Si se relativizan los datos del PIB, se muestra más sobre las diferencias del nivel innovador de los países que acerca de su interés de apoyar a la I+D empresarial. Por lo tanto, a continuación, se analiza la intensidad de las ayudas del BERD, ya que este indicador no está sesgado por el nivel innovador del país. En la figura 6.2, se ofrecen los datos de los países latinoamericanos y algunos de los países avanzados más grandes. Se puede resaltar el alto nivel de apoyo de Francia y Reino Unido, mientras que Alemania cuenta con un nivel de apoyo específico a la I+D empresarial muy bajo. Entre los países latinoamericanos destacan Chile y México, con un nivel de ayuda muy alto respecto al gasto en I+D empresarial. Ambos países se encuentran en la posición 5 y 11, respectivamente, de los 46 países de la muestra. Por otro lado, Argentina y Colombia⁴ ocupan los puestos 16 y 20, respectivamente (véase anexo 6.2).

⁴ Cabe mencionar que para Colombia casi no se ofrecen ayudas directas, solo están disponibles para un año con un valor muy bajo (0.01 %).

Figura 6.2 Ventajas fiscales y apoyo directo a la I+D e innovación empresarial como porcentaje del PIB en estas actividades en 2017 (FB-IDE/PIB en porcentaje)



Fuente: OCDE [2020].

Entrando con más detalle al caso de México, se puede observar que su intensidad de apoyo conforme al BERD ha sido muy inestable. La tasa de apoyo creció mucho en el periodo anterior a la crisis, cuando se duplicó de casi un 15 % a más de 32 %. En la época inmediatamente posterior, bajó hasta 7.8 % en 2011, y volvió a subir hasta 22 % en 2017. Se puede resaltar que, en el caso de México, la función de las ayudas en términos de ventajas fiscales es muy reducida, sobre todo, en el periodo después de la crisis. México se situó, en 2017, en la posición 20 de los 46 países con una intensidad de apoyo respecto al BERD, teniendo un porcentaje casi igual a Italia, Canadá y Portugal (véanse los anexos 6.1 y 6.2).

6.2.2. Evaluación del efecto de las ayudas públicas a la innovación empresarial

Una vez indicadas las tendencias del apoyo a la innovación empresarial, se revisan los estudios de evaluación que han analizado su impacto. Para

México, se han detectado un conjunto de estudios que evalúan las ayudas distribuidas en una etapa anterior a la Gran Recesión (1994-2005).

Los trabajos de Tan y López-Acevedo [2005, 2007 y 2010] López-Acevedo y Tinajero-Bravo [2013], utilizan como método principal el PSM y analizan el efecto de las ayudas sobre el empleo, productividad y ventas pero curiosamente no incluye –por falta de información– un análisis del efecto sobre el gasto en I+D de las empresas. Dos trabajos con datos mucho más recientes se basan en encuestas *ad hoc* dirigidas a empresas beneficiarias del Programa de Estímulos a la Innovación (PEI) [Dávila *et al.*, 2019; Pastor *et al.*, 2017; Moctezuma *et al.*, 2017]; aunque no hay duda de que tales encuestas pueden aportar mucha información relevante,⁵ cabe señalar que se basan en muy pocas observaciones, ya que el número de empresas que responden las encuestas⁶ es muy bajo, lo que dificulta –o incluso podría impedir– la aplicación de los modelos econométricos y la generalización de las conclusiones, que pueden considerarse solo indicativas. De todos modos, estos estudios reflejan, en general, un efecto positivo sobre el esfuerzo innovador. También se han identificado tres estudios con datos obtenidos de fuentes oficiales.⁷ Emmanuel Chávez [2019] utiliza un *fuzzy discontinuity regresion* Model⁸ y encuentra que las ayudas influyen positivamente en el número de personal dedicado a la innovación, pero no tienen efecto sobre el número de patentes ni sobre el gasto absoluto en I+D.

El mismo indica que esta falta de adicionalidad podría estar relacionada con un número de observaciones limitadas de empresas que gastan en I+D. El estudio de Juan Luis Martínez-Covarrubias *et al.* [2017] trata el efecto de las ayudas sobre las mejoras de las cadenas de valor global (*global value*

⁵ Para un debate breve sobre la utilidad de tales encuestas, véanse las secciones 3.1 y 7.3.1.

⁶ Dávila *et al.* [2019] encuestan a 39 empresas de la ciudad de Hermosillo, mientras que Pastor *et al.* [2017] mandaron las encuestas a 15 empresas de San Luis Potosí, de las cuales 10 la contestaron.

⁷ Proporcionados por el Conacyt, Rienecyt e INEGI.

⁸ Basado en 2 845 observaciones, de las que 26.3 % fueron subvencionadas. La regresión discontinua es un diseño cuasiexperimental que se utiliza cuando la muestra tiene un problema de aleatorización. Se puede aplicar si el tratamiento (las ayudas) se asigna, al menos parcialmente, según el valor de una variable aleatoria continua y si esta variable se encuentra por encima o cae por debajo de un determinado valor umbral. Dicha metodología se utiliza cuando la variable de tratamiento (recibir ayudas) es una función perfecta y discontinua de algún tipo de *score*. En el caso del PEI, los proyectos que obtengan al menos 75/110 puntos son valorados por un comité, que decide los proyectos que serán subvencionados.

chain), basadas en observaciones para 477 empresas, de las que 164 recibieron apoyo público. Para corregir la presencia de sesgo de selección, el estudio se basa en un modelo Heckman en dos etapas. La principal conclusión es que las ayudas no tienen un efecto significativo sobre la mejora en las cadenas de valor,⁹ al menos para la muestra y periodo analizado. Patricia Moctezuma *et al.* [2017] realizan un análisis cuantitativo aplicando estadísticas descriptivas, junto con un análisis de comportamiento adicional y redes; utilizan como variables de interés –*proxy* de la adicionalidad– la inversión, la vinculación, la participación de investigadores y estudiantes, la divulgación y la competitividad. Según estos autores, se llevan a cabo un conjunto de proyectos que no existirían en ausencia de la intervención, aunque otros se hubieran realizado también sin ayudas. Es decir, hay un grupo de empresas que presentan un efecto de sustitución.

Como se puede observar, existe gran heterogeneidad tanto en las técnicas analíticas aplicadas como en las variables dependientes o de “interés” –siendo las variables sobre las que se evalúa el impacto de las ayudas– utilizadas por los distintos estudios, por lo que resulta difícil comparar los resultados obtenidos y generalizar sus conclusiones. Pese a esto, parece que la mayoría de los estudios de evaluación muestran que el efecto de las ayudas a la I+D e innovación tiende a ser positivo. Por lo tanto, se puede deducir que la evaluación con datos microeconómicos en México está todavía poco desarrollada y que resulta necesario ampliar el número de estudios que permitan llegar a conclusiones generales y, así, aumentar el conocimiento del funcionamiento de las ayudas y mejorar su eficacia y eficiencia. Es importante resaltar que, en cuanto a los indicadores sobre los que se mide el impacto, solo uno de los nueve estudios de evaluación detectados analiza el efecto del impacto en términos de la adicionalidad financiera (Chavez, 2019),¹⁰ lo que contrasta con el hecho de que la gran mayoría de los estudios de evaluación existentes a nivel internacional utilizan, de manera central, esta variable.

De hecho, la mayoría de los estudios de las últimas décadas utilizan el Método PSM para analizar el efecto de las ayudas sobre el gasto en I+D y/o

⁹ Se consideran como mejoras o variables dependientes *functional upgrading*, que consiste en valorar si existen adquisiciones de funciones nuevas y mejores, e *inter-sectoral upgrading*, que traslada las competencias adquiridas a nuevos sectores.

¹⁰ Aunque este estudio es atípico respecto a la metodología aplicada, ya que utiliza el *fuzzy discontinuity regresion* Model –muy poco utilizado para este tipo de evaluaciones– y usa el gasto en términos absolutos, por lo que son difíciles de comparar sus resultados con otros estudios de evaluación.

en innovación [Heijs *et al.*, 2020].¹¹ Los resultados observados de los países desarrollados ofrecen, en la gran mayoría de los casos, un efecto positivo [Heijs *et al.*, 2020], aunque pocos estudios encuentran efectos no significativos [Aerts y Schmidt, 2008; Czarnitzki y Lopes-Bento, 2011; Guerzoni y Raiteri, 2015] e, incluso, algún trabajo señala efectos negativos [Neicu, 2019]. Por esto, respecto a los países desarrollados, no se puede concluir que todos ellos ofrecen una respuesta clara sobre el efecto de las políticas de innovación. En cuanto a los estudios de evaluación realizados en países latinoamericanos, se ha observado que todos muestran que las ayudas a la innovación, tanto directas como indirectas, tienen un efecto positivo y significativo en, por lo menos, una de las variables de interés utilizadas en el esfuerzo o en el resultado innovador, así como en otras variables de interés.

Teniendo en cuenta que para México se ha detectado solo un estudio que analiza el efecto de las ayudas a la innovación empresarial sobre el gasto en I+D e innovación de las empresas beneficiadas, se ha considerado conveniente realizar tal evaluación. Para ello, se utiliza el *Propensity Score Matching* (PSM), que es el método más frecuente en este tipo de estudios, cuyo uso correcto se ha detallado en los capítulos anteriores. De forma complementaria –como test de robustez–, se emplea el Método de Variables Instrumentales, el cual nos permite estimar el efecto de las ayudas, teniendo en cuenta la posible presencia de características no observables en el proceso de selección. Esta estimación nos permite saber si el efecto estimado mediante el PSM puede ser considerado como un efecto causal. Las dos metodologías no son opciones excluyentes, sino que –como se ha debatido en el capítulo 4, sección 4.6– son más bien complementarias y cada una tiene sus propias ventajas y desventajas.

6.3 *Fuentes de información, la variable de tratamiento y el indicador de interés*

Los datos utilizados para esta evaluación de las políticas de ayuda a la innovación en el caso de México provienen de la Encuesta sobre Investigación y

¹¹ Esta síntesis de resultados que se expone en este párrafo deriva del inventario de estudios publicados por el IIEc-UNAM y que recoge en total 55 estudios, de los cuales 13 son de Latinoamérica, 34 de países europeos y 7 de otros países [Vergara *et al.*, 2019] (véase el enlace <<https://bit.ly/2RGOm1A>>).

Desarrollo Tecnológico y del Módulo sobre Actividades de Biotecnología y Nanotecnología (ESIDET-MBN) de 2014, que presenta los resultados correspondientes a 2012 y 2013. Esta encuesta es realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), y ofrece los microdatos de carácter “sección cruzada”.

La variable que caracteriza la participación en los distintos programas públicos ha sido construida gracias a las respuestas sobre la participación de las empresas en algunos de los 27 programas mencionados en la encuesta (véase el anexo 6.4). Debido al reducido número de empresas que han obtenido ayudas por parte de cada uno de los programas específicos no se han podido estimar las ayudas por tipo de programa, ni siquiera agregando las ayudas por tipo de programas con características parecidas. Por esta razón, en este capítulo, se estima el impacto global en el caso de que la empresa haya participado, por lo menos, en uno de los 27 programas identificados en la encuesta. De esta forma, se ha creado una variable dicotómica que toma valor 1 si las empresas han participado en al menos uno de los programas encuestados y valor 0 en los demás casos.

Tal enfoque presenta ventajas y desventajas. La principal ventaja es que evita una sobreestimación en el efecto de las políticas; es decir, si no se incluyen todos los programas en el análisis, el efecto de uno de ellos estaría sesgado porque se consideraría que todo el efecto estimado proviene de un único programa, cuando en realidad podría ser un impacto por una combinación de varios de ellos. Otra ventaja de incluir todos de forma simultánea radica en que los criterios de asignación de las ayudas podrían ser diferentes entre los distintos programas, aunque complementaria e, incluso, mutuamente excluyentes, lo cual provocará una compensación de los efectos de las variables de control sobre la probabilidad de obtener ayudas.

Una tercera ventaja de analizar simultáneamente todos los programas es que de esta forma se evita un grupo de control sesgado o contaminado. Si se analiza el impacto de un determinado programa (A), entre las empresas de control (teóricamente sin ayudas o tratamiento) se incluirían algunas que han sido beneficiarias de otras ayudas para actividades iguales o muy parecidas de innovación o de I+D (programa X) y que han tenido también un impacto en nuestra variable de interés. Por lo anterior, se produciría una subestimación del impacto. Vamos a suponer que ambos tipos de programas (A y X) tienen el mismo efecto, y que para un grupo de empresas tratadas, aquellas que fueron emparejadas tienen ayudas de los programas X. En este caso, el efecto estimado ($\tau_i = Y_{it}^A - Y_{it}^X$) sería 0, mientras que el efecto real sí sería positivo, generando una subestimación del efecto.

Otro ajuste que corrige un posible sesgo en la estimación del efecto ha sido la eliminación de la muestra de las empresas que no presentan gastos en innovación. Tal decisión es importante porque la inclusión de las empresas no innovadoras –que por definición no pueden acceder a las ayudas– en el grupo de control provocaría su comparación con otras innovadoras, que, por definición, serían muy distintas entre sí y esto generaría un sesgo a lo alto en el efecto estimado. Excluyendo dichas empresas, la muestra final se compone de 939 empresas innovadoras, de las cuales 17.36 % han participado en uno o más de los 27 programas de apoyo a la innovación que ofrecen las diversas Administraciones (instituciones) públicas de México. A continuación, se presenta una breve descripción de las variables utilizadas en el estudio (véase tabla 6.2). Como se ha comentado ampliamente en el capítulo 4, sección 4.2, la selección de las variables incluidas está basada en las experiencias referidas en los estudios, así como en su disponibilidad, ya que, como indican Morton Kamien y Nancy Schwartz [1982], los datos y las metodologías disponibles tienden a dictar la naturaleza del análisis.

Respecto a los indicadores con los que se mide el impacto –variables de interés– en términos de la adicionalidad financiera, las variables dependientes más utilizadas son las relativas del gasto en innovación, I+D total e I+D interno, calculando la intensidad de tales gastos en relación con el volumen de ventas (véase capítulo 5, la tabla 5.2a). También se utiliza frecuentemente el gasto en I+D en términos absolutos; en este caso, la mayoría de los estudios lo utilizan en su forma logarítmica, debido a la existencia de datos atípicos y de la asimetría de su distribución [Czarnitzki y Licht, 2006; Aerts y Schmidt, 2008].

En este trabajo sobre el impacto de las ayudas a la innovación empresarial para el caso de México, se ha optado por seguir la opción de la variable de interés o de impacto más frecuentemente utilizada en los estudios empíricos existentes,¹² la intensidad del gasto en innovación (expresada como el gasto total en innovación sobre el volumen de ventas). Por un lado, la variable de intensidad nos ayuda a corregir los problemas con los datos absolutos del gasto en I+D o innovación, corrigiendo los valores atípicos grandes y relativizándolos con las ventas. Sin embargo, presenta limitaciones, debido a que es una variable que no solo depende del gasto, sino también de las ventas. En este sentido, las empresas con resultados de ventas anómalos proporcionarán, también, datos

¹² Para una revisión de la evidencia empírica reciente, centrada en el análisis de los subsidios, véase Zúñiga-Vicente *et al.* [2014].

Tabla 6.2 Descripción de las variables

Variable	Definición
Estructurales	
Productores tradicionales industriales	= 1 Si la empresa pertenece a productores tradicionales industriales
Proveedores tradicionales industriales	= 1 Si la empresa pertenece a proveedores tradicionales industriales
Proveedores especializados industriales	= 1 Si la empresa pertenece a proveedores especializados industriales
Ensambladores y sectores intensivos en escala	= 1 Si la empresa pertenece a ensambladores e industrias intensivas en escala
Industrias intensivas en conocimiento	= 1 Si la empresa pertenece a industrias intensivas en conocimiento
Servicios de baja tecnología	= 1 Si la empresa pertenece a servicios de baja tecnología
Servicios de alta tecnología	= 1 Si la empresa pertenece a servicios de alta tecnología
Servicios intensivos en conocimiento	= 1 Si la empresa pertenece a servicios intensivos en conocimiento
0-20 empleados	= 1 Si el número de empleados es menor o igual a 20
21-50 empleados	= 1 Si el número de empleados es mayor a 20 y menor o igual a 50
51-100 empleados	= 1 Si el número de empleados es mayor a 50 y menor o igual a 100
101-200 empleados	= 1 Si el número de empleados es mayor a 100 y menor o igual a 200
201-500 empleados	= 1 Si el número de empleados es mayor a 200 y menor o igual a 500
Intensidad exportadora	Volumen de exportaciones como porcentaje de la cifra de ventas
Edad (logaritmo)	Logaritmo natural del número de años de la empresa
Start-up	= 1 Si la empresa tiene 3 años o menos
Multinacional	= 1 Si la empresa tiene participación de capital extranjero
Grupo	= 1 Si la empresa pertenece a un grupo empresarial
Comportamiento innovador	
Investigación básica	= 1 Si la empresa dedica gasto en innovación a la investigación básica
Investigación aplicada	= 1 Si la empresa dedica gasto en innovación a investigación aplicada
Desarrollo tecnológico	= 1 Si la empresa dedica gasto en innovación a desarrollo tecnológico
Capital humano	= 1 Si la empresa tiene empleados con cualificación de tercer nivel
Dependiente	
Ln Gtinn sobre ventas	Logaritmo natural del gasto total en innovación sobre ventas aplicado el Winsor a 1 %

Fuente: elaboración propia.

atípicos. Debido a la presencia de datos atípicos y la asimetría en la distribución de la variable, se ha optado por utilizar, siguiendo a Hogan *et al.* [2015], la técnica de Winsor¹³ a 1 % y la transformación logarítmica¹⁴ de la intensidad de gasto. Es decir, se aplicó un método generalmente aceptado en la literatura para corregir el problema de valores extremos atípicos (*outliers*, en inglés).

Antes de aplicar las metodologías de corrección de sesgo de selección, resulta necesario contrastar la presencia de tal sesgo, que provoca que los grupos analizados sean muy diferentes entre sí.

Una primera aproximación a esta pregunta sería la presentación de las estadísticas descriptivas. La tabla 6.2 también presenta información sobre el nivel de participación por cada una de las características de las empresas. Debido al principio de confidencialidad y protección correspondiente de datos individualizados (Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica [DOF, 16/04/2018]), el INEGI no ha podido facilitar todos los datos; como se puede observar, faltan los de empresas más pequeñas y de las más grandes, así como de las start-ups.

La diferencia en el porcentaje de empresas subvencionadas para cada variable no se puede interpretar de forma directa como una indicación de que este tipo de empresas hayan sido discriminadas de forma positiva o negativa, ya que ciertas diferencias pueden deberse a otras de sus características.

Por ejemplo, el mayor nivel de participación de las empresas pertenecientes a un grupo empresarial podría deberse a que son, por definición, grandes y suelen ser más propensas a realizar I+D aplicada. Para analizar con precisión en qué medida cierto tipo de empresas han sido discriminadas en el proceso de asignación de las ayudas –debido al diseño de los criterios formales o debido a criterios informales y la discrecionalidad de las agencias en el momento de distribuir o asignar los fondos–, se debe estimar un modelo que incluya, de forma simultánea, todas las relevantes (un análisis que se presenta en la siguiente sección).

Para comprobar la presencia de este problema, se realiza un T-test de diferencia de medias de las variables de control entre el grupo de empresas que reciben ayudas para la innovación (GT) y las que no han sido apoyadas (GC), el test se realiza para la muestra completa antes del proceso de empa-

¹³ Esta técnica remplacea 1 % de los valores extremos más altos y los más bajos por el siguiente valor más alto y el siguiente más bajo, respectivamente.

¹⁴ Las variables transformadas logarítmicamente han sido ampliamente utilizadas, por ejemplo: Czarnitzki y Licht [2006]; Aerts y Schmidt [2008] y, más recientemente, por Huergo y Moreno [2017] y Neicu [2019].

reajamiento. La presencia de diferencias estadísticas entre los grupos indica la existencia de un problema de selección, lo que apunta a la necesidad de un método que corrija este sesgo basado en el “emparejamiento” [Rosenbaum y Rubin, 1985] o de forma alternativa, el uso del Método de Variables Instrumentales (VI). Los resultados se reflejan en la tabla 6.3. Se observa que, para 10 de las 22 variables, el test de diferencias de medias resulta significativo, por lo que no cabe duda de que las empresas con ayudas son muy distintas a las empresas sin tratamiento, y tal “sesgo de selección” justificaría el uso de un método de emparejamiento.

Tabla 6.3 Estadísticas descriptivas antes de emparejamiento

	Control			Tratados			T-test de diferencia de medias (GT-GC)	% de empresas subvencionadas	Número total de casos (N)
	Número	Media	Desv. típica	Número	Media	Desv. típica			
Muestra total	776			163				17.4	939
Productores tradicionales industriales	205	0.264	0.441	33	0.202	0.403	-0.062*	13.9	238
Proveedores tradicionales industriales	64	0.082	0.275	16	0.098	0.298	0.016	20.0	80
Proveedores especializados industriales	102	0.131	0.338	21	0.129	0.336	-0.002	17.1	123
Industrias intensivas en escala	47	0.061	0.239	22	0.135	0.343	0.074***	31.9	69
Industrias intensivas en conocimiento	168	0.216	0.412	40	0.245	0.432	0.029	19.2	208
Servicios de baja tecnología	53	0.068	0.252	10	0.061	0.241	-0.007	15.9	63
Servicios de alta tecnología	51	0.066	0.248	10	0.061	0.241	-0.005	16.4	61
Servicios intensivos en conocimiento	40	0.052	0.221	9	0.055	0.229	0.003	18.4	49
0-20 empleados	+	0.052	0.221	+	0.012	0.11	-0.04***	+	
21-50 empleados	130	0.168	0.374	17	0.104	0.307	-0.064***	11.6	147
51-100 empleados	122	0.157	0.364	16	0.098	0.298	-0.059**	11.6	138
101-200 empleados	121	0.156	0.363	25	0.153	0.361	-0.003	17.1	146
201-500 empleados	142	0.183	0.387	9	0.178	0.384	-0.005	6.0	151
Intensidad exportadora	392	0.187	0.308	103	0.280	0.348	0.093***	20.8	495
Edad (logaritmo)	776	3.186	0.637	163	3.259	0.628	0.073	17.4	939
Start-up	+	0.006	0.080	+	0.012	0.110	0.006	+	
Multinacional	170	0.219	0.414	36	0.221	0.416	0.002	17.5	206
Grupo	312	0.402	0.491	83	0.509	0.501	0.107**	21.0	395
Investigación básica	66	0.085	0.279	17	0.104	0.307	0.019	20.5	83
Investigación aplicada	91	0.117	0.322	35	0.215	0.412	0.098***	27.8	126
Desarrollo tecnológico	210	0.271	0.445	96	0.589	0.494	0.318***	31.4	306
Capital humano	175	0.226	0.418	93	0.571	0.497	0.345***	34.7	268

Nota: + = Debido al secreto estadístico y la protección correspondiente de datos individualizados el INEGI [XXXX], no puede facilitar los datos.
***p<0.01, **p<0.05, *p<0 (significativo a 1 %, 5 % y 10 %, respectivamente).

Fuente: elaboración propia a partir de los microdatos del INEGI.

6.4. *El perfil de las empresas beneficiadas como forma de identificar las variables de control requeridas para el emparejamiento*

Como se ha explicado con anterioridad (véase el capítulo 3, sección 3.4 y, especialmente, 4.4), el emparejamiento del GT con el GC se realiza con base en la probabilidad de obtener ayudas (*propensity score*). Las empresas con el mismo PS se consideran iguales. Para calcular el PS se ha estimado un modelo Probit que incluye un conjunto de variables que aportan información de la parte estructural de las empresas –características estructurales–, así como las de su comportamiento en términos de innovación e I+D como la orientación hacia la I+D básica y el capital humano, y de la importancia de los factores económicos que dificultan la innovación.¹⁵ Las denominadas *variables control* se incluyen en el primer paso de este trabajo con el objetivo de crear un grupo de control adecuado. Este primer paso ofrece, además del PS, el perfil de las empresas con ayudas porque comprueba qué tipo participan con más o menos frecuencia en las ayudas e indica las características que no influyen sobre la probabilidad de participar. Es decir, se analiza el efecto de las variables independientes sobre el nivel de participación.

Los resultados del modelo Probit de este estudio se presentan en la tabla 6.4, y están sujetos, como ya se indicó, a la influencia contrapuesta de los distintos programas de ayudas, que, se intuye, presentan criterios dispares para elegir a las empresas participantes. Debido a que se analiza la acumulación de todos los programas con sus criterios de selección complementarios, se podría decir que este modelo revela las prioridades implícitas del conjunto de las ayudas del Estado mexicano en el momento de distribuir las.

En cuanto al tamaño de las empresas, los coeficientes deben ser analizados como el efecto que tiene cada intervalo de empleo según el grupo de referencia: las empresas con más de 500 empleados. Los resultados de la tabla 6.3 muestran que para las empresas mexicanas el acceso a las ayudas públicas resulta más probable cuanto mayor es su tamaño, aunque existe un efecto no lineal, ya que las empresas que tienen entre 101 y 200 empleados participan de las ayudas con la misma frecuencia que el grupo de referencia. Curiosamente, esta discriminación positiva contrasta con el hecho de que diversos programas se dirigen formalmente a las pequeñas y medianas empresas (pymes). Tales programas específicos existen porque las pymes

¹⁵ Para una descripción detallada de las variables, véase la tabla 6.1.

Tabla 6.4 Perfil de las empresas beneficiarias de las ayudas a la innovación empresarial

	Coficiente	Desviación típica
Productores tradicionales industriales	0.752**	0.366
Proveedores tradicionales industriales	0.946**	0.388
Proveedores especializados industriales	0.673*	0.378
Ensambladores y sectores intensivos en escala	1.063***	0.391
Industrias intensivas en conocimiento	0.890**	0.367
Servicios de baja tecnología	0.745*	0.411
Servicios de alta tecnología	0.949**	0.403
Servicios intensivos en conocimiento	0.978**	0.418
0-20 empleados	-0.722**	0.364
21-50 empleados	-0.394**	0.191
51-100 empleados	-0.482**	0.193
101-200 empleados	-0.213	0.170
201-500 empleados	-0.299*	0.154
Intensidad exportadora	0.411**	0.191
Edad (logaritmo)	0.001	0.091
Start-up	0.406	0.573
Multinacional	-0.507***	0.154
Grupo	0.027	0.130
Investigación básica	-0.182	0.187
Investigación aplicada	0.051	0.155
Desarrollo tecnológico	0.324**	0.144
Capital humano	0.628***	0.156
Constante	-1.88***	0.491
Observaciones	939	
LR X ² (22)	117.8	
Log Verosimilitud	-374.48	
Pseudo R ²	0.136	
Significación conjunta variables de empleo		
X ² (5)	10.13	
p-valor	0.072	

Nota: ***p<0.01, **p<0.05, *p<0 (significativo a 1 %, 5 % y 10 %, respectivamente).

Fuente: elaboración propia a partir de los microdatos del INEGI [2014].

estarían más afectadas por los fallos de mercado y presentan mayores dificultades para acceder a la financiación. Estos resultados confirman, por un lado, la mayor capacidad de las empresas grandes de obtener ayudas, y, por otro, desmienten el mito de que las Administraciones públicas ayudan especialmente a las pymes, a pesar de que formalmente muchos de sus programas están justamente destinados a este tipo de empresas.

La tabla 6.5 recoge información acerca de las variables utilizadas en estudios empíricos previos. Como se observa, los resultados para México están en línea con los efectos encontrados, ya que, con alguna excepción, todos los estudios revisados indican que tal característica de la empresa cumple una tarea fundamental en la asignación de los recursos públicos.

Tabla 6.5 *Síntesis de los resultados de 55 estudios revisados**

Variables	Número de veces que se ha utilizado cierta variable	Efecto positivo	Efecto negativo	Efecto no significativo
Tamaño de las empresas	57	23	6	28
Total antigüedad de la empresa	33	3	13	17
Grupo	21	2	4	15
Grupo extranjero	22	0	10	12
Capital público	3	1	0	2
Variables que reflejan de alguna forma la actividad innovadora	44	35	1	8

Fuente: elaboración propia a partir de Vergara *et al.* [2019].

* Esta tabla resume los resultados de la tabla 5.2b del capítulo anterior. Como se puede observar en este capítulo, para algunos de los indicadores, se han utilizado múltiples *proxies* o variables, pero en esta tabla se han simplificado los datos obviando estas diferencias.

En la literatura, se indican diversas razones que podrían explicar esta tendencia. Primero, las empresas grandes tienen muchos proyectos alternativos subvencionables, presentan efectos de escala en los costes de solicitud de subsidios y suelen tener mejores contactos con las agencias que distribuyen tales ayudas [Heijis, 2000; Neicu, 2019]. Además, hay autores que sugieren que las agencias públicas buscarían maximizar la probabilidad de que los proyectos subvencionados generen resultados positivos y las empresas grandes poseen en general una capacidad de innovación superior [Hud y Hussinger, 2015] porque cuentan, ante todo, con una capacidad de comercialización mucho

mayor, especialmente en términos de “activos complementarios” necesarios para rentabilizar las innovaciones [Teece, 1986].¹⁶

Debido a la importancia que tiene el sector en la probabilidad de innovar y, por ende, en la posibilidad de recibir ayudas, se ha incluido un conjunto de variables dicotómicas referidas al sector al que pertenece la empresa. Aunque la encuesta ofrece los datos desagregados para 38 sectores, el número reducido de empresas en algunos de ellos no permite analizar los sectores a este nivel de desagregación, por lo que se ha optado, en este estudio, por analizarlos de manera agregada a partir de una forma de distribución sectorial basada en el comportamiento tecnológico de las empresas, inicialmente propuesta por Keith Pavitt [1984], y actualizada por Daniele Archibugi [1991]. Estos autores solo consideraban las empresas del sector industrial; más tarde Francesco Bogliacino y Mario Pianta [2010; 2016] ajustan la taxonomía, incluyendo los sectores de servicios. En este capítulo, se ha utilizado la siguiente agregación:

- Productores de bienes de consumo tradicionales.¹⁷
- Proveedores de bienes intermedios tradicionales.
- Proveedores especializados de bienes intermedios y de equipo.
- Ensambladores y sectores intensivos en escala.
- Sectores basados en I+D.
- Sector servicios de baja tecnología.
- Sector servicios de alta tecnología.
- Sector agrario de construcción (grupo de referencia).¹⁸

La inclusión de estas variables binarias sectoriales permite capturar la influencia de las diferencias existentes entre las empresas pertenecientes a diferentes sectores, tanto a nivel de fuentes de tecnología como de apropiación del conocimiento. Debido a que el nivel de agregación y la forma de incluir los sectores en los estudios es muy heterogéneo, resulta casi imposible sintetizar los resultados, aunque se puede concluir que, en general, las empresas

¹⁶ Véase también el debate, al respecto, recogido en el capítulo 1.

¹⁷ La composición de los sectores por medio de los códigos CNAE (dos dígitos) se encuentra detallada en el anexo 6.3.

¹⁸ Pavitt [1984] incluía este grupo en el sector 1 “bienes tradicionales”, aquí lo utilizamos como grupo de referencia.

de sectores de mayor nivel tecnológico participan con más frecuencia que los sectores de menor nivel tecnológico.

Se observa en la tabla 6.4 que, en el caso de México, el sector con un mayor nivel de participación¹⁹ es el de ensambladores y sectores intensivos en escala, seguido por los sectores de servicios de alta tecnología o basados en conocimientos. La discriminación positiva de estos últimos se ha detectado también en otros estudios [véase Heijs *et al.*, 2020]. Por otro lado, las empresas de los sectores menos innovadores o de baja tecnología participan menos en las ayudas. Cabe recordar que los modelos de regresión simulan una situación *ceteris paribus*, por lo que las empresas de los sectores de baja tecnología no participan porque sus empresas sean menos innovadoras y más pequeñas, sino porque, si se presentan dos empresas (una del sector de baja tecnología y otra de alta tecnología) con el mismo tamaño e intensidad innovadora y parecidas en las demás variables del modelo, la empresa del sector de alta tecnología tiene mayor probabilidad de obtener ayudas.

Una característica estructural utilizada frecuentemente en la literatura existente es la edad de la empresa. Por un lado, se podría esperar que las de más experiencia –las más antiguas– presenten mayores probabilidades de ser beneficiarias. Además, por su larga trayectoria podrían tener una relación más cercana con los gestores de las agencias que implementan las ayudas o con los políticos responsables de estas agencias. Aunque, por otro lado, las empresas más jóvenes suelen presentar mayores restricciones a la financiación y algunas de ellas (las *new technology based firms*) son muy innovadoras con un mayor número de proyectos factibles para ser subvencionadas.

Las dos variables de edad incluidas en el modelo de este estudio (edad de la empresa en logaritmos y una variable binaria que recoge el efecto de las empresas de nueva creación) no presentan un efecto estadísticamente significativo. Como muestra, en la tabla 6.5, los resultados de los estudios previos son muy ambiguos. De los 33 modelos recogidos en la tabla, que refleja de alguna forma la edad de la empresa (el número de años que tiene desde su creación), 17 evidencian un efecto no significativo; otros 13, uno negativo, y 3 estudios, uno positivo. Por otro lado, todos los estudios que analizan el nivel de participación de los *start-up* detectan un efecto no significativo.

¹⁹ Los coeficientes estimados tienen como referencia los sectores energético-minero y de construcción, con un porcentaje de participación en las ayudas muy bajo. Por ello, para todos los sectores presentan mayores probabilidades de participar de los programas respecto a los sectores de referencia.

Otro aspecto incluido en el estudio es la probabilidad exportadora de las empresas, para lo cual se ha incluido la variable que recoge el valor de las exportaciones como porcentaje de la cifra de ventas. Se espera que el efecto sobre la participación en las ayudas sea positivo, debido a que se considera que el mercado internacional es más competitivo que el local; es decir, las empresas exportadoras presentarían una capacidad mayor para transformar las investigaciones en innovaciones de producto [Czarnitzki y Licht, 2006]. Ellos suponen que las empresas exportadoras que compiten en el mercado internacional serían mucho más competitivas que las que solo comercian en el ámbito nacional. Éstas participan más porque muchos países tienen políticas activas para promocionar las exportaciones; incluso, algunas de estas políticas están enfocadas hacia la innovación, como en el caso de México (véase el anexo 6.2). Asimismo, muchas agencias utilizan como un criterio de selección tácita o implícita la competitividad internacional de las empresas, asumiendo que su nivel competitivo asegura, de alguna forma, que el proyecto se lleve a cabo de manera satisfactoria. Nuestro modelo refleja que la PCTI utilizada en México beneficia más a las empresas con una mayor intensidad exportadora. Tal discriminación positiva se ha encontrado en la mayoría de los estudios previos.

Un último indicador que pertenece al grupo de variables estructurales sería la propiedad de la empresa. La evidencia empírica muestra que tal estructura es un factor influyente a la hora de determinar el perfil de las empresas receptoras de ayudas [Heijs *et al.*, 2020]. Por esto, se distingue en el modelo si las empresas pertenecen a un grupo, son individuales o si tienen participación de capital extranjero.²⁰

Se espera que la presencia de capital extranjero en las empresas tenga un efecto negativo sobre el nivel de participación en las ayudas. Esto puede deberse a dos motivos: el primero es que estas empresas optan por no participar de los programas, debido a que, en el caso de una necesidad de fondos financieros, pueden recurrir a su matriz, y el segundo es que las autoridades consideren que la participación de éstas restaría recursos a las empresas nacionales. Es decir, no ofrecen ayudas a las compañías extranjeras porque quieren evitar que mejoren su posición competitiva respecto a las nacionales y, a su vez, buscan propiciar que estas últimas aumenten su productividad. Sin embargo, hay autores [Heijs *et al.*, 2020] que defienden

²⁰ Para el análisis, se consideran empresas multinacionales a aquellas que presentan participación extranjera en su capital.

el apoyo a las grandes empresas debido a su función incentivadora basada en los efectos de desbordamiento y externalidades. Las estimaciones para México muestran una discriminación negativa de este tipo de empresas, una limitación muy clara de la PCTI en México. Estos resultados coinciden con los resultados previos de los 27 estudios analizados, los cuales reflejan que éstas tienen un efecto negativo o no significativo (véase la tabla 6.4).

Un segundo conjunto de variables que deben estar incluidas en el proceso de emparejamiento son aquellas que muestran las características del comportamiento innovador de las empresas. Muchas ayudas se asignan de forma exclusiva a ciertas actividades de innovación o, bien, las empresas con tales actividades se discriminan positivamente en el momento de asignar las ayudas. Por ejemplo, ciertos programas incluyen como criterio para la obtención de ayudas la cooperación con universidades o institutos científicos y/o apoyan a grandes proyectos de I+D básica más alejada del mercado. Otro ejemplo que muestra la importancia de medir el comportamiento innovador como variable de control es el hecho de que a muchos programas solo se puede acceder mediante la presentación de un proyecto claramente diseñado y planificado, lo que excluye muchas actividades innovadoras incrementales. Por todo ello, sería importante analizar cómo influye la orientación innovadora de la empresa en la probabilidad de obtener ayudas. De hecho, casi todos los estudios de evaluación revisados –si no es que todos– incluyen una o más variables que revelan el comportamiento innovador y casi todos ellos manifiestan (35 de 44) un efecto positivo de la innovación sobre el nivel de participación. Además, cabe mencionar que los modelos que incluyen alguna de las pocas variables que no reflejan un efecto significativo presentan simultáneamente otra variable del comportamiento innovador que sí indica un efecto positivo.

Un primer aspecto del comportamiento innovador incluido en nuestro estudio sería la calidad de su capital humano. Se supone que los resultados obtenidos por las empresas no solo dependen del esfuerzo en gasto en I+D ejercido, sino también del entorno en el que se realiza. Se considera que las empresas con un mayor nivel de capital humano tendrán más opciones de obtener buenos resultados. Por esto, se ha optado por incluir una variable binaria que recoge el efecto del capital humano en las empresas, es decir, se incluye una variable que toma valor 1 si cuentan con personal con educación superior. El efecto del capital humano sobre el nivel de participación en las ayudas resulta ser positivo y estadísticamente significativo. Este resultado va de acuerdo con lo esperado, ya que las empresas con mayor capital humano presentan más posibilidades de conseguir resultados positivos de su actividad innovadora.

Para este estudio, se han incluido también tres variables binarias –no excluyentes– que toman valor 1 si las empresas desarrollan actividades orientadas a la investigación, aplicada y fundamental (básica), o al desarrollo tecnológico. Cabría esperar que las empresas que se orientan hacia la investigación básica presenten mayores posibilidades de acceder a las ayudas, ya que esta forma de investigación, pese a presentar ganancias sociales elevadas, no siempre asegura ganancias privadas para las empresas, por lo que sin el apoyo público no atraen, por sí solas, la cantidad de recursos socialmente convenientes [Nelson, 1959]. Por lo tanto, cabe esperar que las autoridades potencien este tipo de investigaciones otorgándoles ayudas. Como se observa en la tabla 6.4, contrariamente a lo esperado, las empresas que presentan una orientación investigadora hacia la I+D fundamental se encuentran discriminadas negativamente. Se esperaba que tuvieran una discriminación positiva, debido a que este tipo de empresas se ven más afectadas por la presencia de fallos de mercado [Nelson, 1959]. Por otro lado, las empresas que realizan actividades denominadas como “desarrollo tecnológico”, que se orientan de forma directa hacia el mercado, presentan mayores probabilidades de participar de los programas de ayuda. Este tipo de actividades implican una mayor cercanía al mercado en proyectos de corto y mediano plazo, lo cual confiere a las empresas mayores probabilidades de apropiarse de los beneficios de las innovaciones. Y esto podría ser la razón de su mayor participación, ya que, aparentemente, las autoridades benefician, sobre todo, a estas empresas para asegurar que los fondos apoyen proyectos exitosos.

Como se puede derivar de la tabla 6.5, las variables incluidas en el modelo para el caso de México apenas difieren de los estudios previos de otros países. Por esta razón, se considera que los determinantes de participación más relevantes están incluidos; en este sentido, se puede decir que el estudio es válido y robusto. Respecto al conjunto de las variables incluidas, se admite que la inclusión de alguna adicional podría ser interesante, pero los demás estudios tendrían este mismo defecto. Además, se supone que la inclusión de más variables tendría un efecto cada vez menor sobre el *propensity score* y, por lo tanto, afectaría cada vez menos el emparejamiento y, por ende, el efecto final estimado.

La “robustez” del perfil de participación también se confirma en el sentido de que es bastante parecido a los demás estudios, y las diferencias detectadas en la probabilidad de participar se pueden justificar de alguna forma desde el punto de vista conceptual o teórico. Por ejemplo, la mayor probabilidad de participación de las empresas más grandes, las exportadoras y las que realizan

desarrollo tecnológico podría justificarse por el hecho de que las agencias encargadas de evaluar y seleccionar los proyectos a subvencionar utilizan ciertos criterios informales a favor de las empresas más competitivas [Heijs 2001; Heijs *et al.*, 2020]. Tal discriminación positiva de las empresas más poderosas o competitivas se aplicaría para asegurar un mayor nivel de éxito de los proyectos o, por razones políticas, como el apoyo a las grandes empresas domésticas (campeonas nacionales) en sectores considerados estratégicos.

6.5. *Medición de la adicionalidad financiera con base en el PSM*

6.5.1. El impacto de las ayudas: el Método PSM

Una vez calculado el *propensity score*, el siguiente paso del Método PSM consiste en emparejar las empresas tratadas y de control con base en su PS calculado en el punto anterior. El método de emparejamiento utilizado es el algoritmo del vecino más cercano o Nearest Neighbour Matching (NNM) con remplazamiento, lo que implica emparejar a cada empresa tratada con una sola empresa de control, seleccionando la más cercana en términos del PS y permitiendo que una empresa de control pueda ser emparejada con más de una empresa tratada. Con el objetivo de obtener un grupo de control lo más parecido posible, se aplica, además, un *caliper* para que las empresas cuya diferencia en el PS es mayor a un cierto nivel (0.003) no se emparejen. La ventaja de tal forma de proceder –el NNM, el remplazamiento y el *caliper*– es que en muestras pequeñas se facilita que todos los emparejamientos se realicen con las empresas lo más similares posibles.²¹

Mediante este procedimiento, se ha estimado el impacto de las ayudas. Como se puede observar en la tabla 6.6, el efecto estimado como la diferencia en el valor medio del logaritmo natural del gasto total en innovación sobre ventas es positivo y estadísticamente significativo. El resultado nos indica que las empresas que participan de los programas presentan un mayor

²¹ No se debe olvidar que la muestra disponible para México es pequeña. En tal situación, el uso de más casos de control por empresa tratada o elegir la opción sin remplazamiento (donde una empresa de control solo puede servir para una empresa tratada) implica, por definición, que para un conjunto de parejas la diferencia en su PS será mayor. Es decir, las empresas serán menos iguales.

esfuerzo innovador que las empresas que no participan de ellos. Es decir, los resultados obtenidos confirman un impacto positivo de las ayudas en términos de adicionalidad financiera.

Para comprobar la robustez del modelo se ha estimado el efecto con distintos algoritmos de emparejamiento. Como se puede observar en los coeficientes estimados con los tres algoritmos, son muy similares, de lo que se concluye que los resultados son robustos al tipo de emparejamiento seleccionado.

Tabla 6.6 *Efecto medio sobre los tratados (ATET)*

Variable de interés logaritmo del gasto en innovación sobre ventas				
	Coeficiente	Desviación típica	Número de tratados	Número de controles
Nearest Neighbour Matching con una empresa de control	0.039***	0.0136	163	117
Nearest Neighbour Matching con una empresa de control y caliper (0.003)	0.037***	0.0144	148	114
Nearest Neighbour Matching con una empresa de control y caliper (0.001)	0.0335	0.0224	124	105

Nota: 1. *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$ (significativo a 1 %, 5 % y 10 %, respectivamente). 2. Desviaciones típicas estimadas mediante Bootstrap con 50 repeticiones. 3. Nearest Neighbour Matching = vecino más cercano.

Fuente: elaboración propia a partir de los microdatos del INEGI [2014].

6.5.2. Calidad del emparejamiento y el modelo

A continuación, se presentan las comprobaciones pertinentes respecto a la calidad del modelo. El primer paso para comprobar que el impacto de las ayudas, en términos de una adicionalidad financiera, ha sido correctamente estimado y tenga validez es que se contraste el correcto emparejamiento.

Una forma de comprobarlo sería demostrar que las medias y las varianzas de cada una de las variables son iguales para ambos grupos (GT y GC). En la tabla 6.7, se puede observar que las diferencias existentes en las variables entre los grupos tratados y de control antes del emparejamiento dejan de ser significativas después del PSM. Esto nos indica que los grupos después del emparejamiento son estadísticamente iguales.

Tabla 6.7 *Test de igualdad de medias*

Variable	Antes del emparejamiento				Después del emparejamiento			
	Tratado	Control	t	p> t	Tratado	Control	t	p> t
Productores tradicionales industriales	0.202	0.264	-1.65	0.100	0.202	0.221	-0.41	0.685
Proveedores tradicionales industriales	0.098	0.082	0.65	0.515	0.098	0.098	0.00	1.000
Proveedores especializados industriales	0.129	0.131	-0.09	0.929	0.129	0.153	-0.63	0.526
Ensambladores y sectores intensivos en escala	0.135	0.061	3.33	0.001	0.135	0.080	1.61	0.108
Industrias intensivas en conocimiento	0.245	0.216	0.81	0.420	0.245	0.258	-0.25	0.799
Servicios de baja tecnología	0.061	0.068	-0.32	0.747	0.061	0.031	1.32	0.187
Servicios de alta tecnología	0.061	0.066	-0.21	0.837	0.061	0.086	-0.85	0.398
Servicios intensivos en conocimiento	0.055	0.052	0.19	0.848	0.055	0.049	0.25	0.804
0-20 empleados	0.012	0.052	-2.21	0.027	0.012	0.006	0.58	0.563
21-50 empleados	0.104	0.168	-2.02	0.043	0.104	0.092	0.37	0.711
51-100 empleados	0.098	0.157	-1.94	0.053	0.098	0.141	-1.19	0.234
101-200 empleados	0.153	0.156	-0.08	0.935	0.153	0.141	0.31	0.755
201-500 empleados	0.178	0.183	-0.15	0.879	0.178	0.135	1.07	0.287
Intensidad exportadora	0.280	0.187	3.45	0,001	0.280	0.307	-0.66	0.509
Edad (logaritmo)	3.259	3.186	1.35	0,178	3.259	3.286	-0.40	0.693
Start-up	0.012	0.006	0.79	0,432	0.012	0.000	1.42	0.157
Multinacional	0.221	0.219	0.05	0,960	0.221	0.239	-0.39	0.694
Grupo	0.509	0,402	2.52	0,012	0.509	0.460	0.88	0.377
Investigación básica	0.104	0.085	0.79	0,432	0.104	0.141	-1.01	0.313
Investigación aplicada	0.215	0.117	3.33	0,001	0.215	0.239	-0.53	0.598
Desarrollo tecnológico	0.589	0.271	8.15	0,000	0.589	0.607	-0.34	0.736
Capital humano	0.571	0.226	9.25	0,000	0.571	0.607	-0.67	0.501

Nota: valores correspondientes al emparejamiento mediante NNM (1).

Fuente: elaboración propia a partir de los microdatos del INEGI [2014].

Otras comprobaciones que confirman la calidad de los resultados globales del emparejamiento serían los indicadores del balance global (véase la tabla 6.8). Un primer indicador que confirma la validez del modelo sería el Pseudo R^2 , obtenido a partir de una nueva regresión logística (modelo Probit) del perfil de

las empresas, utilizando esta vez solo las empresas tratadas y las emparejadas con ellas. Si en esta nueva regresión el Pseudo R^2 tiene un valor muy cercano a 0, se confirmaría que no hay diferencias en ambos grupos (GC y GT). Es decir, las variables del modelo serán estadísticamente significantes en el momento de discriminar entre empresas con o sin tratamiento. Si este no fuera el caso, habría que volver atrás para ajustar el modelo debidamente (tal como se ha descrito en las secciones 4.4.2. y 5.4.2, de los capítulos 4 y 5, respectivamente).

Tabla 6.8 *Balance global*

	Antes del emparejamiento	Después del emparejamiento
Pseudo R^2	0.136	0.030
LR X^2	117.80	13.67
$p > X^2$	0.000	0.883
Sesgo medio	16.5	7.4
Sesgo mediano	9.3	7.0
Test K-S (p-valor)	0.00	0.144

Fuente: elaboración propia a partir de los microdatos de INEGI [2014].

Un indicador más que confirma la validez del PSM es el logaritmo de verosimilitud de Probit (LR X^2). Este test nos indica la significatividad conjunta de las variables del modelo Probit estimado, y su P-valor testea la no significancia de las variables. Para que el modelo de emparejamiento sea válido, el test LR X^2 debe ser no significativo, como es aquí el caso. Es decir, ambos indicadores muestran que, si se utilizara el conjunto de las empresas emparejadas para intentar estimar de nuevo –mediante un Probit– un perfil de empresas beneficiadas, no se encontrarían diferencias significativas para ninguna de las variables, lo que indica que en la nueva muestra de las empresas GC y GT no se pueden clasificar correctamente las empresas por medio de las variables de control.

El tercer indicador de calidad del modelo es el valor medio del sesgo estandarizado (*mean bias*), siendo una medida del valor medio del sesgo del conjunto de las variables. El sesgo se estima como la diferencia estandarizada del valor medio de cada una de las variables de control, incluido en el modelo Probit medias.²² Se observa que se ha conseguido una reducción de 9.1 % en

²² Para los detalles técnicos al respecto, véase capítulo 5, sección 5.4.2.

el sesgo medio, lo que indica un menor sesgo entre ambos grupos. Finalmente, la prueba formal de la bondad de ajuste –test de Kolmogorov-Smirnov (K-S)– muestra que después del emparejamiento las distribuciones de los dos grupos son estadísticamente iguales.

Después de analizar los resultados con el test para el correcto balance de los grupos, se puede concluir que el emparejamiento ha sido correcto y que los grupos utilizados (GT y GC) para estimar el efecto de los programas son estadísticamente iguales.

6.6. *Análisis de robustez mediante el Método de Variables Instrumentales (VI)*

Otra forma que se utiliza con cierta frecuencia para comprobar la robustez del modelo sería la estimación de un modelo basado en variables instrumentales [véanse los estudios de Czarnitzki y Lopes-Bento, 2013; Hottenrott y Lopes-Bento, 2014; Chapman *et al.*, 2018].

La estimación del PSM está basada en el cálculo de la probabilidad de participar mediante las características observables de las empresas. En este estudio, se ha incluido un conjunto de variables similares a las utilizadas en trabajos previos, por lo que es probable que la selección de las empresas subvencionadas, por parte de las agencias públicas, se sustente en estas características observables o que las características no observables estén, en cierto grado, relacionadas con las observables. Por ello, se puede asumir que el PSM es una herramienta adecuada para el análisis de impacto y que el efecto estimado puede ser interpretado como un efecto causal.

Sin embargo, también es verdad que no se encuentran otras variables relevantes en la base de datos por no ser medidas o inobservables, es decir, no se puede garantizar que todos los determinantes de la participación han sido considerados en el análisis. Además, el sesgo de selección también se genera porque las empresas se autoexcluyen del proceso de solicitud. Por lo tanto, resulta necesario comprobar si las principales conclusiones del PSM son válidas una vez que se controla por la selección basada en características no observables, y una opción para ello sería el Método de VI. Resulta importante destacar la diferencia entre PSM y VI respecto a la forma de corregir el sesgo de selección. Mientras que el PSM corrige el sesgo por medio de las características observables, y no mediante sesgos causados por variables ausentes en la estimación; por otro lado, el Método de VI sí lo corrige.

Al igual que en el caso del PSM, el modelo estima el impacto de las ayudas sobre el gasto total en innovación respecto de la cifra de ventas. Para corregir el problema de endogeneidad causado por la presencia de sesgo de selección de la muestra, se ha empleado el Método de Variables Instrumentales, que permite la naturaleza de una variable dependiente dicotómica en la primera etapa –regresión lineal con efectos de tratamiento binario endógeno (LRETE)²³–. Este método se compone de dos ecuaciones, una para la variable de interés, denominada ecuación estructural:

$$y_j = x_j \beta + \delta t_j + \varepsilon_j$$

Donde y_j es la variable de interés –en este caso es la intensidad del gasto de innovación (GTINN)–; x_j contiene las variables que podrían explicar la intensidad de gasto; t_j es una variable binaria de tratamiento, que toma valor 1 cuando recibe ayuda y 0 en otros casos.

La segunda ecuación permite estimar la probabilidad de obtener ayudas, más que su intensidad:²⁴

$$t_j^* = w_j \gamma + u_j$$

Donde t_j^* es la probabilidad estimada de recibir ayudas; w_j contiene las variables exógenas del modelo estructural (x_j), además de las variables instrumentales (z_j). La asignación de recibir ayudas está hecha de acuerdo a la siguiente regla:

$$t_j = \begin{cases} 1 & \text{si } t_j^* > 0 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Las dos ecuaciones se estiman conjuntamente mediante el estimador consistente en dos etapas: en la primera etapa, se estima la probabilidad de obtener ayudas (t_j^*) –mediante un modelo Probit– y el valor estimado de esta probabilidad se introduce en el de la segunda etapa –mediante un modelo lineal–. Los resultados del análisis se pueden encontrar en la tabla 6.8.

²³ Véase anexo 6.5 para un análisis detallado de la metodología.

²⁴ El Método de VI tradicional se estima mediante dos regresiones lineales (2SLS); sin embargo, como en nuestros datos no tenemos información acerca de la cantidad de ayudas recibidas, solo podemos saber si se han recibido ayudas o no.

Tabla 6.9 Estimación basada en características no observables

Variable de interés primera etapa: recepción de ayudas (1/0)				
Variable de interés segunda etapa: logaritmo del gasto en innovación sobre ventas				
	Primera etapa		Segunda etapa	
	Coefficiente	Desviación típica	Coefficiente	Desviación típica
Programas de ayuda			0.215***	0.048
Productores tradicionales industriales	0.775**	0.373	-0.019	0.017
Proveedores tradicionales industriales	0.991**	0.395	-0.032	0.02
Proveedores especializados industriales	0.709*	0.384	-0.013	0.018
Ensambladores y sectores intensivos en escala	1.117***	0.397	-0.032	0.021
Industrias intensivas en conocimiento	0.909**	0.373	-0.017	0.018
Servicios de baja tecnología	0.736**	0.420	0.033	0.020
Servicios de alta tecnología	0.895***	0.413	0.051**	0.021
Servicios intensivos en conocimiento	1.010**	0.423	-0.018	0.022
0-20 empleados	-0.765**	0.371	0.081***	0.019
21-50 empleados	-0.408**	0.193	0.073***	0.013
51-100 empleados	-0.496**	0.194	0.058***	0.013
101-200 empleados	-0.215**	0.171	0.029***	0.011
201-500 empleados	-0.298*	0.155	0.030***	0.011
Intensidad exportadora	0.383**	0.192	-0.003	0.014
Edad (logaritmo)	0.002	0.091	-0.006	0.006
Start-up	0.406	0.585	0.009	0.041
Multinacional	-0.507***	0.155	0.011	0.011
Grupo	0.031	0.130	-0.009	0.008
Investigación básica	-0.173	0.188	0.006	0.013
Investigación aplicada	0.004	0.158	0.001	0.011
Desarrollo tecnológico	0.318**	0.144	-0.02*	0.01
Capital humano	0.611***	0.156	-0.001	0.014
Obstáculo legal	0.101	0.121		
Obstáculo cultural	-0.235	0.148		
Gasto no relacionado con I+D	0.080	0.106		
Personal dedicado a I+D	0.940	0.687		
Lambda			-0.102***	0.026
Observaciones	939		939	

Nota: ***p < 0.01, **p < 0.05, *p < 0.1 (significativo a 1 %, 5 % y 10 %, respectivamente).

Fuente: elaboración propia a partir de los microdatos del INEGI [2014].

Se aplica el LRETE suponiendo que existe un problema de endogeneidad, pero una vez obtenido el modelo de la segunda etapa se debe comprobar que la decisión de usar este tipo de modelo sea correcta, ya que en el caso de la ausencia del problema de endogeneidad el LRETE daría valores sesgados respecto al impacto de las ayudas. Para ello, se debe analizar si existe una correlación entre los errores de asignación del tratamiento (primera etapa) y los errores del resultado (segunda etapa) mediante la significancia del coeficiente λ . Como se puede observar en la tabla 6.8, el término λ es estadísticamente significativo, lo que nos indica que es necesaria la estimación en dos etapas, debido a que los términos de error de los modelos de las dos etapas están correlacionados. Sin embargo, las variables incluidas en la primera etapa pueden discutirse desde un punto de vista teórico y, además, la variable “programas ayuda” hace referencia al valor estimado de la probabilidad de participar en los programas de ayudas, por lo que el efecto estimado es para el total de la muestra (ATE) y no solo para las empresas tratadas (ATET) como en el PSM.

Por lo tanto y siguiendo los trabajos previos [Czarnitzki y Lopes-Bento, 2013; Hottenrott y Lopes-Bento 2014; Chapman *et al.*, 2018], nos abstenemos de interpretar las estimaciones puntuales de forma individual, pero utilizamos estas regresiones como una comprobación de la robustez del efecto positivo de las ayudas. Los resultados de la tabla 6.8 muestran que los programas de apoyo a la innovación empresarial tienen un efecto positivo y significativo, corroborando los resultados del Método PSM.

6.7. Conclusiones y reflexiones finales

Dada la importancia de las actividades innovadoras para el desarrollo de los países como México, la implementación de PCTI enfocadas en las empresas es de gran importancia. Sin embargo, todo ello no implica que se pueda justificar cualquier gasto en I+D sin evaluar el costo beneficio de tales políticas,²⁵ sobre todo, porque actualmente existen circunstancias financieras muy limitadas tanto en el ámbito de las empresas como en el del Estado. El efecto del *credit crunch* y la gran crisis del 2008 han dejado a las empresas en una situación crítica, y la posible recuperación en la última década se ha visto cortada de golpe por los efectos económicos desastrosos de la crisis por la

²⁵ Aunque este cálculo está fuera del alcance del presente estudio, su realización sería, sin duda, de gran importancia, pero se considera una tarea casi imposible.

pandemia de COVID-19, lo que ha aumentado su dependencia de las ayudas públicas, ya que las empresas financian gran parte de los gastos en I+D con sus propios beneficios [Spielkamp y Rammer, 2009; Hall y Lerner, 2010; Heijts *et al.*, 2020]. Esta mayor dependencia coincide con el momento en que la Gran Recesión de 2008, el hundimiento del precio del petróleo y los efectos económicos por la pandemia de COVID-19 han dejado las cuentas financieras de México en una situación complicada. Por todo ello, la evaluación de la intervención de las organizaciones públicas en la corrección de los fallos de mercado se torna fundamental para asegurar el uso eficiente de los fondos públicos cada vez más escasos.

La evaluación del impacto global de las políticas tecnológicas llevadas a cabo por el Estado mexicano, tomando como base los datos de la Encuesta sobre Investigación y Desarrollo (ESIDET) de 2014, analizó los efectos generados por las ayudas directas a las empresas para actividades de I+D e innovación recibidas a partir de 21 tipos de instrumentos de apoyo –teniendo en cuenta todos los programas acopiados por la encuesta–. Como se ha explicado en el capítulo 3, sección 3.1, la evaluación del impacto de las ayudas presenta problemas de “sesgo de selección”. Una forma habitual en los estudios de evaluación para mitigar tal complicación econométrica es el Propensity Score Matching. Otra opción utilizada –aunque de forma menos habitual– es el modelo de regresión con efectos de tratamiento endógeno –Método de Variables Instrumentales (VI)–, por lo que en este estudio se aplicaron ambos tipos de modelos, ya que el Método de VI ha permitido contrastar la robustez de los resultados del método de emparejamiento. Como se ha debatido en el capítulo 4, sección 4.6.2, la elección del modelo a utilizar está determinada por la naturaleza de los datos disponibles, así como por el objetivo de estudio; en este caso, se considera que el PSM es el método más adecuado para el análisis, debido a que la disponibilidad de ciertos datos es limitada. Aunque ambos métodos se pueden considerar complementarios.

Los resultados de la estimación muestran que los programas de apoyo tienen un efecto positivo sobre el gasto total en innovación respecto a la cifra de ventas, confirmado tanto por el Método PSM como vía la regresión con VI. Se confirma que los programas incentivan a las empresas participantes para incrementar su esfuerzo innovador. Esto es importante debido a que un esfuerzo innovador mayor aumenta la probabilidad de obtener resultados positivos. Esto se puede producir por dos vías: la primera es que las empresas con mayores gastos pueden dedicar más tiempo, empleados o activos a la actividad innovadora; la segunda es que las empresas subvencionadas

pueden iniciar nuevas actividades innovadoras facilitando la consecución de resultados en alguna de estas.

Respecto a la envergadura del efecto estimado de adicionalidad financiera o *average treatment effects on the treated* (ATET), se puede observar que es de 0.039. Es decir, el nivel de gasto en I+D e innovación sobre ventas en valores logarítmicos de las empresas con ayudas es, como media, 3.9 puntos porcentuales mayor que en las empresas que no obtuvieron ayudas para estos conceptos. Resulta difícil comparar este resultado con otros estudios para el caso de México. Como se ha visto en la introducción de este capítulo, los estudios de evaluación sobre la PCTI a nivel empresarial son muy escasos y heterogéneos tanto en las metodologías aplicadas como en los instrumentos analizados. Además, estos trabajos utilizan variables de interés –siendo el indicador con el que se evalúa el impacto– muy distintas que en publicaciones de otros países. Recuérdese que, en solo uno de los nueve estudios detectados que analizan el efecto de las ayudas sobre el gasto en I+D e innovación en las empresas mexicanas –utilizando un método alternativo poco utilizado–, mientras que los otros estudios analizan, entre otros, el efecto de las ayudas sobre las ventas, las exportaciones o el empleo. A pesar de la heterogeneidad de las variables de interés utilizadas, parece que estos estudios han detectado que las ayudas a la innovación empresarial han tenido, en general, un efecto positivo en términos de adicionalidad. Por lo anterior, se obtienen dos conclusiones: 1) no hay ningún estudio sobre México que permita confrontar de forma directa nuestros resultados, y 2) esta investigación se suma a la tendencia observada –el efecto positivo sobre el comportamiento de las empresas– en los demás estudios.

Tampoco la comparación del tamaño del efecto a nivel internacional resulta una tarea fácil ni está libre de problemas metodológicos. En este caso, el problema no es el tipo de variables de interés, sino la heterogeneidad en la forma de introducir los gastos en I+D e innovación en los modelos. En esta investigación se ha optado por introducir como variable de interés el valor del gasto en I+D e innovación como porcentaje de las ventas a base de una transformación logarítmica (GIDIV). Tal transformación se ha considerado oportuna, debido a la asimetría en la distribución de las ayudas y al tamaño de la muestra. Esta es relativamente pequeña, lo que podría implicar la presencia de un mayor número de valores extremos que podría sesgar los resultados. Primero, porque en las muestras limitadas el *propensity score* de las dos empresas emparejadas puede estar algo más alejado que en las muestras grandes, en este caso el valor logarítmico del GIDIV corrige posi-

bles diferencias que se deben a la presencia de tales valores atípicos y no son atribuibles a las ayudas públicas. Segundo, este indicador evita el posible sesgo que podría existir por la función influyente de unos pocos *outliers* –siempre importante en muestras más pequeñas como es el caso– en el momento de calcular el efecto medio (ATET). Sin embargo, el uso de este procedimiento limita, o más bien impide, la comparabilidad de los resultados en términos del tamaño del efecto con evidencia empírica a nivel internacional. Es verdad que el efecto estimado para el caso de México es aparentemente pequeño conforme a los resultados observados en otros estudios, pero esto se debe primordialmente a la forma de introducir la variable dependiente, ya que la mayoría de los análisis no utilizan valores transformados.

En cuanto al perfil de las empresas con una mayor probabilidad de participar en las ayudas, los resultados son casi directamente comparables con otros trabajos a nivel internacional. De hecho, el perfil observado es muy parecido a los de otros países, tal como se refleja en la tabla 6.4. Destaca la alta participación de las empresas grandes, las que exportan con más frecuencia y las que tienen un nivel innovador más desarrollado porque pertenecen a sectores de alta tecnología o porque tienen un grado mayor de capital humano y realizan frecuentemente desarrollo tecnológico. Se trata, en general, de un perfil muy parecido a los observados en la literatura empírica [véase Heijs *et al.*, 2020; Heijs, 2003; 2001; Meyer-Krahmer, 1989]. En lo que se refiere al tipo de empresas que participan con menos frecuencia, destaca la discriminación negativa de las empresas con I+D básica. Este hecho podría estar relacionado con un mayor nivel de apoyo a las empresas que realizan actividades de desarrollo tecnológico, que son más cercanas al mercado. En este caso, las agencias públicas de apoyo parecen fomentar con mayor frecuencia proyectos cercanos al mercado, que, de alguna forma, aseguran un mayor nivel de éxito y están más directamente relacionados con el impacto a corto plazo. Otros tipos de empresas discriminadas negativamente por las agencias mexicanas que distribuyen las ayudas son las multinacionales, un hecho observado en muchos estudios y diversos países [Heijs *et al.*, 2020]. En este caso, podría deberse a que también el Gobierno mexicano facilita, sobre todo, el acceso a las empresas nacionales con el objetivo de mejorar su nivel competitivo ante competidores extranjeros.

Para concluir, el efecto global de las ayudas parece positivo, por lo que los programas que ofrecen subvenciones a la I+D y la innovación estarían justificados. Por otro lado, el perfil de las empresas con una mayor facilidad de obtener ayudas es parecido al de los demás países, aunque cabe destacar la

discriminación negativa de las empresas con gastos en I+D fundamental, lo que podría indicar que aquellas que tienen una visión o cultura innovadora a largo plazo han sido discriminadas por las agencias (instituciones encargadas de la asignación de recursos), un hecho que desde el punto de vista de los autores se debería corregir.

Respecto a las limitaciones del trabajo y líneas futuras de investigación, se puede indicar –como ya se ha dicho– el tamaño reducido de la muestra y las pocas empresas que reciben ayudas. Otra limitación sería el hecho de que no se disponen datos sobre el monto de las ayudas en términos absolutos o como porcentaje del total del gasto en I+D e innovación. Esto sería importante porque diversos estudios indican que este “tamaño” de las ayudas podría influir en la existencia o no de un efecto de adicionalidad financiera [Heijs, 2001; Görg y Strobl, 2007; Dai y Cheng, 2015; Marino *et al.*, 2016; Heijs *et al.*, 2020]. Otra línea de investigación interesante sería analizar no solo el efecto medio de las ayudas (el ATET), sino identificar el tipo de empresas que reflejan una mayor o menor probabilidad, donde las ayudas generan un efecto positivo en su gasto en I+D y/o la intensidad del efecto de adicionalidad. Tal análisis será útil a las agencias públicas para ajustar los criterios de selección.

REFERENCIAS

- Aerts, Kris & Schmidt, Tobias [2008], “Two for the Price of One? Additionality Effects of R&D Subsidies: A Comparison Between Flanders and Germany”, *Research Policy*, 37(5): 806-822.
- Archibugi, Daniele; Cesaratto, Sergio & Sirilli, Giorgio [1991], “Sources of Innovative Activities and Industrial Organization in Italy”, *Research Policy*, 20(4): 299-313.
- Arrow, Kenneth [1962], “Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention”, in National Bureau of Economic Research, NBER (ed.), *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors* (609-626), Princeton University Press.
- Bogliacino, Francesco & Pianta, Mario [2010], “Innovation and Employment: A Reinvestigation Using Revised Pavitt Classes”, *Research Policy*, 39(6): 799-809.
- [2016], “The Pavitt Taxonomy, Revisited: Patterns of Innovation in Manufacturing and Services”, *Economia Politica*, 33(2): 153-180.
- Chapman, Gary; Lucena, Abel & Afcha, Sergio [2018], “R&D Subsidies & External Collaborative Breadth: Differential Gains and the Role of Collaboration Experience”, *Research Policy*, 47(3): 623-636.
- Chavez, Emmanuel [2019], “The Effects of Public R&D Subsidies on Private R&D Activities in Mexico”, Retrieved from: <<https://bit.ly/3hrl818>>.
- Czarnitzki, Dirk & Licht, Georg [2006], “Additionality of Public R&D Grants in a Transition Economy: The Case of Eastern Germany”, *Economics of Transition*, 14(1): 101-131.
- Czarnitzki, Dirk & Lopes-Bento, Cindy [2011], “Evaluation of Public R&D Policies: A Cross-Country Comparison”, *World Review of Science, Technology and Sustainable Development*, 9(2-4): 254-282.
- [2013], “Value for Money? New Microeconomic Evidence on Public R&D Grants in Flanders”, *Research Policy*, 42(1): 76-89.
- Dai, Xiaoyong & Cheng, Liwei [2015], “The Effect of Public Subsidies on Corporate R&D Investment: An Application of the Generalized Propensity Score”, *Technological Forecasting and Social Change*, 90: 410-419.
- Dávila, Cristobal; León, Jorge y Preciado, Juan [2019], “La efectividad del Programa de Estímulos a la Innovación (PEI) en Sonora. ¿Qué factores influyen en el impacto del programa Rodríguez sobre la innovación y la competitividad de las empresas?”, *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 29(53).
- Görg, Holger & Strobl, Eric [2007], “The Effect of R&D Subsidies on Private R&D”, *Economica*, 74(294): 215-234.

- Guerzoni, Marco & Raiteri, Emilio [2015], "Demand-Side vs. Supply-Side Technology Policies: Hidden Treatment and New Empirical Evidence on the Policy Mix", *Research Policy*, 44(3): 726-747.
- Hall, Bronwyn & Lerner, Josh [2010], The Financing of R&D and Innovation. *Handbook of the Economics of Innovation* (609-639), Amsterdam, The Netherlands, Elsevier.
- Heijs, Joost [2000], *Financiación pública de las actividades innovadoras empresariales: evaluación de los créditos blandos para proyectos del I+D*, Tesis Doctoral, Madrid, Universidad Complutense de Madrid.
- [2001]. *Política tecnológica e innovación: Evaluación de la financiación pública de I+D en España*, Madrid, Consejo Económico y Social.
- [2003], "Freerider Behaviour and the Public Finance of R&D Activities in Enterprises: The Case of the Spanish Low Interest Credits for R&D", *Research Policy*, 32(3): 445-461.
- Heijs, Joost; Buesa, Mikel; Vergara Reyes, Delia; Gutiérrez, Cristian; Arenas Díaz, Guillermo y Guerrero, Alex J. [2020], *Innovación, crecimiento y competitividad: El papel de la política tecnológica en España*, Madrid, Estudios de la Fundación, 94. La Fundación Cajas de Ahorros (Funcas).
- Hogan, Teresa; Humphery-Jenner, Mark; Tran Thi Lan, Huong & Powell, Ronan [2015], "The Returns to Public Investment in Innovation: Do R&D Grants Influence Corporate Innovation, Performance, and Employment?", *28th Australasian Finance and Banking Conference*.
- Hottenrott, Hanna & Lopes-Bento, Cindy [2014], "(International) R&D Collaboration and SMEs: The Effectiveness of Targeted Public R&D Support Schemes", *Research Policy*, 43(6): 1055-1066.
- Hud, Martin & Hussinger, Katrin [2015], "The Impact of R&D Subsidies During the Crisis", *Research Policy*, 44(10): 1844-1855.
- Huergo, Elena & Moreno, Lourdes [2017], "Subsidies or Loans? Evaluating the Impact of R&D Support Programmes", *Research Policy*, 46(7): 1198-1214.
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística [2014], Encuesta Sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico (ESIDET) 2014. Laboratorio de Microdatos, Ciudad de México.
- Kamien, Morton & Schwartz, Nancy [1982], *Market Structure and Innovation*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Lopez-Acevedo, Gladys & Tinajero-Bravo, Mónica [2013], "Evaluating Different Types of Enterprise Support Programs Using Panel Firm Data: Evidence from the Mexican Manufacturing Sector", *Economía*, 14(1): 1-26.
- Marino, Marianna; Lhuillery, Stephane; Parrotta, Pierpaolo & Sala, Davide [2016], "Additionality or Crowding-Out? An Overall Evaluation of Public R&D Subsidy on Private R&D Expenditure", *Research Policy*, 45(9): 1715-1730.
- Martinez-Covarrubias, Juan L.; Lenihan, Helena & Hart, Mark [2017], "Public Support for Business Innovation in Mexico: A Cross-Sectional Analysis", *Regional Studies*, 51(12): 1786-1800.

- Meyer-Krahmer, Frieder [1989]. *Der einfluß staatlicher technologiepolitik auf industrielle innovationen*, Baden Baden, Deutschland, Nomos Verlag-Ges.
- Moctezuma, Patricia; López, Sergio & Mungaray, Alejandro [2017], “Innovación y desarrollo: programa de estímulos a la innovación regional en México”, *Problemas del Desarrollo*, 48(191): 133-159.
- Neicu, Daniel [2019], “Evaluating the Effects of an R&D Policy Mix of Subsidies and Tax Credits”, *Management and Economics Review*, 4(2): 1-13.
- Nelson, Richard [1959], “The Simple Economics of Basic Scientific Research”, *Journal of Political Economy*, 67(3): 297-306.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD) [2010], *OECD Science, Technology and Industry Outlook*. OECD Publishing. Retrieved from <<https://bit.ly/3oKoeiH>>.
- _____ [2020], “Medición del apoyo fiscal para la I+D y la innovación”. Recuperado de <<https://bit.ly/3u9yNwL>>.
- Pastor Pérez, María; Rodríguez Gutiérrez, Paola y Ramos Ávila, Adriana [2017], “Efectos del financiamiento público a la innovación: perspectiva microeconómica a partir de un estudio en pequeñas empresas”, *Región y Sociedad*, 29(70): 203-229.
- Pavitt, Keith [1984], “Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory”, *Research Policy*, 13(6): 343-373.
- Rosenbaum, Paul & Rubin, Donald [1985], “Constructing a Control Group Using Multivariate Matched Sampling Methods that Incorporate the Propensity Score”, *The American Statistician*, 39(1): 33-38.
- Spielkamp, Alfred & Rammer, Christian [2009], “Financing of Innovation-Thresholds and Options”, *Management & Marketing*, 4(2).
- Tan, Hong W. & López Acevedo, Gladys [2005], *Evaluating Training Programs for Small and Medium Enterprises: Lessons from Mexico*, Washington, The World Bank Publications.
- _____ [2007], *Evaluando los programas de apoyo a las pequeñas y medianas empresas en México*, Washington, The World Bank.
- _____ [2010], *Impact Evaluation of SME Programs in Latin America and Caribbean*, Washington, The World Bank.
- Teece, David [1986], “Profiting from Technological innovation: Implications for Integration, Collaboration, Licensing and Public Policy”, *Research Policy*, 15(6): 285-305.
- Vergara Reyes, Delia Margarita; Heijts, Joost; Arenas Díaz, Guillermo y Guerrero, Alex [2019], *Efectos de la política tecnológica en el comportamiento innovador y el empleo: análisis de contenido*. Recuperado de <<https://bit.ly/3vVtSkp>>.
- Zúñiga-Vicente, José; Alonso-Borrego, César; Forcadell, Francisco & Galán, José [2014], “Assessing the Effect of Public Subsidies on Firm R&D Investment: A Survey”, *Journal of Economic Surveys*, 28(1): 36-67.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES FINALES

Delia Margarita Vergara
Joost Heijs
Alex J. Guerrero
Guillermo Arenas

7.1. Consideraciones generales

La utilización del conocimiento en las actividades económicas a lo largo del tiempo ha propiciado un crecimiento científico y tecnológico sin precedentes. La evidencia analizada durante la investigación muestra las diferencias entre los países en sus niveles de inversión en actividades de I+D e innovación, las cuales definen distintos grados de competitividad, de inversión pública y privada, y costos laborales. Los indicadores descriptivos parecen confirmar una relación directa entre la inversión realizada para fomentar las actividades de innovación, y el nivel de competitividad del país, lo que implica un mayor bienestar de la población; es decir, los países tecnológicamente más avanzados son los que tienen un mayor crecimiento que permea en sus poblaciones, logrando un grado de desarrollo sostenido en el tiempo. Otra consideración esencial, que ya destacaron los grandes pensadores críticos como Karl Marx y Joseph Schumpeter, es que las empresas son el eje central del sistema de innovación, donde las grandes multinacionales casi siempre monopolizan los gastos en I+D empresarial, pero esto no impide una función relevante de las pymes para desarrollar innovaciones incrementales, comercializarlas y asegurar la difusión adaptando la tecnologías a las necesidades de sus usuarios.

Actualmente, la PCTI forma parte de las políticas habituales de los Estados más avanzados como instrumento para mejorar la competitividad de su sistema productivo y promover el crecimiento económico. Estos países cuentan con un conjunto de instrumentos muy amplio y muchos de ellos asentados ya desde la década de 1980. Además, en los programas del *policy mix* actuales, los instrumentos enfocados hacia la innovación empresarial tienen una tarea central.

En países como México, donde la inversión del sector privado en actividades de I+D es menor que la desarrollada en otras naciones, se vuelve relevante la intervención del Estado para fomentarla. Esto lo hace por medio de diversos instrumentos que son utilizados por el Conacyt, y algunas dependencias de Estado, como la Secretaría de Economía.

Al paso del tiempo y con diversos esfuerzos en el diseño de programas para apoyar el desarrollo tecnológico del país, todavía no se han logrado los

niveles necesarios para la construcción de un sistema de innovación integrado y bien articulado. Por un lado, está el discurso político que reconoce la necesidad de generar y mejorar las capacidades tecnológicas; por otro, los recursos financieros públicos y privados siguen siendo insuficientes para reactivar las actividades de CTI. Además, las políticas no cuentan con prioridades específicas para los sectores más prometedores y dinámicos, por lo que el escaso financiamiento público se diluye y atomiza en un amplio número de iniciativas, que se podrían denominar como una política de “café para todos”.

La evidencia de otros países demuestra que el crecimiento y desarrollo se puede alcanzar por medio del cambio tecnológico, pero se necesita de un esfuerzo constante de inversión –pública y privada– de programas e instrumentos adecuados que prioricen los objetivos más relevantes para que conduzcan a una senda de crecimiento en los ámbitos de la ciencia, la tecnología y la innovación, tanto en la creación de conocimientos explícitos y tácitos como de habilidades que permitan un mejor aprendizaje tecnológico.

7.2. Principales hallazgos respecto al efecto de las ayudas a la innovación empresarial en México

Una manera de saber si los recursos que invierte el Estado cumplen con los objetivos para los cuales fueron destinados es evaluar los resultados de los diversos instrumentos utilizados por medio de diferentes metodologías. El objetivo principal de esta obra (libro-manual) ha sido explicar cómo se utiliza una metodología de evaluación ampliamente aceptada en la comunidad académica internacional, que es la del Método Propensity Score Matching (PSM). Esta metodología es especialmente apta para evaluar el impacto de las ayudas individuales a las empresas como los subsidios y ventajas fiscales para las actividades de I+D e innovación a nivel empresarial.

Para su mejor comprensión y para definir el contexto en que se asignan estas ayudas, se presentaron dos capítulos introductorios, a manera de contexto general, sobre la importancia de la innovación, conocimiento e I+D, mediante los desarrollos teóricos más reconocidos sobre este tema y la pertinencia del cambio tecnológico para aumentar los niveles de productividad-competitividad, así como aspectos relevantes de la política tecnológica y características generales de la CTI en México. Desde un punto de vista teórico-empírico, se constata que –a largo plazo– los países solo pueden ser competitivos si apuestan por una estrategia basada en la innovación, ya que

los factores explicativos tradicionales como la moderación salarial o las políticas de tipo de cambio únicamente aumentarían el nivel competitivo a corto plazo. Esta mejora sería artificial porque quitar tales políticas no generan un aumento de la productividad. Asimismo, si los competidores de otros países siguen las mismas estrategias, los beneficios se desvanecerían y los países entrarían en una competición destructiva que resultaría en un proceso recesivo en cadena basado en un continuo deterioro de los salarios.

Observando los datos estadísticos ofrecidos, se confirma la necesidad de que México reoriente su sistema productivo hacia una economía basada en el conocimiento. Las empresas deben reconsiderar que el gasto en I+D es solamente esto, un “gasto” a corto plazo, y asimilar que, en realidad, se trata de una inversión a largo plazo que permite asegurar el progreso tecnológico. Además, este tendría que ayudar a promover el objetivo central que debería tener cualquier país: la mejora del bienestar y el nivel de vida de sus habitantes.

Para la explicación detallada de cómo se emplea el PSM, se utilizaron datos de las encuestas de innovación de España, debido a las limitaciones de los datos para México. Resulta que para el caso de España se dispone de un número mucho mayor de observaciones, lo cual es relevante para la calidad de los resultados, pues permiten explicar de mejor manera las opciones, limitaciones y los problemas prácticos. También, para el caso de España, se dispone de un “panel de datos” de 14 años, lo que permite algunos ajustes metodológicos que no se pueden explicar con los datos de tipo cruzado para un solo año, como es el caso de la EDISET de México.

Una vez explicado, paso a paso, cómo se usa el Método PSM, se hizo un estudio para el caso de México. Primero, porque queremos demostrar que esta metodología es válida. Además, es importante resaltar que solo uno de los nueve estudios de evaluación previos detectados para el caso de México ha analizado el efecto de las ayudas a la innovación empresarial –por medio de modelos econométricos y con microdatos– en términos de la adicionalidad financiera. Esto contrasta con el hecho de que la gran mayoría de los estudios de evaluación existentes a nivel internacional utiliza principalmente esta variable.

Para el caso de México, se analizaron los microdatos de la Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico (ESIDET) con datos para el periodo 2012-2013, con base en los microdatos de carácter “sección cruzada” del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) mediante su utilización *in situ*. Se analizaron los efectos generados por las ayudas directas a las empresas para actividades de I+D e innovación, recibidas a partir de 21 tipos de

instrumentos de apoyo (tomando en cuenta todos los programas acopiados por la encuesta).

Como se ha debatido, la elección de las metodologías de evaluación a utilizar está determinada por la naturaleza de los datos disponibles, así como por el objetivo de estudio. Para medir la adicionalidad financiera de las ayudas a la innovación empresarial con microdatos de una fuente secundaria se pueden aplicar básicamente dos tipos de modelos econométricos: el PSM y las regresiones basadas en variables instrumentales (VI). En este caso, se considera que el PSM es el método más adecuado para el análisis. Primero, por razones metodológicas, ya que es difícil seleccionar una variable instrumental que cumpla las condiciones y supuestos econométricos. Y segundo, en cuanto a la encuesta ESIDET, su tamaño es pequeño, lo que representa un problema importante. Por esta razón, se considera que el PSM es el método más adecuado para el análisis. Como se ha argumentado en el capítulo 4, las regresiones de VI son mucho más sensibles a la falta de observaciones, y aún más si hay presencia de valores atípicos (*outliers*). No hay que olvidar que usando las VI sería aún más difícil de cumplir con los supuestos tradicionales de los modelos de regresión.

Los resultados de la estimación muestran que los programas de apoyo tienen un efecto positivo sobre el gasto total en innovación en comparación con la cifra de ventas; esto se confirma tanto para el Método PSM como para la regresión con variables instrumentales. Además, se ratifica que los programas incentivan a las empresas participantes para incrementar su esfuerzo innovador.

Como conclusión principal, se puede destacar que se aprecia un efecto positivo global de los programas que ofrecen ayudas en forma de subvenciones a la I+D e innovación, por lo que estarían justificados. El efecto estimado de adicionalidad financiera o *average treatment effects on the treated* (ATET) es de 0.039. Es decir, el nivel de gasto en I+D e innovación sobre ventas en valores logarítmicos de las empresas con ayudas es, como media, 3.9 puntos porcentuales mayor que en las empresas que no obtuvieron ayudas para estos conceptos.

Resulta difícil comparar este resultado con otros estudios para el caso de México, debido a que los trabajos de evaluación sobre la PCTI a nivel empresarial son muy escasos y heterogéneos tanto en las metodologías aplicadas como en los instrumentos analizados. Además, utilizan variables de interés –indicador sobre el que se evalúa el impacto– muy distintas a las de los estudios de otros países. A pesar de la heterogeneidad de las variables de interés utilizadas, parece que estos análisis han detectado que las ayudas a la inno-

vacación empresarial tienen, en general, un efecto positivo en términos de adicionalidad. Por ello, se puede concluir que este estudio se suma a la tendencia observada –el efecto positivo– en los demás trabajos.

Respecto a la comparación de estos resultados con los demás estudios internacionales cabe recordar que en esta investigación, se ha optado por introducir como variable de interés el valor del gasto en I+D e innovación y como porcentaje de las ventas por medio de una transformación logarítmica (GIDIV). Tal transformación se ha considerado oportuna debido a la asimetría en la distribución de las ayudas y al tamaño de la muestra. Esta es relativamente pequeña, lo que implicaría la presencia de un mayor número de valores extremos que podría sesgar los resultados. Por otro lado, la transformación aplicada suaviza dicho sesgo importante en muestras más pequeñas. Sin embargo, el uso de este procedimiento limita o, más bien, impide la comparabilidad de los resultados en términos del tamaño del efecto con evidencia empírica a nivel internacional. Es verdad que el efecto estimado para el caso de México es aparentemente pequeño respecto a los resultados observados en otros estudios, pero esto se debe, sobre todo, a la forma de introducir la variable dependiente, ya que la mayoría de los análisis no utilizan valores transformados.

Otro aspecto relevante evaluado en este estudio es el perfil de las empresas con una mayor probabilidad de participar en las ayudas con resultados muy parecidos a los encontrados en estudios de otros países –como se observa en la tabla 6.4–. Destaca el alto nivel de participación de las empresas grandes, las que exportan con más frecuencia y las que tienen un nivel innovador más desarrollado. Respecto al tipo de empresas que participan con menor regularidad, sobresale la discriminación negativa de las empresas con I+D básica. Este hecho podría estar relacionado con un mayor nivel de apoyo a las empresas que realizan actividades de desarrollo tecnológico, que son más cercanas al mercado. Se podría suponer que las agencias públicas de apoyo fomenten con mayor frecuencia proyectos cercanos al mercado, que, de alguna forma, aseguran un mayor nivel de éxito y están más directamente relacionados con el impacto a corto plazo. Otro tipo de empresas discriminadas negativamente por las agencias mexicanas que distribuyen las ayudas son las empresas multinacionales, un hecho observado en muchos estudios y diversos países [Heijs *et al.*, 2020]. Esto podría deberse a que también el Gobierno mexicano facilita, principalmente, el acceso a las empresas nacionales con el objetivo de mejorar su nivel competitivo frente a competidores extranjeros.

7.3. *Reflexiones finales sobre el desarrollo de las PCTI y su orientación futura*

En México, las PCTI han evolucionado con el tiempo, y en distintas etapas coexistieron y coevolucionaron con la política industrial que había sido implementada para dar un empuje a la industrialización del país. Uno de los cambios relevantes ocurrió en la década de 1980, cuando el Estado cambió el enfoque de su política económica respecto al crecimiento y disminuyó la función estatal en la actividad económica.

En contraste con la política seguida en el proceso de industrialización mexicana de sustitución de importaciones, adoptó las condiciones neoliberales dictadas por las instituciones financieras internacionales. Sin embargo, no es la única causa del escaso avance en los objetivos de crecimiento y desarrollo, también la path dependency lo es, ya que la situación actual de atraso económico y dependencia tecnológica son resultado de las decisiones políticas en el pasado que no han sido eficientes ni han logrado los objetivos planteados en los programas sexenales, –con cambios constantes en los objetivos de la PCTI y los criterios de selección de las empresas que obtienen ayudas– pues carecen de una visión a largo plazo (véase capítulo 1, sección 1.2.3.1).

A pesar de los propósitos manifestados – en los Programas Nacionales de Desarrollo y en los de CTI– de lograr un desarrollo apoyado en la ciencia, tecnología e innovación, no se ha logrado concretar en el nivel que necesita el país para que sea posible. El financiamiento, tanto público como privado, ha sido insuficiente para romper con la inercia de una baja inversión en la construcción de capacidades tecnológicas –formales y tácitas– que permitan una utilización eficiente de la tecnología importada. También es fundamental que el Estado participe en el financiamiento de las actividades de I+D y estimule la inversión privada para obtener montos que favorezcan dichas tareas. Es indispensable optimizar la asignación de recursos con estrategias que coadyuven al desarrollo del país con la intervención oportuna del gobierno.

En cuanto a la evolución y composición de los instrumentos de la PCTI, se puede sostener, en cierto modo, que se dispone, actualmente, en muchos países europeos de un amplio conjunto de instrumentos y programas complementarios y, más o menos, bien definidos, aunque, al mismo tiempo,

existen países, como España o México, cuyas PCTI no consiguieron dinamizar su sistema de innovación.¹

La orientación futura de estas políticas tiene dos vertientes. Por un lado, aquellos países con un sistema de innovación poco desarrollado y con una composición de sus PCTI muy defectuosa tendrán que consolidar y rediseñar estos instrumentos para que sean más eficientes. Por otro lado, para los países más avanzados, el gran reto de las PCTI es afrontar los grandes desafíos actuales. El primero de ellos sería enfrentar las consecuencias y aprovechar las oportunidades del cambio del ciclo de vida de las tecnologías claves u horizontales. En tales circunstancias, urgen medidas más ambiciosas que la corrección de los fallos del sistema de innovación; por ejemplo, son necesarias políticas enfocadas a misiones concretas, así como la creación de una demanda de tecnologías adecuadas para afrontar los problemas de la sociedad y –en el caso de los países del Oeste– se requieren políticas que vuelvan a poner a los países avanzados en la senda de crecimiento y competitividad. Para ello, se deben reorientar las políticas de nuevo hacia los campos tecnológicos emergentes para reactivar la economía, volver a la senda del aumento de productividad y recuperar la pérdida de competitividad respecto a los países BRICS (Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica).

Sin embargo, existe un debate actual acerca de si la PCTI debe limitarse a una política reactiva o si debe tener un enfoque proactivo, donde el Estado tenga una función relevante en la definición de la orientación o dirección del progreso tecnológico para apoyar la transformación de la sociedad en su conjunto. En realidad, no es la elección de una de las dos opciones, sino que las dos se consideran complementarias [Mazzucato, 2014; 2016]. De hecho, la teoría evolucionista y otras corrientes siempre han abogado por una política proactiva, pero la teoría evolucionista también propone una visión proactiva donde el objetivo sería crear un sistema de innovación eficiente y efectivo enfocado hacia la mejora de la competitividad del sistema productivo nacional. La competitividad a nivel empresarial y la innovación se pueden considerar un binomio indisoluble, donde un buen sistema innovador [Freeman, 1987] o un buen sistema productivo y un alto nivel de exigencia

¹ El Country Report de España de 2012 sostiene que la PCTI de este país está muy diversificada con un presupuesto considerable, pero, debido a la existencia de un amplio número de fallos de mercado, no se ha conseguido crear una cultura económica que apueste por la innovación [ERA-watch, 2012].

de los consumidores y productores [Porter, 1990] mejora el nivel competitivo tanto de las empresas individuales como de los países y/o regiones.

Esta nueva realidad no implica un cambio de paradigma del diseño de las PCTI mediante la creación de nuevos instrumentos, debido a que en realidad ya existe un amplio conjunto de instrumentos muy bien definidos, aunque no siempre bien utilizados. Sus efectos esperados y efectividad potencial² han sido, en cierto modo, analizados y, a veces, evaluados empíricamente. En nuestra opinión, este tipo de análisis requiere ser complementado todavía en bastantes aspectos, especialmente en lo que se refiere a la interacción entre los efectos de distintos instrumentos complementarios dentro del *policy mix*, los efectos diferenciados según el nivel económico o tecnológico de los países donde se aplican los instrumentos y en la forma de adaptarlos al contexto concreto del país o la región. A pesar de esto, como se acaba de mencionar, no se trataría de un cambio radical o paradigmático del diseño de las PCTI, sino de afinar su uso. Aunque podría surgir algún instrumento novedoso, se trataría de ajustar la composición de estos y de los objetivos concretos que persiguen. Por ejemplo, las políticas de demanda –como indicaron Edler y Fagerberg [2017]– habían perdido cierta importancia en la década de 1990, pero en las circunstancias actuales habría que reactivarlas enfocando su uso a los nuevos desafíos [Mazzucato, 2014]. Es decir, la PCTI del futuro se basa en reequilibrar la intensidad en que se usan ciertos tipos de instrumentos e identificar las nuevas tecnologías emergentes concretas hacia las que se deben enfocar los esfuerzos y cómo, en términos schumpeterianos, se pueden crear nuevas combinaciones basadas en tecnologías existentes y emergentes. Lo nuevo dentro de esta tendencia es el mayor análisis de la interacción de la PCTI y otros programas para diseñarlos de tal forma que se refuercen mutuamente, lo que se conoce como una visión sistémica u holística [Mazzucato, 2014].

7.4. *Futuras líneas de investigación*

Una de las posibles pautas de investigación futuras respecto a la evaluación de las PCTI sería la combinación de los datos que recogen los institutos nacionales de estadística en sus encuestas de innovación (EdI) –como base de datos secundarios– con información de las agencias que asignan ayudas,

² Véanse, por ejemplo, los informes de NESTA ya mencionados y el trabajo de Cirera *et al.* [2020].

o bien obtenida de otras encuestas secundarias realizadas por los institutos nacionales de investigación. Esto permitiría incluir en las encuestas de innovación las variables referentes a los mercados de las empresas y su dinamismo, la situación financiera y la internacionalización de la empresa. Su viabilidad depende, por un lado, de la voluntad de permitir el acceso a los datos disponibles por parte de los institutos nacionales de estadística y de las agencias públicas responsables de las ayudas. Tal proceder sería difícil, ya que estas instituciones deben velar el cumplimiento legal del secreto de los datos aportados por las empresas.

Otro aspecto que se debe analizar con más detalle en el futuro es la heterogeneidad del impacto. Se ha observado un considerable número de estudios de evaluación basados en el PSM, pero solo unos cuantos se enfocan en las diferencias de impacto por tipo de empresas. Por ahora, se ha analizado este aspecto repitiendo los análisis PSM por submuestras, pero tal forma de proceder podría generar un sesgo importante en los resultados. Estos trabajos solo analizan las diferencias para una o pocas variables concretas y los escasos resultados llegan a ser contradictorios.³ Por ello, en esta investigación, no se ha realizado tal análisis, ya que nos parece que el método de las submuestras no es del todo correcto.⁴

Resulta que esta forma de analizar esas diferencias no tiene en cuenta la posible interacción entre las variables explicativas ni la presencia del mismo tipo de empresas en las distintas submuestras analizadas. Por ejemplo, las empresas grandes suelen formar parte de un grupo empresarial, ser exportadoras y pertenecer a cierto tipo de sectores. Esto implica que la comparación de empresas multinacionales con las nacionales confronta, de forma implícita, las diferencias entre las empresas grandes y las pequeñas. Es verdad que el emparejamiento corrige parcialmente tal sesgo, pero el número de parejas de empresas grandes será mayor en la submuestra de empresas multinacionales, por lo que el análisis del impacto diferenciado, comparando el ATET entre submuestras, no corrige debidamente la interacción entre las variables explicativas. El desafío es desarrollar una aproximación metodológica que permita analizar de forma detallada los factores que influyen en la existencia y el nivel de adicionalidad de las empresas. Es decir, un análisis del perfil de las empresas con un menor o mayor nivel de adicionalidad.

³ Para una revisión de estas comparaciones véase Heijs *et al.* [2020].

⁴ Además, para el caso de México, la base de datos no tiene suficientes observaciones para asegurar una correcta aplicación del PSM para submuestras.

REFERENCIAS

- Cirera, Xavier; Frías, Jaime; Hill, Justin y Li, Yanchao [2020], *A Practitioner's Guide to Innovation Policy: Instruments to Build Firm Capabilities and Accelerate Technological Catch-Up in Developing Countries*, Washington, The World Bank. Retrieved from <<https://bit.ly/2Rw6Lhw>>.
- ERA-watch [2009], *Analysis of Policy Mixes to Foster RD Investment and to Contribute to the ERA*, ERA-watch Network. Retrieved from <<https://bit.ly/37fj8Dl>>.
- Freeman, Christopher [1987], *Technology Policy and Economic Performance. Lessons from Japan*, London/NY, Burns & Oates.
- Heijs, Joost; Buesa, Mikel; Vergara Reyes, Delia; Gutiérrez, Cristian; Arenas Díaz, Guillermo y Guerrero, Alex J. [2020], *Innovación, crecimiento y competitividad: El papel de la política tecnológica en España*, Madrid, Estudios de la Fundación, 94. La Fundación de las Cajas de Ahorros (Funcas).
- Mazzucato, Mariana [2016], "From Market Fixing to Market-Creating: a New Framework for Innovation Policy", *Industry and Innovation*, 23(2): 140-156.
- Porter, Michael [1990], *The Comparative Advantage of Nations*, New York, Free Press and Macmillan.

ANEXOS

CAPÍTULO 1

Anexo 1.1 Costes salariales en el sector manufacturero (datos para 2016 en euros)

1	Suiza	53.51	22	Grecia	14.60
2	Noruega	48.54	23	Malta	14.31
3	Dinamarca	43.99	24	Chipre	12.82
4	Bélgica	43.21	25	Portugal	11.27
5	Suecia	42.05	26	Eslovaquia	10.63
	<i>Alemania Occidental</i>	42.02	27	<i>Estonia</i>	10.56
6	Alemania	39.98	28	República Checa	10.15
7	Francia	38.05	29	Croacia	8.78
8	Finlandia	37.03	30	Hungría	8.25
9	Austria	36.65	31	Brasil	7.86
10	Países Bajos	35.65	32	Polonia	7.67
11	Estados Unidos	35.60	33	Lituania	7.16
12	Irlanda	31.67	34	Letonia	7.14
13	Luxemburgo	31.27	35	Turquía	6.57
14	Italia	27.54	36	China	6.32
15	Canadá	27.37	37	México	4.81
16	Reino Unido	26.89	38	Rumania	4.76
	<i>Alemania del Este</i>	26.88	39	<i>Rusia</i>	4.51
17	Japón	25.78	40	Bulgaria	3.73
18	España	22.78	41	Bielorrusia	3.25
19	Australia	22.73	42	Georgia	2.31
20	Corea	22.73	43	República de Moldavia	2.09
21	Eslovenia	15.87	44	Ucrania	1.88
			45	Filipinas	1.84

Fuente: Deutsche Bundesbank, Eurostat, ILO, Statistisches Bundesamt, U. S. Department of Labor, Nationale Statistiken. Retrieved from <<https://bit.ly/3yIFokQ>>.

CAPÍTULO 5

Anexo 5.1 Descripción de las variables

Variable	Definición
Estructurales	
Sector 1	= 1 Si la empresa pertenece al sector de productores de bienes de consumo tradicional
Sector 2	= 1 Si la empresa pertenece al sector de productores de bienes intermedios tradicionales
Sector 3	= 1 Si la empresa pertenece al sector de productores especializados en bienes intermedios y de equipo
Sector 4	= 1 Si la empresa pertenece al sector de ensambladores y sectores con ventaja de escala
Sector 5	= 1 Si la empresa pertenece al sector basado en la ciencia con innovaciones basadas en I+D básica
Serv. Alta	= 1 Si la empresa pertenece al sector de servicios de alta tecnología
Serv. Otros*	= 1 Si pertenece a sectores de otros servicios y de la construcción
Ln Emp (t - 1)	Logaritmo natural del número de empleados
Tam. > 200	= 1 Si el número de trabajadores es igual o mayor a 200
Ln Edad	Logaritmo natural del número de años de la empresa
Exp. (t - 1)	= 1 Si la empresa es exportadora
Grupo Nacional	= 1 Si la empresa pertenece a un grupo empresarial español
Grupo	= 1 Si la empresa pertenece a un grupo empresarial español o extranjero
Multinacional	= 1 Si la empresa tiene 50 % o más de participación de capital extranjero
Pública	= 1 Si la empresa posee capital público
Comportamiento innovador	
Patent. (t - 1)	Número de patentes solicitadas por la empresa
Remusup (t - 1)	Porcentaje de empleados con educación superior sobre el total de empleados
Inv. Apl. % (t - 1)	Porcentaje de GID destinado a investigación aplicada
Inv. Apl. % (t - 1)	Porcentaje de GID destinado a investigación fundamental
Inv. Apl. % (t - 1)	Porcentaje de GID destinado a desarrollo tecnológico
Inv. Apl. (t - 1)	= 1 Si la empresa tiene GID destinado a investigación aplicada.
Inv.Fun. (t - 1)	= 1 Si la empresa tiene destinado a investigación fundamental
Des. Tec. (t - 1)	= 1 Si la empresa tiene destinado a desarrollo tecnológico
Coopera	= 1 Si la empresa coopera con otras empresas desde t - 2 hasta t

Factores que dificultan la innovación	
Fac. Eco. 1 (t - 1)	= 1 Si la empresa considera de importancia media o elevada la falta de fondos propios
Fac. Eco. 2 (t - 1)	= 1 Si la empresa considera de importancia media o elevada la falta de fondos externos
Fac. Cono 1 (t - 1)	= 1 Si la empresa considera de importancia media o elevada la falta de personal cualificado
Fac. Cono 1 (t - 1)	= 1 Si la empresa considera de importancia media o elevada la falta de información sobre tecnología
Otro Fac. 1 (t - 1)	= 1 Si la empresa considera de importancia media o elevada que el mercado esté dominado por empresas establecidas
Otro Fac. 2 (t - 1)	= 1 Si la empresa considera de importancia media o elevada la demanda incierta de bienes y servicios innovadores
Fac. Eco. (t - 1)	= 1 Si la empresa considera de importancia alta los factores económicos
Fac. Cono. (t - 1)	= 1 Si la empresa considera de importancia alta los factores de conocimiento
Otro Fac. (t - 1)	= 1 Si la empresa considera de importancia alta los factores de mercado

Notas: 1. *variables de referencia en las estimaciones. 2. Las variables monetarias están expresadas en precios constantes de 2010. 3. (t - 1) representa el primer retardo de la variable.

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO 6

Anexo 6.1 Ventajas fiscales y apoyo directo a la I+D+e innovación empresarial como porcentaje del total de gasto empresarial en estas actividades en 2017

Country	Indirect government support through R&D tax incentives by BERD				Direct government support for Business R&D by BERD				Tax and direct support by BERD			
	2000	2006	2011	2017	2000	2006	2011	2017	2000	2006	2011	2017
Argentina	0	2.01	8.87	5.52	8	..	11	10.5	8.0		19.9	16.0
Brazil	0	0	0	0	4.94	0.91	1.42	1.86	4.9	0.9	1.4	1.9
Bulgaria	..	..	3.84	4.17	6.84	4.53	4.38	3.44			8.2	7.6
China	0	..	..	0	..	2.11	3.13	1.43				1.4
Croatia	0	0	0	0	10.34	22.69	14.03	1.86	10.3	22.7	14.0	1.9
Cyprus	..	..	12.53	7.38	..	0.77	1.22	2.18			13.8	9.6
Malta	0	0	0	2.17	33.98	47	18.14	7.16	34.0	47.0	18.1	9.3
Romania	..	..	12.86	15.25	45.45	52.02	58.67	56.59			71.5	71.8
Russia	0	..	..	1.81	9.58	19.09	4.77	3.2	9.6			5.0
Australia	8.63	7.1	10.34	15.15	3.77	3.86	1.87	2.39	12.4	11.0	12.2	17.5
Austria	6.51	4.2	5.52	7.42	5.22	6.05	7.75	3.68	11.7	10.3	13.3	11.1
Belgium	0	1.95	12.58	15.91	5.8	5.7	6.24	3.37	5.8	7.7	18.8	19.3
Canada	16.99	17.15	18.59	14.93	2.29	2.52	3.59	6.47	19.3	19.7	22.2	21.4
Chile	0	0	1.07	7.62	..	..	5.99	13			7.1	20.6
Colombia	..	29.43	21.12	13.43	..	0.01	..	..		29.4		
Czech Republic	0	4.15	5.4	4.43	14.74	15.13	14.68	7.03	14.7	19.3	20.1	11.5
Denmark	..	0.1233	0.14	1.04	3.05	2.43	2.76	2.03		2.6	2.9	3.1
Estonia	0	0	0	0	9.05	7.62	6.8	4.41	9.1	7.6	6.8	4.4
Finland	0	0	0	0	3.46	3.73	2.85	3.11	3.5	3.7	2.9	3.1
France	2.73	6.83	19.11	19.59	9.92	11.28	7.53	8	12.7	18.1	26.6	27.6

Germany	0	0	0	0	0	0	0	6.88	4.51	4.35	3.17	6.9	4.5	4.4	3.2
Greece	..	..	1	1.84	1.24	5.02	8.04	4.09						9.0	5.9
Hungary	..	29.25	23.5	5.9	6.08	8.41	14.53	13.57					37.7	38.0	19.5
Iceland	0	0	2.79	7.86	1.39	4.29	7.47	9.15	1.4	4.3	9.9	20.0	20.8		
Ireland	0	5.09	14.04	16.17	3.3	4.84	5.92	4.61	3.3	9.9	20.0	20.8			
Israel*					9.81	4.94	2.92	2.71	9.8	4.9	2.9	2.7			
Italy	0.21	0.2	0.53	18.4	10.99	8.08	6.9	3.5	11.2	8.3	7.4	21.9			
Japan	0.65	4.39	2.77	4.83	1.7	1.01	1.05	0.92	2.4	5.4	3.8	5.8			
Korea	..	6.1567	6.41	3.93	7	4.74	6.06	4.7		10.9	12.5	8.6			
Latvia	0	0	0	2	5.92	2.79	4.35	6.13	5.9	2.8	4.4	8.1			
Lithuania	0	0	4.97	5.99	0.79	4.13	1.88	1.21	0.8	4.1	6.9	7.2			
Luxembourg	0	0	0	0	1.57	5.02	4.02	6.54	1.6	5.0		6.5			
Mexico	5.44	24.05	0	3.43	9.31	7.96	7.81	18.37	14.8	32.0	7.8	21.8			
Netherlands	6.37	6.88	13.22	13.89	4.52	2.94	3.82	2.12	10.9	9.8	17.0	16.0			
New Zealand	0	0	0	1.17	8.99	10.01	12.24	11.91	9.0	10.0	12.2	13.1			
Non-OECD Economies	..	0.71	0.53	0.33	8.71	4.48	..	3.55		5.2		3.9			
Norway	5.21	6.66	5.54	11.43	8.23	8.02	9.74	9.4	13.4	14.7	15.3	20.8			
Poland	0	0	0	0.78	31.95	12.33	12.67	13.91	32.0	12.3	12.7	14.7			
Portugal	5.23	12.49	14.78	17.5	4.23	3.68	4.03	4.22	9.5	16.2	18.8	21.7			
Slovak Republic	0	0	0.01	2.05	20.57	20.84	10.36	2.46	20.6	20.8	10.4	4.5			
Slovenia	0	5.25	3.03	7.65	6.99	5.65	15.08	5.3	7.0	10.9	18.1	13.0			
Spain	5.22	4.84	3.25	5.36	7.23	14.44	14.38	8.74		19.3	17.6	14.1			
Sweden	0	0	0	0.51	5.8	4.55	4.98	4.7	5.8	4.6	5.0	5.2			
Switzerland	0	0	0	0	2.28	..	0.74	1	2.3		0.7	1.0			
Turkey	0	6.94	11.38	11.97	4.25	8.72	8.91	8.95	4.3	15.7	20.3	20.9			
United Kingdom	0.61	4.82	7.01	18.28	8.81	7.56	9.26	7.59	9.4	12.4	16.3	25.9			
United States	3.54	2.95	3.14	3.2	8.56	9.81	10.76	6.1	12.1	12.8	13.9	9.3			

Fuente: OCDE, XXXX.

Anexo 6.2 *Ventajas fiscales y apoyo directo a la I+D e innovación empresarial como porcentaje del PIB*

Country	Indirect government support through R&D tax incentives by GDP					Direct government support for Business R&D by GDP					Sum of tax and direct support by GDP				
	2000	2006	2011	2017	2000	2006	2011	2017	2000	2006	2011	2017	2000	2006	2011
Argentina	0.0000	0.0095	0.0457	0.0331	0.0395	0.0354	0.0567	0.0817	0.0395	0.0449	0.1024	0.1148	0.0876	0.1275	0.1492
Australia	0.0610	0.0826	0.1264	0.1430	0.0266	0.0449	0.0228	0.0226	0.0876	0.1275	0.1492	0.1656	0.1831	0.1702	0.2436
Austria	0.1110	0.0697	0.1013	0.1581	0.0721	0.1005	0.1423	0.0783	0.1831	0.1702	0.2436	0.2364	0.1831	0.1702	0.2436
Belgium	0.0000	0.0247	0.1879	0.2971	0.0812	0.0719	0.0931	0.063	0.0812	0.0966	0.2810	0.3601	0.0812	0.0966	0.2810
Brazil	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0052	0.001	0.004	0.0097	0.0052	0.0010	0.0040	0.0097	0.0052	0.0010	0.0040
Bulgaria	..	..	0.0517	0.0694	0.0367	0.0441	0.0591	0.0572	..	..	0.1108	0.1266	..	..	0.1108
Canada	0.1904	0.1888	0.1770	0.1303	0.0257	0.0277	0.0342	0.0565	0.2161	0.2165	0.2112	0.1868	0.2161	0.2165	0.2112
Chile	0.0000	0.0000	0.0013	0.0093	..	0.0022	0.0072	0.0158	0.0022	0.0022	0.0085	0.0251	0.0022	0.0022	0.0085
China	0.0000	..	0.0099	0.0000	0.0076	0.0057	0.0105	0.006	0.0076	..	0.0204	0.0060	0.0076	..	0.0204
Colombia	0.0045	0.0081	0.0104	0.0160	..	0	..	..	..	0.0081	..	..	..	0.0081	..
Croatia	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.005	0.0198	0.0098	0.0038	0.0050	0.0198	0.0098	0.0038	0.0050	0.0198	0.0098
Cyprus	..	..	0.0549	0.0280	0.0103	0.003	0.0053	0.0083	..	..	0.0602	0.0363	..	..	0.0602
Czech Republic	0.0000	0.0300	0.0457	0.0499	0.0984	0.1093	0.1243	0.0791	0.0984	0.1393	0.1700	0.1290	0.0984	0.1393	0.1700
Denmark	..	0.0025	0.0027	0.0206	0.0487	0.0428	0.0542	0.04	..	0.0453	0.0569	0.0606	..	0.0453	0.0569
Estonia	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0122	0.0377	0.0981	0.0267	0.0122	0.0377	0.0981	0.0267	0.0122	0.0377	0.0981
Finland	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0795	0.0887	0.0726	0.0555	0.0795	0.0887	0.0726	0.0555	0.0795	0.0887	0.0726
France	0.0358	0.0883	0.2678	0.2820	0.1297	0.146	0.1056	0.1152	0.1655	0.2343	0.3734	0.3972	0.1655	0.2343	0.3734
Germany	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1161	0.0777	0.0825	0.0672	0.1161	0.0777	0.0825	0.0672	0.1161	0.0777	0.0825
Greece	..	..	0.0023	0.0094	0.0023	0.0078	0.0189	0.0225	..	..	0.0212	0.0319	..	..	0.0212
Hungary	..	0.1382	0.1740	0.0574	0.0213	0.0397	0.1076	0.1322	..	0.1779	0.2816	0.1896	..	0.1779	0.2816
Iceland	0.0000	0.0000	0.0358	0.1064	0.0233	0.0661	0.0958	0.1239	0.0233	0.0661	0.1316	0.2303	0.0233	0.0661	0.1316
Ireland	0.0000	0.0404	0.1528	0.1508	0.0257	0.0384	0.0644	0.0429	0.0257	0.0788	0.2172	0.1937	0.0257	0.0788	0.2172
Israel*	..	..	..	..	0.3106	0.1674	0.0983	0.1145	0.3106	0.1674	0.0983	0.1145	0.3106	0.1674	0.0983

Italy	0.0011	0.0010	0.0035	0.1572	0.0552	0.0427	0.0453	0.0299	0.0563	0.0437	0.0488	0.1871
Japan	0.0134	0.1109	0.0691	0.1222	0.035	0.0256	0.0262	0.0233	0.0484	0.1365	0.0953	0.1455
Korea	..	0.1294	0.1763	0.1341	0.1102	0.0997	0.1665	0.1601		0.2291	0.3428	0.2942
Latvia	0.0000	0.0000	0.0000	0.0028	0.0104	0.0092	0.0084	0.0086	0.0104	0.0092	0.0084	0.0114
Lithuania	0.0000	0.0000	0.0118	0.0198	0.001	0.0091	0.0045	0.004	0.0010	0.0091	0.0163	0.0238
Luxembourg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.023	0.06	..	0.0463	0.0230	0.0600		0.0463
Malta	0.0000	0.0000	0.0000	0.0058	0.0864	0.1041	0.0326	0.0204	0.0864	0.1041	0.0326	0.0262
Mexico	0.0050	0.0434	0.0000	0.0025	0.0085	0.0144	0.0128	0.0136	0.0135	0.0578	0.0128	0.0161
Netherlands	0.0628	0.0645	0.1407	0.1601	0.0442	0.0256	0.0407	0.0244	0.1070	0.0901	0.1814	0.1845
New Zealand	0.0000	0.0000	0.0000	0.0088	0.0366	0.0484	0.0685	0.0898	0.0366	0.0484	0.0685	0.0986
Norway	0.0000	0.0518	0.0470	0.1263	0.0768	0.0623	0.0827	0.1038	0.0768	0.1141	0.1297	0.2301
Poland	0.0000	0.0000	0.0000	0.0052	0.074	0.0214	0.0285	0.0928	0.0740	0.0214	0.0285	0.0980
Portugal	0.0105	0.0553	0.1021	0.1164	0.0085	0.0163	0.0278	0.0281	0.0190	0.0716	0.1299	0.1445
Romania	..	..	0.0795	0.1015	0.3145	0.346	0.3628	0.3766			0.4423	0.4781
Russia	0.0000	..		0.0047	0.0369	0.0959	0.0165	0.0104	0.0369		0.0165	0.0151
Slovak Republic	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0864	0.0426	0.0253	0.0118	0.0864	0.0426	0.0253	0.0216
Slovenia	0.0000	0.0486	0.0540	0.1067	0.0535	0.0523	0.2688	0.074	0.0535	0.1009	0.3228	0.1807
Spain	..	0.0316	0.0226	0.0357	0.034	0.094	0.1	0.058		0.1259	0.1226	0.0939
Sweden	0.0000	0.0000	0.0000	0.0123	0.1751	0.1094	0.1099	0.1128	0.1751	0.1094	0.1099	0.1251
Switzerland	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0392	0.033	0.0169	0.0233	0.0392	0.0330	0.0169	0.0233
Turkey	0.0000	0.0000	0.0393	0.0654	0.0067	0.018	0.0308	0.0489	0.0067	0.0180	0.0701	0.1143
United Kingdom	0.0064	0.0468	0.0735	0.2090	0.0925	0.0733	0.0972	0.0868	0.0989	0.1201	0.1707	0.2958
United States	0.0690	0.0529	0.0595	0.0782	0.167	0.1759	0.2035	0.125	0.2360	0.2288	0.2630	0.2032

Fuente: OCDE, XXXX.

Anexo 6.3 *Agregación o taxonomía sectorial*

Como se ha indicado, en este estudio se utiliza una taxonomía de sectores que los clasifica de la siguiente forma:

- Productores de bienes de consumo tradicionales
- Proveedores de bienes intermedios tradicionales
- Proveedores especializados de bienes intermedios y de equipo
- Ensambladores de bienes masivos
- Sectores basados en I+D
- Sector servicios de baja tecnología
- Sector servicios de alta tecnología

Esta clasificación se deriva básicamente del estudio de Keith Pavitt [1984], quien ha diseñado una taxonomía de patrones sectoriales de cambio tecnológico que identifica la trayectoria tecnológica dominante en las empresas de cada sector a partir de tres elementos: las fuentes de la tecnología, las necesidades de los clientes o usuarios de los productos, y las formas de apropiación de los avances en el conocimiento [véase Pavitt, 1984a; 1984b]. La propuesta inicial de Pavitt [1984] se concretaba en solo cuatro tipos de sectores industriales. En este estudio, se divide –siguiendo el estudio de Archibugui *et al.* [1991]– en dos sectores y se añaden dos categorías adicionales respecto a los servicios, y la última revisión es de Francesco Bogliacino y Mario Pianta [2016].

El primer grupo de la taxonomía de Pavitt [1984] recoge las productoras de bienes tradicionales, que son aquellas empresas cuya innovación se basa en la oferta externa de sus proveedores, muy especialmente de los que les proporcionan bienes de equipo, materiales o componentes, así como servicios de asesoramiento tecnológico. Estas empresas se adscriben a sectores de tipo tradicional, a la agricultura, la construcción o los servicios de mercado, y apenas contribuyen a generar el conocimiento en el que se fundamenta la innovación. Su trayectoria tecnológica se orienta a reducir los costes de producción para poder competir en unos mercados en los que los principales clientes son muy sensibles a los precios. En el trabajo de Archibugui *et al.* [1991], se propone dividir este grupo en dos sectores, distinguiendo entre (S1) productores de bienes de consumo tradicionales versus (S2) proveedores de bienes intermedios tradicionales.

Otro conjunto de empresas con un comportamiento innovador propio sería el que actúa como suministrador especializado de otros sectores, esencialmente se refiere a los fabricantes de equipos e instrumentos. En este caso, los demandantes buscan productos adaptados a sus necesidades específicas que incorporen una tecnología eficaz para la producción a la que se aplica. Por ello, partiendo de un importante esfuerzo de diseño, así como de la comunicación y experimentación con los usuarios, la trayectoria tecnológica se orienta a la obtención de productos diferenciados, y se identifican como (S3) proveedores especializados de bienes intermedios y de equipo.

La cuarta categoría –los ensambladores de bienes masivos (S4)– se refiere a los sectores que explotan las economías de escala, tales como los que producen materiales por medio de procesos continuos o los que ofertan bienes de consumo duradero y vehículos. Su tecnología se nutre de fuentes externas –como los proveedores de bienes de equipo– e internas, principalmente de los departamentos de investigación e ingeniería. Hay, por lo tanto, una aportación propia de conocimientos, y ello hace que los métodos de apropiación sean complejos. Debido a que se enfrentan a una demanda elástica de los precios que toma también en consideración las variedades ofertadas, su trayectoria tecnológica se orienta a perfeccionar los procesos productivos para mejorar su rendimiento, reduciendo costes, y fiabilidad, así como a la diferenciación de los productos, actuando sobre su diseño.

La quinta alude a las empresas que producen bienes en los que se incorpora el conocimiento científico, sectores basados en I+D (S5), como las que operan en los sectores de maquinaria eléctrica y electrónica o la industria química. En este caso, son los descubrimientos científicos, adaptados y desarrollados en el mundo industrial, los que determinan una trayectoria tecnológica que, según los casos, puede orientarse a la reducción de costes para extender el mercado hacia un creciente número de usuarios sensibles al precio o hacia el diseño de productos de nuevas variedades que hacen emerger también nuevos mercados.

Respecto a los sectores de servicios, se distingue entre los servicios de baja tecnología (S6) y los servicios de alta tecnología (S7). Por último, se podrían añadir dos categorías más: el sector agrario (S0) y el sector de construcción (S8).

Fuente: elaboración propia a partir de Pavitt [1984] y Heijs y Buesa [2015].

Rama OCDE	Descripción OCDE	Código Pavitt	Agregación Pavitt
02	Minería	9	Sector energético-minero
05	Productos alimenticios y bebidas	1	Productores tradicionales industriales
06	Productos del tabaco	1	Productores tradicionales industriales
08	Textiles	1	Productores tradicionales industriales
09	Prendas de vestir y piel	1	Productores tradicionales industriales
10	Productos de cuero e industria del calzado	1	Productores tradicionales industriales
12	Madera y corcho	1	Productores tradicionales industriales
13	Pulpa, papel y productos del papel	1	Productores tradicionales industriales
14	Publicaciones, imprentas y reproducción de medios de grabación	1	Productores tradicionales industriales
16	Carbón, productos del petróleo y energía nuclear	9	Sector energético-minero
18	Químicos (excepto farmacéuticos)	5	Industrias intensivas en conocimiento
19	Químicos (farmacéuticos)	5	Industrias intensivas en conocimiento
20	Caucho y productos de plástico	5	Industrias intensivas en conocimiento
21	Productos minerales no metálicos	3	Proveedores especializados industriales
23	Metales básicos ferrosos	2	Proveedores tradicionales industriales
24	Metales básicos no ferrosos	2	Proveedores tradicionales industriales
25	Productos fabricados del metal	2	Proveedores tradicionales industriales
27	Maquinaria no especificada en otra parte	3	Proveedores especializados industriales
28	Maquinaria de oficina, contabilidad y computación	3	Proveedores especializados industriales
29	Maquinaria eléctrica	3	Proveedores especializados industriales
31	Componentes electrónicos incluyendo semiconductores	4	Ensambladores y sectores intensivos en escala
32	TV, radio y equipo de comunicaciones	4	Industrias intensivas en escala
33	Instrumentos, relojes y cronómetros	3	Proveedores especializados industriales
34	Vehículos de motor	4	Ensambladores y sectores intensivos en escala

Rama OCDE	Descripción OCDE	Código Pavitt	Agregación Pavitt
37	Aviones	5	Industrias intensivas en conocimiento
38	Otros transportes no especificados en otra parte	4	Ensambladores y sectores intensivos en escala
40	Muebles	1	Productores tradicionales industriales
41	Otras manufacturas no especificadas en otra parte	2	Proveedores tradicionales industriales
43	Electricidad	9	Sector energético-minero
44	Construcción	10	Sector construcción
47	Hoteles y restaurantes	6	Servicios de baja tecnología
48	Transporte y almacenamiento	8	Servicios intensivos en conocimiento
50	Correo	7	Servicios de alta tecnología
51	Telecomunicaciones	7	Servicios de alta tecnología
52	Intermediación financiera	8	Servicios intensivos en conocimiento
53	Bienes raíces, renta y actividades empresariales	8	Servicios intensivos en conocimiento
55	Consultaría de software	7	Servicios de alta tecnología
57	Investigación y desarrollo	7	Servicios de alta tecnología
59	Servicios comunales, sociales y personales	6	Servicios de baja tecnología
S/C	Sin clasificación OECD		

Fuente: elaboración propia a partir de la información del documento de diseño muestral de la ESIDET [2014].

Anexo 6.4 *Los programas de ayuda cuya participación por parte de las empresas están recogidas en la encuesta*

Programa	Dependencia	Descripción
AVANCE	Conacyt	Alto Valor Agregado en Negocios con Conocimiento y Empresarios
FONCyT	Conacyt	Programas de Estímulo para la Innovación
INNOVAPYME	Conacyt	Innovación Tecnológica de Alto Valor Agregado para proyectos de IDT en empresas pyme
PROINNOVA	Conacyt	Desarrollo e Innovación en Tecnologías Precursoras
INNOVATEC	Conacyt	Programa de Innovación Tecnológica para la Competitividad
FONCICyT	Conacyt	Fondo de Cooperación Internacional
Estancias Posdoctorales	Conacyt	Estancias Posdoctorales y Sabáticas al Extranjero para la Consolidación de Grupos de Investigación
Estímulos Fiscales	Conacyt	Incentivos Fiscales a la Investigación y Desarrollo Tecnológico
Repatriación y Retención	Conacyt	Programa de Apoyo Complementario para la Consolidación Institucional
FONSEC	Conacyt	Fondos sectoriales
FOMIX	Conacyt	Fondos mixtos
IDEA	Conacyt	Incorporación de Científicos y Tecnólogos Mexicanos en el Sector Social y Productivo del País
Estancias Sabáticas al Interior de las Empresas	Conacyt	Incorporación de Científicos y Tecnólogos Mexicanos en el Sector Social y Productivo del País
AERIS	Conacyt	Alianzas Estratégicas y Redes de Innovación para la Competitividad
CETRO-CRECE	SE	Centro para el Desarrollo de la Competitividad Empresarial y Centros Regionales para la Competitividad Empresarial
CIMO	STPS	Calidad Integral y Modernización
COMPITE	SE	Comisión Nacional de Productividad e Innovación Tecnológica

Programa	Dependencia	Descripción
FONDO PYME	SE	Fondo de Apoyo para la Micro, Pequeña y Mediana Empresa
PROSOFT 2.0	SE	Desarrollo de la industria de tecnologías de información
PROMEDIA	SE	Programa del Desarrollo de la Industria de Medios Interactivos
FIDECAP	SE	Fondo de Fomento a la Integración de Cadenas Productivas
Compex	Bancomext	Comisión Mixta para la Promoción de Exportaciones
CONOCER	STPS-SEP	Consejo de Normalización y Certificación
Otros		Otros programas detallados por los informantes

Fuente: elaboración propia a partir de los microdatos de la ESIDET-INEGI.

Anexo 6.5. *Método de Variables Instrumentales para medir el impacto*

Anexo 6.5.1. Introducción

En esta parte del capítulo se ofrece una forma alternativa para solucionar el problema de endogeneidad en los modelos de regresión aplicados en estudios de evaluación. En el caso de que exista dicho problema, la inferencia estadística que podrían ofrecer los métodos tradicionales (mínimos cuadrados ordinarios) podría llegar a ser no confiable y, como consecuencia, no se puede establecer un efecto causal, ya que el efecto estimado estaría sesgado. El Método de Variables Instrumentales (VI) es otra solución –además del método de emparejamiento– que permite estimar relaciones causales cuando no se puede aplicar un experimento aleatorio o controlado y se sospecha de la existencia de endogeneidad.

El concepto de *variables instrumentales* fue utilizado por primera vez Philip G. Wright [1928] en el contexto de “ecuaciones simultáneas”. Sin embargo, fue James Heckman quien desarrolló la idea y la generalizó para su aplicación en los modelos de econometría aplicada moderna, por los que recibió en 2000 el premio Nobel de Economía [Heckman, 1979; Heckman *et al.*, 1976]. Este problema, muy común en los modelos econométricos, modifica el modelo de regresión tradicional de tal forma que se obtienen estimaciones correctas e insesgadas de los parámetros potencialmente afectados.

Debido a la importancia del concepto de endogeneidad en términos generales, se retoman sus aspectos básicos con el objetivo de explicar su importancia y validez en el caso de los estudios de evaluación.

Anexo 6.5.2. Endogeneidad y Método de Variables Instrumentales: conceptos básicos

El problema de endogeneidad es el principal obstáculo metodológico para estimar el efecto de las ayudas a la innovación empresarial, en general, porque su existencia causaría resultados sesgados en los modelos econométricos tradicionales. En el caso de medir el impacto de las ayudas respecto a la innovación, este problema se hace todavía más patente, ya que una de las tres causas de endogeneidad es justamente el sesgo de selección, y tal sesgo es –como se ha debatido en este libro– un problema importante al

momento de comparar muestras de empresas que hayan obtenido ayudas estatales con empresas innovadoras que no las han recibido.

Intuitivamente, se puede decir que la presencia de endogeneidad en un modelo implica que existe “algo” que no solo influye sobre la variable dependiente (Y – gasto en I+D), sino que también afecta a la variable independiente (X – obtener ayudas sí o no); es decir, las características que determinan la participación en las ayudas también determinan el nivel de gasto empresarial. Ese “algo” puede estar relacionado con determinantes importantes no incluidos en el modelo (variables omitidas o no observables); o con la presencia de esos determinantes, pero cuya medición se haya producido de forma errónea (error de medición); puede ser causado por relaciones simultáneas entre variables independientes y la dependiente ($X \leftrightarrow Y$) o por un efecto que tenga una tercera variable sobre estas variables ($V \rightarrow X$ y $V \rightarrow Y$). Sin embargo, este “algo” puede relacionarse también con el problema de la muestra (sesgo de selección). Por ejemplo, la distinción entre empresas innovadoras y no innovadoras, con el fin de medir los efectos en el empleo del cambio tecnológico, no se basa en un experimento aleatorio, sino que es el resultado de la decisión de innovar realizada por cada empresa. Algo parecido pasa en el caso de las ayudas a la innovación empresarial. Como se ha argumentado con detalle en los capítulos 3 y 4, la participación en tales ayudas no es aleatoria, sino que depende de los requisitos de los programas, del interés por parte de las empresas en presentar solicitudes y la calidad de las mismas, y también del proceso de selección por parte de las AA.PP. Especialmente, los criterios de asignación de las ayudas son muy generales y dejan espacio para su interpretación. Por lo tanto, la presencia de alguno o varios de estos problemas en la muestra de datos analizada implicaría que las técnicas tradicionales (como MCO) darían como resultado estimaciones sesgadas y efectos no causales.

Una solución al problema de la endogeneidad puede ser la inclusión de variables instrumentales (VI). Tales variables corregirían el modelo en relación con el posible sesgo generado por la variable explicativa endógena. La VI debe cumplir dos supuestos. En primer lugar, debe explicar a la variable exógena o independiente (X) que se cree que tiene el problema de endogeneidad –supuesto de inclusión– y, en segundo lugar, no debe tener una relación causal con la variable dependiente (Y) del fenómeno que se interesa explicar –supuesto de exclusión–. En otras palabras, la variable instrumental debe estar relacionada con X (probabilidad de participar en las ayudas) y no estar relacionada con Y (gasto en I+D de la empresa); de esta manera, esta variable consigue “aleatorizar” la muestra para la X y, por lo tanto, resolver

el problema de endogeneidad entre X e Y. Esto significa que toda la influencia de la VI en el gasto en I+D (Y) es el resultado de un efecto indirecto causado por medio de su impacto en la innovación (X). Si este es el caso, el modelo estima de forma insesgada el efecto causal real de la variable explicativa (ayudas a la innovación) sobre la variable dependiente (gasto en I+D).¹ Es decir, en el caso de la evaluación de las ayudas públicas, resulta evidente que las empresas con mayor gasto en I+D reciben con más frecuencia ayudas y de mayor cantidad, y, simultáneamente, las empresas con ayudas gastan más en I+D. Tal interdependencia implica un problema de endogeneidad.

Desde un punto de vista econométrico, Wooldridge [2010] explica la problemática y el método de solucionarlo partiendo del siguiente modelo:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + u$$

La ecuación presentará un problema de endogeneidad si la $cov(x_i, u) \neq 0$, por lo que resulta necesario aplicar el Método de Variables Instrumentales. Para esto, es necesario encontrar una variable que permita corregir el problema con el fin de obtener un estimador consistente de β_1 mediante la incorporación de información adicional, la cual ofrece una nueva variable que satisface ciertas propiedades [Wooldridge, 2010]. Se asume que se tiene una variable z que satisface los siguientes supuestos econométricos:

1. La variable z no está correlacionada con el término de error u (supuesto de exclusión o exogeneidad del instrumento) $cov(z_i, u) = 0$.
2. La variable z debe estar correlacionada con la variable x (supuesto de inclusión o relevancia del instrumento) $cov(x_i, z_i) \neq 0$.

Cabe mencionar que, de los dos supuestos, el primero es de suma importancia, ya que muestra si el instrumento está identificado o no. La identificación se refiere a verificar si los datos contienen suficiente información para la estimación de un parámetro dado o para un conjunto de parámetros en un modelo particular. El parámetro causal no se identifica sin asumir la restricción de exclusión (aunque no es la única). Sin embargo, si se quiere mostrar dicha prueba, es necesario que existan, al menos, dos instrumentos para una sola variable exógena.

$$x_i = \pi_0 + \pi_1 z_{1i} + \pi_2 z_{2i} + \epsilon$$

¹ Para una explicación formal, véase Wooldridge [2002, 2010].

Dicho lo anterior, la ecuación que estima el efecto de los instrumentos sobre la variable que se sospecha endógena es la anterior. En este caso, x_i refleja las ayudas, y z_{ji} serían variables que explican las ayudas, pero no que influyen directamente sobre el gasto en I+D. De esta ecuación, se obtiene la predicción de la variable exógena ($\hat{x}_i$) con base en los instrumentos, la cual se incorpora a la ecuación de interés.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 (\hat{x}_i) + u$$

Donde $cov(\hat{x}_i u) = 0$, es decir, se corrige el problema de endogeneidad y el estimador de β_1 sería insesgado.

Respecto a la selección de las variables instrumentales específicas, la literatura ofrece básicamente dos o tres opciones o metodologías. Si los investigadores disponen de una muestra basada en datos de panel, se pueden usar dos tipos de metodologías instrumentales. El primero sería aplicar un método basado en un mecanismo puramente econométrico: utilizar los retardos de las variables independientes como variables instrumentales [véase, por ejemplo, Yang *et al.*, 2012; Loskin y Mohnen, 2012; Crespi *et al.*, 2016]. Un segundo método, aplicable tanto a las muestras de datos de panel como a las muestras de sección cruzada, opta por la búsqueda de ciertas variables reales observadas e incluidas en el conjunto de datos [Agrawall *et al.*, 2014; Hottenrott *et al.*, 2017, Chapman *et al.*, 2018; entre otros]. El principal problema de esta opción es encontrar una variable instrumental precisa que esté disponible y que pase las pruebas econométricas de inclusión y exclusión. Además, del cumplimiento técnico, las VI deben justificarse desde un punto de vista teórico. Por ello, los argumentos teóricos o conceptuales deben ser discutidos para cada una de las VI. En nuestro caso, sería extremadamente difícil encontrar argumentos teóricos para asegurar que una determinada variable se pueda usar como VI, porque solo afecta la “probabilidad de obtener ayudas” y no tiene un efecto directo en los gastos de I+D. La mayoría de las variables instrumentales potenciales están correlacionadas con ambas variables y, a menudo, se pueden encontrar algunos argumentos de que ambas correlaciones tienen un carácter causal. El carácter sistémico inherente de la economía y las empresas implica que se encontrará un cierto nivel de correlación entre un gran número de variables que expresan aspectos muy diferentes de una empresa. Además, no existe un marco teórico adecuado que explique y describa el carácter sistémico de los sistemas económicos e innovadores con su alto número de relaciones interdependientes causales.

La mayoría de los estudios que utilizan las VI para evaluar el impacto muestra que la prueba para confirmar la idoneidad de los VI es correcta y solo añade algunos comentarios conceptuales o teóricos.

La tercera opción es crear, a partir de la variable del “tratamiento”, una variable compleja que esté, por lo tanto, claramente relacionada con el tratamiento (X) pero no con la variable dependiente. En el caso de la evaluación del impacto de las ayudas sobre la I+D, la variable instrumental es la media de las ayudas disponibles para la empresa, calculando una “media” por grupo de empresas que pertenece simultáneamente al mismo sector, a una misma región y un mismo intervalo de tamaño. Se supone que tal disponibilidad potencial de ayudas afecta a la posibilidad de obtenerlas, pero afectaría de forma directa al gasto en I+D [véanse los estudios de Clausen, 2009; Czarnitzki y Lopes-Bento, 2013; Neicu, 2019].

AUTORES

DELIA MARGARITA VERGARA REYES, doctora en Economía por la Universidad Complutense de Madrid (UCM). Es investigadora titular en el Instituto de Investigaciones Económicas-UNAM, en la Unidad de Economía del Trabajo y la Tecnología. Es autora del libro *Política tecnológica en México. La industria de los plásticos* y de diversos capítulos en libros colectivos, ponencias que ha presentado en foros nacionales e internacionales. Asimismo ha sido coordinadora de tres libros sobre temas de innovación, política tecnológica y evaluación, y es responsable de los Proyectos IN302317 e IN302620 PAPIIT-UNAM. Líneas de investigación: economía de la innovación y desarrollo, política tecnológica, evaluación (PT). Correo electrónico: verdel@unam.mx

JOOST HEIJS, doctor en Economía por la Universidad Complutense de Madrid (UCM). Profesor-investigador en la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Ha sido director del Instituto de Análisis Industrial y Financiero de la UCM (2002-2020). Ha participado en alrededor de 30 proyectos de América Latina (México y Colombia) y Alemania, entre otros. Ha trabajado para la Comisión Europea. Cuenta con más de 125 publicaciones (libros, capítulos de libro y artículos en revistas) en *Research Policy*, *Structural Change and Economic Dynamics* y *Technovation*, entre otras. Ha sido miembro, por España, de la junta directiva de la Asociación ALTEC. Líneas de investigación: análisis, diseño y evaluación de las políticas de I+D+i, innovación, empleo y competitividad, análisis y medición de sistemas nacionales y regionales de innovación. Correo electrónico: joost@ccee.ucm.es

ALEX JAVIER GUERRERO, estudiante del programa de doctorado en Economía de la Universidad Complutense de Madrid (UCM). Actualmente, tiene un contrato de investigador predoctoral en formación de la UCM. También ha sido funcionario del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) de Ecuador. Su campo de investigación es la economía de la innovación, centrándose en la evaluación de impacto de la política tecnológica, así como en el análisis de la relación entre innovación y empleo. Es coautor del libro *Innovación, crecimiento y competitividad: el papel de la política en España*. Correo electrónico: alexjavierguerrero@ucm.es

GUILLERMO ARENAS DÍAZ, doctor en Ciencias Económicas por la Universidad Complutense de Madrid (UCM). Ha presentado ponencias en diversos congresos y publicado artículos en las revistas *Structural Change and Economic Dynamics* y *Problemas del Desarrollo*. Ha sido colaborador de investigación en el Instituto de Análisis Industrial y Financiero de la Universidad Complutense, en el Instituto de Investigaciones Económicas, y profesor en la Facultad de Economía de la UNAM. Es coautor del libro *Innovación, crecimiento y competitividad: el papel de la política en España*. Líneas de investigación: mercado laboral, innovación, econometría, educación y formación. Correo electrónico: guillare@outlook.es

CONTENIDO

Prólogo	7
Prefacio	11

CAPÍTULO 1. ENFOQUES TEÓRICOS DE LA INNOVACIÓN Y LA POLÍTICA TECNOLÓGICA

1.1. Introducción	21
1.2. Economía de Innovación: principales enfoques teóricos	22
1.2.1. El cambio tecnológico en el pensamiento de Smith, Marx y Schumpeter	22
1.2.2. La economía del cambio tecnológico desde un enfoque neoclásico	25
1.2.3. La teoría evolucionista y el enfoque de sistemas de innovación	30
1.3. Innovación <i>versus</i> competitividad: la función de las empresas y la política tecnológica	40
1.3.1. Competitividad <i>versus</i> productividad	40
1.3.2. La relevancia de la innovación <i>versus</i> la inversión en capital	46
1.3.3. Reducción de los costos salariales como forma de competir	47
1.3.4. La internacionalización del mercado como forma de crear competitividad	51
1.4. Reflexiones finales	54
Referencias	59

CAPÍTULO 2. EVOLUCIÓN DE LA POLÍTICA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

2.1. Introducción	71
2.2. El concepto de la política de ciencia, tecnología e innovación y su justificación	72
2.2.1. El concepto de las PCTI	72
2.2.2. Fundamentos e instrumentos de la PCTI: un enfoque neoclásico	75
2.2.3. La PCTI dentro del marco conceptual evolucionista y sistémico	78
2.3. Los orígenes de la PCTI y su evolución global	82
2.3.1. Un enfoque científico basado en grandes proyectos (1950-1970)	82
2.3.2. Ampliación de la PCTI hacia la innovación, las pymes y la cooperación y el inicio del desarrollo de políticas regionales (1970-1995)	84
2.3.3. Consolidación del <i>policy mix</i> multinivel con un enfoque sistémico basado en estudios estadísticos y cualitativos (1995-2020)	86
2.4. La PCTI en México: características generales	91
2.4.1. Las décadas de 1950 a 1980, el enfoque del lado de la oferta	92
2.4.2. La transición: de la década de 1980 a los años 2000, hacia un modelo de demanda	99
2.4.3. Evolución de la PCTI: de mediados de 1999 hasta la actualidad	102
2.5. Reflexiones finales	108
<i>Referencias</i>	112

CAPÍTULO 3. INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS BÁSICOS RESPECTO A LA EVALUACIÓN DE LAS POLÍTICAS DE INNOVACIÓN Y DE LOS MÉTODOS DE EMPAREJAMIENTO

3.1. Introducción	123
3.2. Impacto del apoyo público a la innovación empresarial sobre el bienestar social	125

3.3. El estado contrafactual, la causalidad <i>versus</i> correlación y sesgo de selección	132
3.4. Evaluación de las políticas: el método de emparejamiento	139
3.4.1. El método de emparejamiento y el problema de selección	139
3.4.2. Aleatorización de la asignación y ausencia de variables no observadas	142
3.4.3. Capacidad de generalizar los resultados: (1) área común de solapamiento	144
3.4.4. Capacidad de generalizar los resultados: (2) independencia de efecto a nivel individual	150
3.4.5. Capacidad de generalizar los resultados: (3) igualdad del efecto en ambos grupos	152
3.5. Reflexiones finales	154
<i>Referencias</i>	156

CAPÍTULO 4. MÉTODO DE EMPAREJAMIENTO PARA EVALUAR POLÍTICAS: UNA VISIÓN CONCEPTUAL DE SU APLICACIÓN

4.1. Introducción	161
4.2. Revisión de la literatura teórica y empírica: selección de variables	166
4.2.1. Revisión de la literatura teórica y empírica para detectar las variables potencialmente relevantes	166
4.2.2. Realización de un análisis exploratorio para afinar la selección de las variables relevantes con base en los datos disponibles	168
4.3. Dimensionalidad: transformación de variables, efectos de interacción y el uso de retardos	170
4.4. El proceso de emparejamiento y del cumplimiento de los supuestos: un proceso continuo de prueba y error	173
4.4.1. Ajustes del modelo de aleatorización: selección del método de emparejamiento	173
4.4.2. Las pruebas para comprobar la correcta aleatorización (ausencia de sesgo de selección)	182
4.5. Supuesto de la independencia de efectos a nivel individual (SUTVA)	185

4.6. Ventajas y limitaciones del Método PSM y otros modelos econométricos <i>versus</i> las encuestas <i>ad hoc</i>	188
4.6.1. Evaluación de las políticas con base en datos secundarios (encuestas de innovación) <i>versus</i> el diseño de encuestas <i>ad hoc</i>	188
4.6.2. Idoneidad del PSM respecto a otros métodos econométricos	191
<i>Referencias</i>	195

CAPÍTULO 5. GUÍA PRÁCTICA DE LOS MÉTODOS DE EMPAREJAMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LAS POLÍTICAS

5.1. Introducción	199
5.2. Selección de variables	200
5.2.1. Revisión de la literatura teórica y empírica para detectar las variables potencialmente relevantes	200
5.2.2. Realización de un análisis exploratorio para afinar la selección de las variables relevantes con base en los datos disponibles (paso 1b)	208
5.3. Dimensionalidad: transformación de variables, efectos de interacción y el uso de retardos	216
5.4. Ajustes del modelo de aleatorización: un proceso continuo de prueba y error	219
5.4.1. Ajustes del modelo de aleatorización: selección del método de emparejamiento	222
5.4.2. Pruebas para comprobar la correcta aleatorización (ausencia de sesgo de selección)	228
5.4.3. Validación de la fiabilidad del modelo en su conjunto	234
5.5. Supuesto de la independencia de efectos a nivel individual (SUTVA)	237
5.5.1. Comparación del impacto de distintos programas en apoyo a la I+D e innovación empresarial	237
5.5.2. Evaluación simultánea de múltiples programas y/o distintas intensidades de ayuda	238
<i>Referencias</i>	249

CAPÍTULO 6. LA FUNCIÓN Y EL IMPACTO DE LAS AYUDAS A LA INNOVACIÓN EMPRESARIAL EN EL CASO DE MÉXICO

6.1. Introducción	253
6.2. El apoyo a la innovación empresarial en México y su impacto	255
6.2.1. El esfuerzo cuantitativo de la política tecnológica empresarial en México: comparación internacional y su evolución en el tiempo.	255
6.2.2. Evaluación del efecto de las ayudas públicas a la innovación empresarial.	259
6.3. Fuentes de información, la variable de tratamiento y el indicador de interés	262
6.4. El perfil de las empresas beneficiadas como forma de identificar las variables de control requeridas para el emparejamiento	269
6.5. Medición de la adicionalidad financiera con base en el PSM	277
6.5.1. El impacto de las ayudas: el Método PSM	277
6.5.2. Calidad del emparejamiento y el modelo	278
6.6. Análisis de robustez mediante el Método de Variables Instrumentales (VI)	281
6.7. Conclusiones y reflexiones finales	284
<i>Referencias</i>	289

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y REFLEXIONES FINALES

7.1. Consideraciones generales	295
7.2. Principales hallazgos respecto al efecto de las ayudas a la innovación empresarial en México	296
7.3. Reflexiones finales sobre el desarrollo de las PCTI y su orientación futura	300
7.4. Futuras líneas de investigación	302
<i>Referencias</i>	305
 Autores	 327
Índice de tablas	334
Índice de anexos	338

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Capítulo 1

Tabla 1.1. Indicadores de la competitividad, innovación y empleo	43
Figura 1.1a La productividad por hora trabajada (productividad aparente) a precios constantes en términos de paridad de poder de compra para el periodo 1970 - 2017	45
Figura 1.1b La productividad aparente para países latinoamericanos <i>versus</i> algunos países avanzados	45
Figura 1.2. Salario mínimo mensual en países seleccionados de América Latina para 2020 (en dólares estadounidenses)	50

Capítulo 2

Tabla 2.1. Gasto en I+D en México por fuente de financiamiento	108
---	-----

Capítulo 3

Figura 3.1. Un marco conceptual para la evaluación de la financiación pública de los proyectos de I+D en empresas	127
Recuadro metodológico 3.1. Estimador diferencias en diferencias	134

Recuadro metodológico 3.2. Correlación y causalidad <i>versus</i> causalidad atribuible	136
Figura 3.2. Ejemplo simplificado del problema del área común de solapamiento	146
Tabla 3.1. Ejemplo numérico que refleja la complejidad que genera la multidimensionalidad para cumplir con el supuesto del área de solapamiento	148
Figura 3.3. Tendencia básica del gasto en I+D en el tiempo sin y con ayudas	153

Capítulo 4

Recuadro metodológico 4.1. Estructura común de los distintos capítulos	165
Tabla 4.1. Regla de decisión respecto a la selección de variables	169
Recuadro metodológico 4.2. Emparejamiento desde un punto de vista técnico	173

Capítulo 5

Recuadro metodológico 5.1. Tipos de efecto según el ATET	202
Tabla 5.1. Valores atípicos de GID	202
Tabla 5.2a. Revisión de la literatura: variable de interés sobre que se mide el impacto de las ayudas	205
Tabla 5.2b. Revisión de la literatura: características estructurales como variables determinantes de la participación en ayudas públicas	207
Tabla 5.2c. Revisión de la literatura: características de actividad innovadora como variables determinantes de la participación en ayudas públicas	208
Tabla 5.2d. Revisión de la literatura: problemas financieros que dificultan la innovación y otras variables determinantes de la participación en ayudas públicas	209

Tabla 5.3. Criterios para la inclusión de variables	211
Tabla 5.4. Selección de variables: modelo inicial con ejemplos de errores	213
Tabla 5.5. Correlaciones por pares: modelo inicial con ejemplos de errores	215
Tabla 5.6. Tratamiento de datos atípicos del gasto en I+D sobre ventas	217
Recuadro metodológico 5.2. Ajustes en las variables de la dimensionalidad	218
Tabla 5.7. Selección de variables: modelo final	220
Tabla 5.8. Correlaciones por pares: modelo final sin errores	221
Tabla 5.9. Análisis del balance del emparejamiento	223
Figura 5.1. Restringiendo empresas fuera del soporte común	226
Tabla 5.10. Efecto medio sobre los tratados (ATET)	226
Recuadro metodológico 5.3. Posibles ajustes y control de viabilidad del modelo inicial	227
Recuadro metodológico 5.4. Análisis de la viabilidad del emparejamiento	228
Figura 5.2. Gráficos de densidad de la distribución del <i>propensity score</i> .	229
Tabla 5.11. Test de igualdad de medias	231
Tabla 5.12. Medias estandarizadas y ratio de varianzas	233
Tabla 5.13. Balance global de la estimación	236
Tabla 5.14. ATET por tipos de ayudas	239
Tabla 5.15. Casos emparejados	240
Tabla 5.16. Balance después del emparejamiento	242
Figura 5.3. Emparejamiento de empresas que obtienen de forma simultánea ayudas europeas, nacionales y regionales	243
Figura 5.4. Gráficos de distribución	245

Capítulo 6

Tabla 6.1. Evolución del gasto en I+D y el presupuesto público en I+D	255
Figura 6.1. Ventajas fiscales y apoyo directo a la I+D e innovación empresarial como porcentaje del total de gasto empresarial en estas actividades en 2017 (FB-IDE/BERD en porcentaje)	258
Figura 6.2. Ventajas fiscales y apoyo directo a la I+D e innovación empresarial como porcentaje del PIB en estas actividades en 2017 (FB-IDE/PIB en porcentaje)	259
Tabla 6.2. Descripción de las variables	265
Tabla 6.3. Estadísticas descriptivas antes de emparejamiento	268
Tabla 6.4. Perfil de las empresas beneficiarias de las ayudas a la innovación empresarial	270
Tabla 6.5. Síntesis de los resultados de 55 estudios revisados	271
Tabla 6.6. Efecto medio sobre los tratados (ATET)	278
Tabla 6.7. Test de Igualdad de medias	279
Tabla 6.8. Balance global	280
Tabla 6.9. Estimación basada en características no observables	283

ANEXOS

Capítulo 1

Anexo 1.1. Costes salariales en el sector manufacturero (datos para 2016 en euros)	309
---	-----

Capítulo 5

Anexo 5.1. Descripción de las variables	310
---	-----

Capítulo 6

Anexo 6.1. Ventajas fiscales y apoyo directo a la I+D e innovación empresarial como porcentaje del total de gasto empresarial en estas actividades en 2017	312
Anexo 6.2. Ventajas fiscales y apoyo directo a la I+D e innovación empresarial como porcentaje del PIB	314
Anexo 6.3. Agregación o taxonomía sectorial	316
Anexo 6.4. Los programas de ayuda cuya participación por parte de las empresas están recogidas en la encuesta	320
Anexo 6.5. Método de Variables Instrumentales para medir el impacto	322
Anexo 6.5.1. Introducción	322
Anexo 6.5.2. Endogeneidad y método de variables instrumentales: conceptos básicos	322