



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Colombia

Financiación pública de la innovación en Colombia: efectos y retos en la industria manufacturera*

Juan Manuel García Ospina* – Nataly Prado Castillo[^]

Resumen

La innovación es un pilar fundamental para el aumento de la competitividad, el desarrollo y la calidad de vida. Los avances en la ciencia, la tecnología y la innovación no surgen por casualidad y, generalmente, requieren de recursos financieros para su desarrollo. Sin embargo, existen problemas de información, de riesgo y de incertidumbre que dificultan la asignación óptima de recursos financieros para la innovación, que hace necesaria la intervención del Estado. La literatura económica clásica ha explicado el rol del Estado en este fenómeno con funciones limitadas a mitigar las “fallas de mercado”; no obstante, se ha desarrollado una teoría alternativa para explicar cómo, dada la imperfección de los mercados, el Estado cataliza la financiación de la innovación de forma sistémica a través de su intervención. Bajo esta visión alternativa, esta investigación estima el efecto de los programas de financiación pública de la innovación sobre los resultados de innovación empresarial y sobre las demás fuentes de recursos para innovar en las firmas manufactureras colombianas. Para ello, se lleva a cabo una estimación panel de efectos fijos usando datos de las encuestas de desempeño industrial y de desarrollo e innovación tecnológica para el periodo 2007-2016. Los resultados evidencian que la financiación pública impulsa la innovación no tecnológica, pero se muestra inefectiva sobre la innovación tecnológica. De igual forma, aumenta la inversión empresarial interna en actividades científicas y tecnológicas, aunque tiene un efecto de desplazamiento sobre los recursos financieros externos a la empresa. Las implicaciones de política pública derivadas de los resultados sugieren reforzar los programas en materia de innovación no tecnológica, repensar la intervención pública en relación con la innovación tecnológica, propiciar la creación de vínculos entre el subsector financiero y los demás actores del sistema de innovación colombiano.

Palabras Clave: Financiación, innovación, recursos públicos.

Clasificación JEL: H43, O32, O38

* Proyecto de grado presentado para optar al título de Magister en Economía de la Pontificia Universidad Javeriana. Especial agradecimiento a nuestras familias por el apoyo incondicional durante nuestro proceso de formación, al Dr. Jaime Sierra por su paciencia y exigencia como supervisor del proyecto de grado, al Departamento de I+D de Levapán SA por sus valiosas recomendaciones y observaciones, al DANE por facilitar el acceso a las bases de datos usadas, y todos nuestros amigos, colegas y profesores por todo el ánimo, entusiasmo, ideas y conversaciones retadoras que aportaron a la realización de este proyecto de grado.

^{*} Economista, investigador y consultor. juanmgarciao22@gmail.com

[^] Economista. nprado@javeriana.edu.co

1. Introducción

Las actividades científicas, tecnológicas y de innovación¹ son reconocidas como factores esenciales para el aumento de la productividad, y a través de ella, el crecimiento, el desarrollo económico, las mejoras en términos de capacidad productiva, de competitividad y el aumento en el bienestar de la población en general (Grossman & Helpman, 1993; Solow, 1957). Aunque los efectos de la innovación son, en general, positivos en la sociedad, las empresas y el medio ambiente, ésta se caracteriza por ser altamente incierta, tener largos plazos de entrega, ser relativamente costosa, tener retornos que nos son del todo apropiables a nivel privado (*spillovers*) y por estar influenciada por el contexto institucional, las relaciones sociales, políticas y económicas.

En todo caso, para que exista la innovación, su financiación debe ser un eje central de análisis (Schumpeter, 2002); sin embargo, la financiación de la innovación presenta dificultades, ya que involucra problemas de asimetría de la información (riesgo moral y/o selección adversa), grados diversos de incertidumbre, mercados imperfectos, dificultad de internalizar totalmente los retornos de la inversión, desconocimiento de los procesos de innovación por parte del sector financiero, entre otros. Éstas y otras características de la financiación de actividades científicas y de innovación generan elevados costos de endeudamiento, condiciones y restricciones crediticias inusuales, las cuales se traducen en obstáculos y limitaciones para las empresas a la hora de acceder a capital externo para financiar sus proyectos de innovación. Esto genera un fenómeno en el cual las empresas asumen bajos niveles de inversión en investigación y desarrollo (I+D), con pocas posibilidades de acceder a recursos financieros.

Ante este escenario que limita el acceso a la financiación de la innovación, en muchos casos el Estado puede llegar a jugar un rol de suma importancia para la asignación de recursos que impulsen y multipliquen tanto la actividad científica e innovadora en las empresas, como la inversión privada en este campo. Dicho esto, existen dos perspectivas que buscan explicar los problemas y dinámicas de la asignación de recursos públicos a la innovación.

¹ Vale la pena resaltar la definición de innovación propuesta por Schumpeter (1951): “*la introducción de nuevos productos y servicios, nuevos procesos, nuevas fuentes de abastecimiento y cambios en la organización industrial, de manera continua, y orientados al cliente, consumidor o usuario*”

La visión clásica se fundamenta en la existencia de mercados perfectos, propone que los problemas de financiación de la innovación se producen por fallas de mercado derivadas de la asimetría de la información y afirma que dichas fallas se subsanan a través de la intervención del Estado tanto con instrumentos de apoyo financiero, como con la creación de bienes públicos (infraestructura, marcos institucionales, etc.) que logran generar mayor inversión privada en actividades de innovación (Stiglitz, 1993 y Martin & Scott, 2000).

Por otra parte, la perspectiva alternativa se basa en el reconocimiento de la imperfección fundamental del mercado y en la existencia de un ecosistema de actores empresariales, académicos, financieros e institucionales, en el cual el Estado va más allá de solucionar la imperfección del mercado y tiene un papel activo para financiar, facilitar, articular y dinamizar procesos y proyectos de innovación. Esta visión la sostienen autores (Pérez, 2004; O’Sullivan, 2005; Mazzucato, 2011 y Mazzucato & Semieniuk, 2017) que argumentan que se debe enfocar la atención a la relación entre la innovación y la asignación de recursos públicos y privados. Además, afirman que las políticas públicas que incentivan la innovación de forma radical no son las que “arreglan” las *presuntas* fallas de mercado, sino las que logran que las empresas, a partir de la financiación pública, *formen* y *creen* nuevos mercados basados en innovación, atraigan inversión externa para innovar y cuenten con una mejor articulación sistémica para realizar actividades científicas y tecnológicas.

En el marco de estas dos formas de entender la financiación de la innovación, este trabajo busca examinar los efectos que tienen los programas de apoyo público a la innovación sobre los resultados de la innovación empresarial, así como el efecto sobre las demás formas de financiación de los proyectos de ciencia, tecnología e innovación (CTI) en la industria colombiana con el objetivo de evidenciar posibles mejoras en las políticas públicas para la financiación de la innovación.

El documento se divide en 8 secciones, la sección 2 muestra la revisión de literatura; la sección 3 revisa el estado de la financiación de la innovación en Colombia; la sección 4 se ocupa del escenario de la innovación en Colombia; la sección 5 presenta una descripción de los datos usados para esta investigación y comenta los modelos econométricos usados; en la sección 6 se muestran

y discuten los resultados; la sección 7 concluye con los principales hallazgos e implicaciones para la política pública; por último, en la sección 8 se discuten limitaciones y futuras áreas de investigación.²

2. Revisión de Literatura

Desde una perspectiva meramente financiera, se deben analizar las posibles fuentes para obtener los recursos de capital necesarios para financiar un proyecto de innovación. La literatura ha desarrollado dos teorías para comprender el funcionamiento de la financiación: la *Trade Off Theory* (TOT) y la *Pecking Order Theory* (POT), las cuales explican las decisiones que toman las empresas acerca de las fuentes y la estructura de los recursos para financiar sus inversiones de largo plazo, incluidas las de proyectos de CTI.

La *Trade Off Theory* (TOT) fue propuesta originalmente por Kraus & Litzenberger (1973), quienes toman en cuenta el planteamiento de Modigliani & Miller (1958), que propone la existencia de un mercado perfecto donde las empresas pueden llegar a un equilibrio entre el costo de la bancarrota y los ahorros por impuestos derivados de las deudas y, por lo tanto, no existen diferencias entre los costos de financiación interna y externa de la firma. En concreto, la TOT plantea que una empresa puede elegir la cantidad óptima de financiamiento, ya sea por deudas o por emisión de bonos para así equilibrar los costos y beneficios que trae, en términos de las reducciones tributarias, la existencia de pasivos (deudas) en la estructura financiera de la empresa.

Ahora bien, aunque investigaciones como la de Hackbarth, Hennessy & Leland, (2007) argumentan que muchos hechos estilizados de la estructura de deuda y financiación de las empresas pueden ser explicada a través la TOT, realidades como las que argumenta Mazzucato (2013) tales como dificultad del acceso a crédito, la naturaleza restrictiva de los mercados financieros y la poca articulación del sector financiero con los procesos de innovación, llevan a un escenario poco plausible para que la TOT sea compatible con la financiación de proyectos innovadores, dadas sus características. Además, la ilusión de la existencia de un mercado “perfecto” hace que esta teoría no use supuestos realistas, lo que la hace incompatible con la realidad empresarial y gerencial.

² Adicionalmente, se incluye un glosario de términos en el Anexo 9.

Por otro lado, la *Pecking Order Theory* (POT) fue desarrollada inicialmente por Myers & Majluf (1984), quienes plantean que las empresas prefieren el uso de los recursos propios (e.j: utilidades retenidas) para la financiación de nuevas inversiones y proyectos. Sin embargo, cuando estos recursos no son suficientes las empresas acuden a una segunda opción, la financiación a través de deuda bancaria o de emisión de bonos, y en última instancia, a la emisión acciones (Vanacker & Manigart, 2010).

En este orden de ideas, investigaciones como las de Zambrano & Acuña (2013) y Frank & Goyal (2003) han encontrado evidencia empírica que sustenta la POT pues muestran que las empresas prefieren financiar sus proyectos de inversión usando recursos propios como primera opción. La existencia de la POT también se evidencia en sectores intensivos en I+D, empresas pequeñas y hasta *start-ups* (Sierra, 2014; Paul, Whittam & Wyper, 2007; Barona, Rivera, Aguilera & Garizado, 2015). De igual forma, Sierra (2014) muestra que en el ámbito de la financiación de inversiones en I+D en sectores de alta tecnología, existe un orden de preferencias jerárquicas que está alineado con la POT y añade que las empresas también acuden al sector público en búsqueda de recursos para innovar. Así mismo, argumenta que la estructura de la POT puede ser reversible, ya que puede favorecer las fuentes de recursos diferentes a las internas, aunque depende de las características organizacionales de las empresas, de su integración con los ecosistemas de innovación y en concordancia con las circunstancias macroeconómicas y sectoriales.

Con base en las preferencias de las empresas por el uso de recursos propios (POT), la disponibilidad de este tipo de fondos al momento de financiar una inversión en innovación es de gran importancia. O'Brien (2003) muestra que las firmas que optan por una estrategia competitiva basada en innovación deben contar en su estructura de capital con un buen *financial slack* (fondos disponibles de una compañía en caso de un descenso en las ventas, los ingresos o los beneficios que se usan para respaldar la continuidad financiera de los proyectos de CTI) para lograr posicionarse como empresas innovadoras, incluso en periodos de escasa liquidez de dinero.

No obstante, este escenario de disponibilidad de recursos propios para innovar no existe en muchas empresas, por lo que éstas podrían encontrarse en una situación desfavorable en caso de querer innovar (Hall & Lerner, 2010). En este sentido, las nuevas creaciones e invenciones dependen, en

su mayoría, de la financiación mediante recursos externos a la empresa. Las posibles fuentes de financiación externa son variadas y comúnmente incluyen: capital de riesgo, deuda bancaria, emisión de bonos, recursos públicos, recursos de cooperación, entre otros.

Es por esta razón que conseguir recursos financieros externos para innovar se convierte en un requisito para aquellas empresas que no cuentan con recursos propios, aunque esto involucre en su misma esencia problemas de información que limitan y dificultan la inversión en innovación. Becchetti & Sierra (2002) discuten gran parte de estos problemas en la asimetría de la información, que se presenta entre inversionistas y dueños de proyectos innovadores, así como los roles que las instituciones financieras juegan para reducir este tipo de problemas.

Leland & Pyle (1977) argumentan que, usualmente, el dueño del proyecto tiene mejor información sobre la naturaleza y probabilidad de éxito de un proyecto de innovación que los posibles inversionistas, lo cual genera que los proyectos a largo plazo tengan una prima de riesgo mayor, ya que distinguir entre los proyectos buenos o malos no es tan fácil para los inversionistas. De igual forma, Sierra (2014) discute la existencia de problemas que limitan la financiación de la innovación, incorporando en su análisis el nivel de información y conocimientos técnicos (del proyecto) y financieros por parte de los financiadores y los dueños de los proyectos. También muestra ejemplos paradójicos de información asimétrica; por ejemplo, algunos proyectos son rechazados por unos inversionistas y aceptados por otros, lo cual deja en evidencia que las partes no cuentan con el conocimiento técnico o financiero necesario, es decir, información incompleta.

Las barreras para acceder a recursos externos no acaban aquí puesto que también pueden aparecer problemas de riesgo moral entre el dueño del proyecto y el inversionista en temas relacionados con la gerencia del proyecto de innovación y la propiedad material e intelectual de los resultados finales del mismo, lo cual puede desincentivar la asignación de recursos por parte de inversionistas externos a los proyectos de CTI.

Además de los problemas de información asimétrica y riesgo moral, O'Brien (2003) y Vincente-Lorente (2001) exponen que la financiación externa de CTI se encuentra con restricciones por los distintos niveles de incertidumbre que caracterizan los procesos de innovación (Freeman & Soete,

1997; Jalonen, 2012), pues no existe garantía de que el proyecto tendrá un retorno a la inversión por lo menos positivo, lo cual genera que las empresas intensivas en I+D normalmente tengan un nivel bajo de apalancamiento financiero y limita el acceso a recursos provenientes del sector financiero tradicional.

Estas dificultades para acceder a recursos externos muestran que la financiación de la innovación se desenvuelve bajo un mercado imperfecto, en donde abundan obstáculos provenientes de problemas de información, credibilidad, articulación, interacción, conocimiento y alto riesgo. En este sentido, vale la pena resaltar a Dodgson, Hughes, Foster & Metcalfe, (2011), quienes exponen que el mercado “*libre*” de la financiación de la innovación no converge a ningún nivel óptimo, ni siquiera en países con mercados avanzados. En este sentido, queda en evidencia la necesidad de la intervención de un actor externo con alto poder (el Estado) que impulse el mercado de recursos destinados a innovar a través de instituciones de articulación y financiación.

Mazzucato & Semieniuk (2017) discuten la importancia del Estado y la financiación pública en los procesos de innovación, mostrando las ventajas de la presencia de fondos públicos a través de toda la cadena de la innovación, resaltando la disposición del Estado a asumir los altos riesgos de financiar proyectos científicos y tecnológicos en sus etapas iniciales o de investigación básica, independientemente de los ciclos económicos que puedan afectar los niveles de inversión de las empresas. De igual forma, argumentan que las políticas públicas de subsidios de ACTI que han estado orientadas de una forma sistémica y a la construcción de instituciones horizontales que permiten la difusión directa de conocimiento y de recursos a través de toda la economía han sido exitosas, pues han permitido formar y crear nuevos mercados en lugar de “arreglar” una falla.

Ahora bien, con el tiempo han surgido nuevas formas de conceptualizar y analizar la innovación como un campo de estudios interdisciplinarios, donde se trata de ir más allá de un mercado con fallas y en el que la evolución de la ciencia y tecnología pasó de una visión clásica (proceso exógeno) (Solow, 1957; Dowrick & Rogers, 2002) a un panorama de cambio intencional, articulado y planeado (Gu & Lundvall, 2006; Soete, Verspagen & Ter Weel, 2010) (proceso endógeno). Esto creó la necesidad de hacer endógena la integración entre los actores involucrados

en los procesos de CTI, así como de indagar sobre las políticas³ públicas de ciencia y tecnología que buscan solucionar problemas y necesidades sociales para construir políticas de innovación de forma más inclusiva y sostenible, tanto para la comunidad como para las empresas (Schot & Steinmueller, 2016).

Estas dinámicas multidisciplinarias y articuladas, en las cuales el Estado y las demás partes involucradas en los procesos de innovación se relacionan, han llevado a la conclusión de que la interacción entre los actores de los ecosistemas de innovación es importante para impulsar y articular los flujos de recursos e información, la transferencia de tecnología y la movilidad de talento humano. Por lo tanto, se convierte en un pilar importante la creación de redes que estimulen las actividades de CTI para obtener recursos financieros y crear canales fluidos entre empresas, instituciones facilitadoras y el Estado, permitiendo la adecuada asignación de estos recursos.

Esta interacción se define formalmente en los sistemas de innovación y originalmente fue propuesta por Lundvall (1985). Investigaciones como las de Hekkert, Suurs, Negro, Kuhlmann & Smits (2007), Lundvall (2007); Malerba (2002) y Mazzucato (2011) han demostrado que los Sistemas de Innovación se han convertido en un determinante central para la evolución en ciencia y tecnología, así como una herramienta integral para promover e impulsar la productividad, el crecimiento, el desarrollo y bienestar basados en innovación.

Los sistemas de innovación están focalizados en niveles nacionales, regionales y sectoriales, en donde se crean ventajas competitivas que se traducen en aumentos de productividad y competitividad, ya que logran mejorar la articulación y toman en cuenta las necesidades y características propias de cada región o cada sector tecnológico (Asheim & Isaksen, 2002). Por eso, las dinámicas para la creación y el funcionamiento de los sistemas de innovación deben estar soportadas en un marco institucional construido por el gobierno, el sector empresarial y las entidades involucradas en procesos de innovación para ayudar a eliminar las barreras que existen

³ A esta forma de construcción e implementación de política de innovación se ha bautizado como Marco 3 de Innovación Transformativa, la cual busca la formulación de políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación de una forma *Bottom-Up*, incluyendo a la comunidad beneficiaria/receptora de las políticas en su formulación y se enfoca en la cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible propuestos por la ONU en 2015. Para más información referirse a (Schot & Steinmueller, 2016).

en la interacción entre los actores y ofrecer instrumentos de financiación para las actividades de ciencia, tecnología e innovación (ACTI) cuando los subsistemas financieros (formados por actores como la banca de primer nivel, los fondos de inversión y demás, siempre y cuando dispongan de una cartera para financiar y/o invertir en proyectos de CTI) no proveen los recursos necesarios para satisfacer la demanda de estos programas.

La articulación para la innovación que proponen los sistemas de innovación se observa a nivel *meso* y *micro*. El primero comprende los marcos institucionales, variables y dinámicas sectoriales; mientras que el nivel *micro* trata las relaciones directas entre actores, con especial énfasis, para este trabajo, en la articulación financiera entre los integrantes de los sistemas de innovación. Esta articulación financiera a nivel *micro* se ha desarrollado en dos escenarios o visiones:

- 1) La visión tradicional se desarrolla bajo el contexto de un mercado con fallas que pueden provenir de problemas de información y de riesgo, entre otras, lo cual requiere que el Estado sea el actor encargado de proveer tanto financiación directa para ACTI como condiciones institucionales y de infraestructura (bienes públicos) que propicien la innovación, que ayuden a mitigar dichas fallas de mercado o para impulsar la inversión en I+D. Es importante resaltar que esta visión tradicional, con el paso del tiempo, ha venido transformándose y evolucionando, logrando llegar a una visión más moderna que da paso al siguiente escenario.
- 2) La visión alternativa es una forma nueva y moderna de entender la articulación de la financiación de la innovación; principalmente ha sido propuesta por Mazzucato (2011) y Mazzucato & Semieniuk (2017), quienes explican que existe una red de actores entendida como Sistema de Innovación y en la que se requiere del poder del Estado para que intervenga activamente en las dinámicas de articulación dentro del sistema para así catalizar y crear nuevos mercados basados en la innovación. Sierra (2014) ha complementado esta visión mostrando que la financiación de la innovación fluye cuando las empresas cuentan con un Sistema de Consolidación de Conocimiento, el cual facilita las dinámicas entre inversionistas y dueños de proyectos. Esta visión se diferencia de la anterior en cuanto a que el Estado debe tomar un rol activo en los procesos de innovación

y, desde este punto de vista, se entiende que los mercados financieros existentes no están en la completa capacidad de entender las dinámicas propias de la innovación generando la incapacidad de suplir la demanda de capital para inversión en proyectos de innovación.

Ahora bien, la literatura enfocada en la integración y articulación a nivel *micro* y *meso* dentro de los Sistemas de Innovación sugiere que esta interacción trae ventajas, especialmente para el sector empresarial. Padilla-Pérez, Vang & Chaminade (2009) concluyen que las empresas que son más integradas en los sistemas de innovación regional son propensas a innovar más rápido y a tener avanzadas capacidades tecnológicas en comparación con empresas de menor grado de integración; también, Malerba (2002) sugiere las mismas ventajas para la articulación en los sistemas de innovación sectorial.

Es así como la articulación entre los diferentes integrantes de los sistemas de innovación se vuelve aún más importante cuando se internaliza la relación entre instituciones financieras y el resto del sistema, así como la existencia de un actor como el Estado que esté dispuesto a compensar por el riesgo de la inversión en I+D, logrando una financiación más fluida para los proyectos innovadores (Lee & Park, 2006; Mazzucato & Semieniuk, 2017).

En general, la literatura muestra una convergencia en las ventajas de los apoyos financieros públicos a actividades de innovación, aunque en su mayoría se hayan tratado desde una perspectiva tradicional cual la financiación pública soluciona o mitiga las “fallas” de mercado discutidas. Por ejemplo, Cin, Kim, & Vonortas (2017) encuentran que para el caso coreano existe evidencia significativa y positiva de que los subsidios públicos enfocados a I+D llevan a aumentos en el gasto en I+D, productividad y valor agregado de las PyMES manufactureras. Por su parte, Aschhoff (2009) y Hussinger (2008) se enfocan en el caso alemán y encuentran que los subsidios, ya sean frecuentes, medianos o grandes, son adecuados para aumentar el alcance de los planes de I+D financiados por la empresa. En España, González & Pazó (2008) hallan que, en ausencia de subsidios, las empresas pequeñas en sectores de baja tecnología realizan menos actividades de I+D.

Además, en el ámbito internacional se encuentran diferentes tipos de programas⁴ que fomentan la competitividad basada en innovación. Por ejemplo, Mohnen, Palm, Van Der Loeff & Tiwari (2008) encuentran que las líneas de financiamiento externo están orientadas a que las empresas superen la falta de recursos para I+D+i (uno de los principales obstáculos para innovar). Así mismo, las fuentes de estos recursos son diversas y provienen de la articulación de los actores involucrados en el sistema de ciencia, tecnología e innovación; éstas pueden ser entidades gubernamentales, universidades, centros de desarrollo tecnológico, entre otras. Por ejemplo, para el caso del programa de la Estrategia de Especialización Inteligente en el País Vasco, las fuentes de financiación para los proyectos de innovación en los diferentes sectores, clústers y empresas, fueron las universidades, el Gobierno Vasco, los centros tecnológicos y los recursos de I+D+i propios de las empresas (Aranguren, Morgan & Wilson, 2016)

Para el caso latinoamericano, los análisis realizados sobre la financiación pública parecen estar esencialmente enfocados hacia la visión tradicional de fallas de mercado, destacándose las investigaciones de Aboal & Garda (2015) y Binelli & Maffioli (2007). En ellas se evalúa si el apoyo financiero estimula la innovación y la productividad en las empresas uruguayas por medio de la metodología de *propensity score matching (PSM)*. Encuentran evidencia que sugiere que el apoyo de los fondos públicos para la innovación aumenta el gasto privado en ACTI en las empresas y tiene un efecto más pronunciado en el sector de servicios.

Por su parte, Benavente, Crespi & Maffioli (2007) evalúan la efectividad del programa FONTEC (Fondo de Desarrollo Tecnológico y Productivo) en Chile, que se basaba en apoyos financieros para el desarrollo tecnológico. Los autores encuentran que los subsidios del FONTEC desplazan la inversión privada en innovación y promueven más actualizaciones tecnológicas de productos e innovación de procesos que innovaciones radicales de productos en las empresas chilenas. En otros aspectos, este programa aumentó las ventas, el número de empleos y las exportaciones. De igual forma, Binelli & Maffioli (2007) estudian los tipos de apoyo público del programa FONTAR

⁴ Vale la pena nombrar, por su importancia actual, las Estrategias de Especialización Inteligente (RIS3 por sus siglas en inglés) que se basan en una agenda integrada de desarrollo productivo construida colectivamente para la transformación basada en el conocimiento y la innovación regional. En estos programas la financiación es un eje fundamental y se busca una articulación fluida con el sector público para la consecución de recursos para proyectos de innovación productiva.

(Fondo Tecnológico Argentino) y encuentran, a través de un modelo de efectos fijos, evidencia de un impacto positivo y significativo de FONTAR en la inversión privada en I+D.

Por otro lado, se encuentra la investigación de López (2010), quien evalúa los programas de crédito para innovar enfocados en PyMES en tres países de la región (Perú, México y Chile), encuentra efectos positivos y significativos de estos programas en el aumento de las ventas en empresas peruanas. Para el resto de los países, los efectos se presentaron en el aumento de las exportaciones, el empleo y la productividad laboral. De igual forma, encuentra que los retornos de la inversión en CTI demoran años en internalizarse.

En cuanto el efecto que tienen los subsidios públicos para actividades científicas sobre la inversión privada en innovación en países en desarrollo, Özçelik & Taymaz (2008) y Lööf & Hesmati (2005) encuentran que la financiación pública para CTI afecta de manera significativa y positiva la inversión privada en I+D pues parece que existe un efecto de aceleración⁵ en la inversión en I+D financiada por la empresa, lo cual sugiere que aquellas empresas con una menor inversión en innovación se benefician más del soporte público para I+D, ya que éste cataliza el uso de recursos propios para innovar.

3. Financiación de la innovación en Colombia

En Colombia, tanto los programas de apoyo público a la innovación como las investigaciones relacionadas han sido escasas y limitadas; no obstante, los pocos trabajos desarrollados obtienen resultados similares a los encontrados en otros países y dejan en evidencia ventajas, limitaciones y temas para futuras investigaciones.

Una de las investigaciones pioneras y destacadas para el caso colombiano en cuanto a la financiación de la innovación es la de Sierra, Malaver & Vargas (2009), que a través de la encuesta de innovación de Bogotá y Cundinamarca muestran que existen restricciones de carácter financiero que son obstáculo para la innovación empresarial. Los autores argumentan que estas restricciones nacen del poco y reducido desarrollo y entendimiento del sector financiero colombiano frente a

⁵ Se refiere al efecto positivo que tiene la financiación pública sobre la formación bruta de capital o inversión en ACTI.

los procesos de CTI y de la baja integración que tiene la banca nacional con el sistema de innovación.

Otra caracterización de las dinámicas de la financiación de la innovación se evidencia en Barona & Mejía (2011), quienes confirman que en el país las nuevas empresas basan sus inversiones iniciales principalmente en sus propios recursos, utilidades o ayudas de familiares y amigos para financiar sus proyectos de inversión (incluidos los de innovación), mostrando una similitud con la estructura de la POT, incluso para las *start-ups*.

Por su parte, Barona et al (2015) sugieren que en Colombia la POT se cumple a la hora de financiar proyectos de ciencia, tecnología e innovación, ya que el 76% de los recursos empresariales destinados a innovar provienen de la misma empresa, el 18% son de la banca privada y el restante 6% provienen de diversas fuentes externas a la empresa. De igual forma, los autores resaltan la poca relevancia de los recursos públicos en la financiación de las actividades de innovación por su escasa participación sobre el total en fuentes de recursos financieros.

En relación con los programas de financiación pública de la innovación, Crespi, Maffioli & Meléndez (2011) evalúan los programas de Colciencias que fomentan la innovación a través de estímulos monetarios y encuentran que estos programas tienen efectos positivos sobre la productividad laboral como resultado de aumentos en la productividad total de los factores derivado de la diversificación de productos e intensificación del capital. El mecanismo de transmisión de estas mejoras se basa principalmente en el aumento de las capacidades de innovación intra-empresa. De igual forma, Crespi, Garone, Maffioli & Melendez (2015) encuentran que los efectos de la financiación de la innovación se dan a largo plazo, con énfasis en la formación de redes entre empresas y los diferentes actores de los sistemas de innovación (universidades, centros de investigación y otros centros públicos enfocados a la innovación).

Pese al reducido número de trabajos, sumados a la poca visibilidad de la política de ciencia, tecnología e innovación en Colombia, desde hace varias décadas el país cuenta con instituciones que apoyan proyectos y actividades innovadoras, así como desarrollos tecnológicos, a través de la financiación de proyectos de manera total o parcial.

Algunas de estas instituciones son: i) Colciencias, la cual desarrolla convocatorias anuales con el propósito de fomentar la innovación tecnológica, el conocimiento y la vinculación del talento humano a la investigación e innovación para tener mejoras y transformaciones productivas y sociales (Colciencias, 2018); ii) Innpulsa, una iniciativa de Bancoldex que tiene como fin apoyar la innovación empresarial y fortalecer las capacidades intra empresariales (Innpulsa, 2018); iii) el SENA, que emite convocatorias enfocadas en innovación y desarrollo tecnológico productivo (Tecnova, 2018); y iv) El Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías, dirigido a la financiación de programas o proyectos regionales de CTI, al que se destina por mandato constitucional el 10% de los recursos que el Estado colombiano recibe por la explotación de los recursos naturales no renovables (Acto Legislativo 005 de 2011).

Cabe resaltar que las convocatorias que lanza el Estado colombiano para la financiación pública de la innovación a través de cualquiera de sus agencias están dirigidas a todo tipo de empresas y sectores otorgando diferentes instrumentos de financiación según la convocatoria tales como: líneas de crédito, cofinanciación y líneas pertenecientes al sistema de regalías enfocadas a ACTI. De igual forma, en los tipos de intervención pública se pueden observar instrumentos enfocados en la creación de incentivos de mercado para la inversión empresarial en ACTI o incentivos dirigidos a la creación de marcos institucionales y de bienes públicos que impulsen un ecosistema óptimo para innovar.

4. Estado de la innovación y del Sistema Nacional de Competitividad, Ciencia, Tecnología e Innovación en Colombia

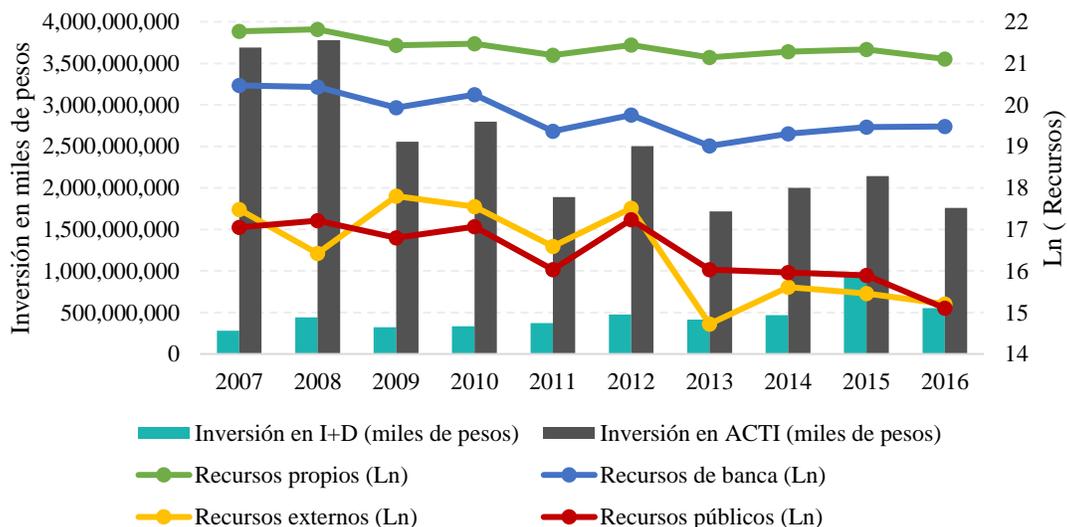
Los estudios del World Economic Forum (2017) y Cornell University (2017) evidencian brechas en los niveles de productividad e innovación empresarial en Colombia en comparación con otros países de características de desarrollo similares. Chica (1996), Medina, Meléndez & Seim (2002) y Clavijo (2003) coinciden en señalar factores principales que explican el nivel y la dinámica de la productividad derivada de los procesos innovadores en la economía colombiana:

- i. La existencia de bajos niveles en la tasa de crecimiento del cambio técnico y especialmente una baja inversión privada en I+D, lo cual queda en evidencia en la Gráfica 1 donde se observa que la inversión en I+D y en ACTI se ha venido reduciendo, al igual que el gasto

empresarial en I+D en Colombia; por ejemplo, en 2016 llegó apenas al 0,17% del PIB⁶ (OCyT, 2016).

- ii. La baja participación de los recursos públicos destinados a innovar y para financiar proyectos productivos (Barona et al, 2015). De igual forma, la Gráfica 1 muestra una reducción amplia en los recursos para financiación provenientes del sector público, mientras que los recursos privados no reflejan esta misma tendencia, lo que sugiere que los recursos públicos para innovación pueden tener un papel ambivalente como un sustituto o un complemento de la inversión privada en I+D (David, Hall & Toole, 2000).

Gráfica 1. Evolución de la inversión en ACTI, I+D y sus fuentes de financiación



Fuente: Cálculos propios basados en EAM-EDIT

En este sentido, es importante resaltar que toda la actividad innovadora (incluyendo su financiación) y sus posteriores resultados en términos de competitividad y productividad están enmarcados en el ecosistema de innovación colombiano, denominado Sistema Nacional de Competitividad, Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCCTeI). Éste fue creado inicialmente en la década de los noventa y ha evolucionado hasta convertirse en el conjunto de leyes, políticas, estrategias y mecanismos que incluyen la gestión de recursos humanos, materiales y financieros

⁶ Vale la pena mencionar que la inversión total en ACTI e I+D de 2016 en Colombia fue de 0,711% y 0,271% respectivamente con respecto al PIB.

de entidades públicas en coordinación con el sector privado, así como las entidades del Estado responsables de la política y de la acción en los temas relacionados con la competitividad, productividad e innovación (Colombia Competitiva, 2016). La estructura, organización, actores y subsistemas del SNCCTeI se encuentran diagramadas en el Anexo 2.

El Estado es uno de los actores del sistema y sus subsistemas, ya que con su poder de articulación tiene un papel fundamental para que los recursos financieros, el talento humano y el conocimiento fluyan a través de éste. Esto se puede evidenciar en el Anexo 3, donde se diagrama el subsistema financiero del SNCCTeI y sus diferentes fuentes de recursos, incluyendo su relación de gestión y facilitación con entidades cuyo objetivo misional es el fomento de la innovación, competitividad y productividad.

Ahora bien, los problemas mencionados en las secciones anteriores (información asimétrica, diferentes niveles de incertidumbre, riesgo moral, restricciones financieras, entre otros), sumados a la dificultad de tener suficiente *financial slack*, la baja articulación del sector privado al SNCCTeI y los problemas asociados a la obtención de recursos externos para innovar se reflejan en un nivel de inversión en innovación inferior al óptimo (Martin & Scott, 2000). Esta situación hace necesaria la intervención del Estado, que con el uso de su poder financiero e institucional puede contribuir a una mayor fluidez de las dinámicas de la financiación de la innovación, tomando un papel de líder y de *empendedor* que lleve al crecimiento basado en la innovación (Mazzucato, 2011).

Teniendo en cuenta lo anterior, este proyecto de investigación busca establecer el efecto de los programas de financiación pública para ACTI sobre los resultados de innovación y sobre las demás de fuentes de financiación de la innovación en las empresas manufactureras colombianas. Específicamente, se busca resolver las siguientes preguntas ¿Las empresas que reciben financiación pública para innovar (beneficiarias) tienen mejores resultados en innovación en comparación con las que no la reciben? ¿Cómo afecta la financiación pública a las demás fuentes de financiación internas y externas?

5. Metodología

5.1. Descripción de los Datos

Para este trabajo de investigación se usan los datos de la Encuesta Anual Manufacturera (EAM), la cual aporta información del desempeño productivo del sector manufacturero a nivel nacional y la Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica (EDIT) que, por su parte, aporta las variables referentes a la innovación y su financiación en este sector; ésta tiene como objetivo caracterizar la dinámica tecnológica y las actividades de innovación empresarial en el país; esta encuesta indaga acerca de los productos, las actividades, los recursos y los instrumentos de apoyo asociados con el desarrollo tecnológico y la innovación de las empresas del sector manufacturero.

La EAM y la EDIT son encuestas realizadas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). La primera, reporta los datos de las empresas industriales con diez o más personas ocupadas o con un valor de producción superior al estipulado para cada año de realización de la encuesta;⁷ la segunda se aplica a un subconjunto de las empresas incluidas en el directorio de la EAM. Para vincular la información de ambas encuestas se utilizó el identificador de la empresa de la EAM para cruzar la información con la EDIT y construir un panel longitudinal balanceado que permite hacer seguimiento a nivel de empresas en un horizonte temporal de 10 años, desde 2007 hasta 2016.⁸

El objetivo de balancear el panel de datos es evitar y mitigar posibles problemas de atrición causados por empresas liquidadas o que no formaron parte de la encuesta durante los diez años de forma continua. Es importante aclarar que en la muestra no se incluyen *start ups* puesto que todas las empresas deben contar con, al menos, 10 años de existencia para ser incluidas en el panel balanceado, generando que los análisis presentados expliquen los efectos de la financiación pública para ACTI solo para empresas consolidadas.

La base de datos cuenta con 41.580 observaciones, lo cual se traduce en 4.158 empresas por año. Estas empresas, a su vez, están clasificadas en 22 sectores industriales de manufactura que se

⁷ Para 2016 este valor era de 500 millones, aproximadamente 130.000 USD. Este valor se actualiza anualmente con el Índice de Precios al Productor - IPP.

⁸ Las últimas encuestas disponibles para la fecha de este anteproyecto son la EAM 2016 y la EDIT VIII, la cual cubre el periodo 2015-2016

identifican con código CIIU a dos dígitos. De igual forma, se incorpora la clasificación de la OECD de las actividades económicas basadas en la intensidad de I+D de cada sector (*KIS – Knowledge Intensive Sectors*, por sus siglas en inglés) para generar una clasificación acorde a las heterogeneidades de cada sector tecnológico y establecer un concepto más preciso que el básico referente a sector de alta y baja tecnología. Las cuatro clasificaciones de intensidad en I+D para manufactura son: alta, media-alta, media y media-baja (Galindo-Rueda & Verger, 2016); éstas se basan en el porcentaje de inversión sectorial en I+D sobre el total del valor agregado bruto del sector.⁹ En el sector de mayor intensidad se encuentran los sectores industriales más avanzados tales como el aeroespacial, el farmacéutico y el TIC mientras que los sectores de menor intensidad abarcan las industrias textiles, metalúrgica básica, entre otros.

La Tabla 1 muestra las estadísticas generales y discriminadas por sector de intensidad en I+D. En principio se puede observar que la inversión empresarial en actividades científicas en Colombia, medida como la intensidad¹⁰ en ACTI es baja y se sitúa en promedio de 1,2 %; esta situación se repite para todos los sectores sin importar la intensidad de conocimiento de la industria.

Además, se observa un promedio de 2,3% de trabajadores altamente calificados¹¹ que, aunque aumenta para los sectores más avanzados tecnológicamente, no logra superar el 4%. El escenario¹² se vuelve aún más desalentador cuando se observa que menos del 1% de las empresas ha tenido un proceso de *innovación radical*¹³ o *incremental*¹⁴. No obstante, cabe resaltar que el 41% de las empresas cuentan con al menos un registro de PI¹⁵ (propiedad industrial); así mismo se aprecia

⁹ Las clasificaciones por clúster comprenden los siguientes rangos: alta > 24,05%; media-alta entre 5,72% y 18,87%; media entre 1,93% y 3,58%; media-baja entre 0,67% y 1,73%. Los rangos se presentan de forma discontinua porque en cada clasificación se agrupa un número de sectores (alta: 3, media-alta: 6, media: 6 y media-baja: 11) y los límites de los rangos corresponden al valor de la intensidad promedio más alta y más baja de los sectores incluidos en cada clasificación. Para mayor detalle, consultar Galindo-Rueda & Verger (2016).

¹⁰ Consiste en el cociente del valor de la inversión en ACTI entre las ventas totales de la empresa.

¹¹ Se entiende como el cociente del número de empleados con estudios de posgrado entre el total de empleados.

¹² El Anexo 1 muestra el panorama de financiación de la innovación para el sector manufacturero colombiano, en el que prevalecen los recursos propios como fuente principal de recursos para proyectos de ACTI (POT).

¹³ La empresa introdujo un bien o servicio cuyas características esencialmente novedosas respecto a anteriores.

¹⁴ La empresa introdujo un bien o servicio significativamente mejorado respecto a anteriores.

¹⁵ La mayoría de los registros de PI corresponden a diseños industriales, con los cuales se protege el aspecto estético de un producto y muy pocos corresponden a patentes de invención o modelos de utilidad los cuales se relacionan con la innovación tecnológica

que las empresas manufactureras en Colombia son más cercanas a la innovación no tecnológica puesto que un 19,6% de estas han tenido al menos una innovación en métodos de logística o de cadena de suministros, 11,5% en métodos organizacionales o de gestión del conocimiento y 8,7% en métodos de comercialización y mercadeo. Esta situación se repite sin importar el sector tecnológico.

Tabla 1. Estadísticas: Toda la muestra y por sector de intensidad en I+D

Variables	Total	Alto	Medio-Alto	Medio	Medio-Bajo
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Edad	27,05	25,281	28,497	26,927	26,543
Empresa pequeña	0,54	0,631	0,520	0,546	0,557
Empresa mediana	0,31	0,338	0,341	0,319	0,293
Empresa grande	0,14	0,031	0,138	0,135	0,151
Personal altamente calificado	0,023	0,021	0,036	0,023	0,018
Intensidad en ACTI	0,012	0,013	0,015	0,013	0,010
Capital	21.090.000	2.418.925	16.600.000	31.700.000	18.500.000
Coopera para innovar	0,15	0,146	0,208	0,152	0,139
Innovación radical	0,008	0,017	0,014	0,008	0,006
Innovación incremental	0,007	0,017	0,013	0,008	0,005
Empresa con registros de PI	0,406	0,408	0,407	0,408	0,404
Innovó en métodos de producción o logística	0,196	0,158	0,213	0,193	0,191
Innovó en métodos organizacionales	0,115	0,142	0,147	0,109	0,104
Innovó en métodos de mercadeo	0,087	0,075	0,102	0,066	0,091
Observaciones	41.580	480	9.150	10.100	21.850

Nota: Unidades monetarias en miles de pesos de 2016

Fuente: Cálculos propios basados en EAM-EDIT (2006-2017)

En este mismo orden de ideas, se observa que en promedio un 15% de las empresas coopera para actividades científicas y tecnológicas bien sea con clientes, proveedores, universidades o cualquiera de los demás actores del SNCCTeI. Igualmente, es importante mencionar que la Tabla 1 expresa que la mayoría de las empresas en Colombia se concentra en los sectores de baja tecnología, siendo éstas mucho más grandes tanto en ventas como en capital y, de igual forma, se observa que las empresas en los sectores tecnológicos más avanzados son más jóvenes.

Una caracterización adicional por tamaño de empresa y por rangos de edad se aprecia en el Anexo 4. En estas tablas se puede observar que las empresas grandes tienen mayores capacidades para innovar puesto que su intensidad en ACTI (1,8%) es mayor que la de las pequeñas y medianas (0,09% y 1,4%, respectivamente) y, a la vez, cuentan con una mayor proporción de personal

altamente calificado (3.6%). Del mismo modo, esta ventaja se aprecia en los resultados de innovación, ya que en todos los indicadores las empresas grandes tienen un mejor desempeño. En cuanto a la caracterización por rangos de edad, se aprecia que las empresas más jóvenes cuentan con mejores resultados en términos de innovación, destacándose los registros de PI (62%). No obstante, se aprecia que las empresas jóvenes cuentan con una proporción ligeramente menor (1,6%) de trabajadores altamente calificados, mientras que las empresas más consolidadas cuentan con un 2,5% de personal con estudios de posgrado.

Por otro lado, la Tabla 2 muestra estadísticas descriptivas que comparan los grupos de empresas beneficiarias y no beneficiarias de programas de financiación pública de la innovación. Se puede observar que en términos de los resultados de innovación la diferencia es amplia y significativa, pues las empresas beneficiarias de la financiación pública tienen mejores resultados en innovación tecnológica y no tecnológica, por ejemplo: innovan 5% más que las no beneficiarias, tanto en innovación radical como en incremental y, de igual forma, registran un 13% más de títulos de propiedad industrial.

Esta tabla también sugiere que las empresas beneficiarias de estos programas cuentan con más capacidades para innovar, ya que en promedio tienen una diferencia de 3,2% en la proporción de trabajadores altamente calificados, así como mayor intensidad en ACTI (5,5%). De igual forma, tienen mayor cooperación para innovar, con una amplia diferencia de 57% respecto a las empresas no beneficiarias. Las empresas beneficiarias son más grandes en capital, siendo este en promedio 257 mil millones de pesos superior a sus pares no beneficiarias. Es necesario resaltar que las empresas medianas, del sector I+D alto y medio bajo no presentaron diferencias significativas entre empresas beneficiarias y no beneficiarias.

Por su parte, la Gráfica 2 muestra el número anual de empresas beneficiarias de programas de financiación pública de la innovación en Colombia y sus principales características. Se puede observar que, aunque el número de empresas beneficiarias al año por los apoyos públicos para innovar es reducido, éstas representan en promedio casi el 10% del total de las ventas y concentran aproximadamente el 4% del total de los trabajadores del sector manufacturero, dejando ver que firmas de muy gran tamaño han sido los principales beneficiarios de los instrumentos de apoyo

público para innovar. Esto, junto con lo expuesto en la Tabla 2, muestra un probable escenario favorable para la innovación para aquellas empresas que han recibido algún tipo de financiación pública.

Tabla 2: Estadísticas Descriptivas por grupo de empresas beneficiaras de financiación pública de la innovación

Variable	No beneficiarias		Beneficiarias		Diferencia
	Media	D.E	Media	D.E	
Edad	26,975	14,874	36,314	18,656	-9,339***
Empresa pequeña	0,550	0,498	0,192	0,394	0,358***
Empresa mediana	0,31	0,463	0,314	0,465	-0,004
Empresa grande	0,140	0,347	0,494	0,501	-0,354***
Personal altamente calificado	0,023	0,076	0,054	0,101	-0,032***
Intensidad en ACTI	0,012	0,054	0,066	0,103	-0,055***
Capital	18.960.280	144.818.051	276.549.246	1.397.524.963	-257.588.966***
Coopera para innovar	0,152	0,359	0,727	0,446	-0,574***
Innovación radical	0,008	0,088	0,061	0,240	-0,053***
Innovación incremental	0,007	0,083	0,055	0,229	-0,048***
Empresa con registros de PI	0,405	0,491	0,538	0,499	-0,133***
Innovó en logística	0,192	0,394	0,657	0,475	-0,465***
Innovó en métodos organizacionales	0,112	0,316	0,439	0,497	-0,327***
Innovó en métodos de mercadeo	0,085	0,279	0,328	0,470	-0,244***
Sector I+D: Alto	0,012	0,107	0,009	0,093	0,003
Sector I+D: Medio-Alto	0,219	0,414	0,337	0,473	-0,118***
Sector I+D: Medio	0,243	0,429	0,230	0,421	0,013
Sector I+D: Medio-Bajo	0,526	0,499	0,424	0,495	0,102***

***, ** y * representan significancia estadística al 99, 95 y 90% respectivamente,

Nota: Unidades monetarias en miles de pesos de 2016

Fuente: Cálculos propios basados en EAM-EDIT

No obstante, es necesario preguntarse si estos programas de financiación son los responsables del éxito innovador de este grupo de empresas o si, por el contrario, son sus mismas características empresariales asociadas a actividades científicas las causantes de estos resultados de innovación. Por lo tanto, surge la duda de que este escenario favorable puede estar siendo afectado por un problema de autoselección (las empresas innovadoras son las que se presentan a convocatorias para recibir financiación pública para sus proyectos de innovación). Esto sugiere que para encontrar un estimador confiable que permita ver el efecto real de este tipo de programas es necesario el uso de una estrategia de edificación causal adecuada, la cual se presentará y discutirá en la siguiente sección.

Gráfica 2. Número y proporción de ventas y trabajadores de empresas beneficiarias



Fuente: Cálculos propios basados en EAM-EDIT (2006-2017)

5.2. Modelo de identificación

Evaluar de forma correcta los efectos que tiene la financiación pública de la innovación resulta importante para la formulación de políticas públicas efectivas y orientadas a la mejora continua. Las investigaciones previas realizadas en Colombia y en América Latina se han centrado principalmente en el efecto de la financiación pública de la innovación sobre la productividad empresarial y el gasto interno en I+D.

En este trabajo de investigación se plantea que la financiación pública para innovar tiene un efecto en los resultados de innovación¹⁶, así como en las fuentes de recursos internas o externas que se usan para financiar nuevas inversiones en actividades científicas, tecnológicas y de innovación. Por consiguiente, las áreas e indicadores empresariales que se usan en la investigación para establecer el impacto de la financiación pública se presentan y se describen en la Tabla 3:

¹⁶ Existe una convergencia en la literatura en lo referente a los indicadores usados para medir todo lo concerniente a la innovación empresarial: sus capacidades, áreas de inversiones, formas de cooperación y protección y resultados, etc. Para más información de estos indicadores para medir la innovación leer Smith. (2005) y el Manual de Oslo de la OECD [OECD/Eurostat (2005)], documentos mundialmente aceptados en este tema

Tabla 3. Indicadores de efectos de financiación pública de la innovación

Área	Indicador	
Resultados de Innovación	<i>Innovación tecnológica</i>	La firma tuvo al menos un proceso de innovación radical. La firma tuvo al menos un proceso de innovación incremental. La firma registró algún título de propiedad industrial (PI)
	<i>Innovación no tecnológica</i>	La firma introdujo nuevos métodos de producción, de cadena de suministros o de logística. La firma introdujo nuevos métodos organizacionales o de gestión del conocimiento. La firma introdujo nuevos métodos de comercialización o de mercadeo.
	Financiación de proyectos de ACTI ¹⁷ (valor y participación)	Recursos propios. Recursos de otras empresas Recursos de deuda de la banca privada. Recursos de inversión de fondos de capital privado.

Fuente: Elaboración propia

Teniendo claridad de los indicadores y medidas de interés, se plantea el modelo inicial que servirá como punto de partida y modelo de referencia. En principio se presenta una estimación Probit con sus respectivos efectos marginales para los indicadores correspondientes al área de resultados de innovación señalados en la Tabla 3. Por otra parte, una estimación de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) se usa en los indicadores de financiación de proyectos de ACTI. Ambos modelos están representados en las ecuaciones 1 y 2 respectivamente¹⁸:

$$\Pr(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 TD_i + \beta \bar{X}_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 TD_i + \beta \bar{X}_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

En ambos modelos, se usan como variables dependientes (Y_i) cada uno de los indicadores señalados en la Tabla 3, resaltando que aquellos del área de resultados de innovación corresponden a variables binarias (Ecuación 1). Por su parte, los indicadores de financiación de proyectos de ACTI se incorporan en dos formas: i) el nivel de inversión medido como el valor en miles de pesos colombianos de 2016 para cada una de las fuentes de recursos, y ii) el porcentaje de participación de cada una de las fuentes de recursos sobre el total del monto de la inversión en ACTI en la firma.

¹⁷ Nota aclaratoria: Dada la estructura de la EDIT, los recursos para ACTI provenientes de la emisión de acciones y bonos se cuentan en el indicador de financiación con recursos propios, mientras que los provenientes de capital de riesgo o inversionistas ángeles se incluyen en la categoría de fondos de capital privado.

¹⁸ Ambos modelos se estiman en *pooled data* y los resultados se muestran en el Anexo 7.

La variable de interés es D_i , que toma el valor de 1 si la empresa i recibió financiamiento público para actividades y proyectos de innovación y cero en caso contrario. Adicionalmente, se usa un vector \bar{X}_i de variables para controlar por características empresariales que pudieran afectar los resultados en cualquiera de áreas que se quieren evaluar.

Este vector \bar{X}_i de controles incluye las siguientes variables: i) la edad de la empresa, ii) *dummies* de tamaño¹⁹, iii) la proporción de trabajadores altamente calificados, iv) la intensidad en ACTI, v) el logaritmo del capital en libros como medida de respaldo para acceder a la financiación externa, y por último iv) una *dummy* de cooperación para innovar que se usa como proxy para medir la articulación de la empresa con el SNCCTeI.

Aunque las estimaciones señaladas en las ecuaciones 1 y 2 resultan útiles como punto de partida, otros métodos de estimación son más apropiados para hacer un análisis de mayor precisión y credibilidad. Cameron & Trivedi (2009) argumentan que al utilizar una estimación panel se puede controlar la heterogeneidad que existe entre empresas y sus diferencias no observadas,²⁰ mitigando así posibles sesgos que surgen por la incapacidad de no incluir en el modelo factores no observables que afecten teóricamente los resultados de la variable dependiente Y_i ; así mismo, usando una estimación panel se pueden establecer relaciones causales más que solo correlaciones. Igualmente, Imbens & Wooldridge (2009) y Crespi, Maffioli, Mohnen & Vázquez (2011) exponen que al evaluar programas de apoyo público a la innovación y contar con una base de datos panel, es preciso usar un modelo de efectos fijos²¹ en el cual se asume que cualquier heterogeneidad no observada que afecte los resultados de la innovación es constante en el horizonte temporal registrado, que en este caso es de 10 años.

Usando este modelo de estimación se puede controlar la selección de variables no observables siempre que estos factores sean constantes en el tiempo. Los modelos de Efectos fijos se muestran

¹⁹ El tamaño de las empresas está dado por el número de empleados, según la clasificación estipulada en la Ley 905 de 2004. Pequeña: menos de 50 trabajadores; mediana: entre 51 y 200 trabajadores, y grande: más de 200 trabajadores. Adicionalmente, se llevó a cabo el ejercicio de clasificar los tamaños de las empresas con base en el criterio de activos y ventas, sin embargo, se usó el criterio de número de trabajadores por su consistencia con investigaciones previas.

²⁰ Estas diferencias pueden lograr explicar los comportamientos empresariales diferenciados.

²¹ Adicionalmente se llevó a cabo un test de Hausman el cual evidenció que el modelo que mejor se adapta es el de efectos fijos. El resultado tanto de este test se muestra en el Anexo 6; por su parte, las estimaciones de efectos fijos se pueden consultar en el Anexo 5.

en las siguientes ecuaciones y en ambos se incluyen variables para tener en cuenta las características propias de cada empresa y de cada periodo de tiempo de observación. En este caso Y_i son los indicadores señalados en la Tabla 3 correspondientes a la empresa i en el periodo t ; mientras que, D_{it} es una variable que muestra si la empresa i recibió financiación pública para ACTI en el periodo t . Las nuevas variables y coeficientes que se incluyen en el modelo corresponden a *dummies* de empresas, E_n y de periodo de tiempo, T_j junto con sus respectivos coeficientes γ y δ . Cabe resaltar que la Ecuación 3 muestra el modelo para los indicadores Y_i binarios²² (resultados de innovación) mientras que la Ecuación 4 para los indicadores continuos (financiación de proyectos de ACTI).

$$\Pr(Y_{it}) = \beta_0 + \beta_1 D_{it} + \beta_k \bar{X}_{k,it} + \gamma_1 E_1 + \dots + \gamma_{n-1} E_{n-1} + \dots + \delta_1 T_1 + \dots + \delta_{j-1} T_{j-1} + \varepsilon_{ti} \quad (3)$$

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 D_{it} + \beta_k \bar{X}_{k,it} + \gamma_1 E_1 + \dots + \gamma_{n-1} E_{n-1} + \dots + \delta_1 T_1 + \dots + \delta_{j-1} T_{j-1} + \varepsilon_{ti} \quad (4)$$

Adicionalmente, y como prueba de robustez de los resultados, se utiliza otro modelo de efectos fijos donde se mantiene la variable de las características no observables del periodo de tiempo T_t , pero se reemplazan las variables *dummies* de empresa incorporando efectos fijos de sectores industriales intensivos en I+D (K_n), de la siguiente forma:

$$\Pr(Y_{it}) = \beta_0 + \beta_1 D_{it} + \beta_k \bar{X}_{k,it} + \gamma_1 K_1 + \dots + \gamma_{n-1} K_{n-1} + \dots + \delta_1 T_1 + \dots + \delta_{j-1} T_{j-1} + \varepsilon_{ti} \quad (5)$$

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 D_{it} + \beta_k \bar{X}_{k,it} + \gamma_1 K_1 + \dots + \gamma_{n-1} K_{n-1} + \dots + \delta_1 T_1 + \dots + \delta_{j-1} T_{j-1} + \varepsilon_{ti} \quad (6)$$

Los resultados de ambos modelos de efectos fijos se comparan y comentan entre sí con el objetivo de evidenciar la robustez y confiabilidad de estos estimadores para observar que los resultados apuntan a una sola dirección.

²² Es de suma importancia tener presente tanto lo teorizado por Wooldridge (2010) y lo aplicado por Pinzón (2017) en donde se especifica que una estimación panel de probabilidad usando efectos fijos llega a efectos marginales (en la media) razonables, siempre que se cumplan los mismos supuestos de consistencia e insesgadez del modelo panel con efectos fijos y variable dependiente continua

6. Resultados

En esta sección se muestran y comentan los resultados obtenidos a partir de las estimaciones de los modelos descritos en la sección anterior. En cada tabla se presentan los resultados en columnas que corresponden al modelo de efectos fijos de sector de intensidad de I+D (números impares) y efectos fijos de empresa (números pares).

Respecto a los indicadores de resultados de innovación en las empresas, se evidencia que la financiación pública para innovar aumenta la probabilidad de que las empresas realicen un proceso de innovación radical en solo 0,1% (Tabla 4, columna 1) siendo este resultado apenas significativo. De igual forma los resultados sugieren que la financiación pública para innovar tiene un efecto nulo sobre la probabilidad de que la empresa tenga un proceso de innovación tecnológica sin importar que en la estimación incorpore efectos fijos de sector de intensidad en I+D o de empresa (Tabla 4, columna 1). No obstante, se observa que los recursos públicos fomentan en un 12,6% (Tabla 4, columna 5) el registro de derechos de PI (patentes de invención, modelos de utilidad, diseños industriales y esquemas de trazado).

Por otra parte, se aprecia en los modelos que incorporan efectos fijos de sector tecnológico que el tamaño de la firma juega un papel importante para determinar el éxito innovador, siendo las empresas grandes 0,17% y las medianas 0,04% (Tabla 1, columna 1) más propensas a innovar de forma radical respecto a las pequeñas. Así mismo, se aprecia que el tamaño influye positivamente en el registro de PI, aumentándolo en 13% y 7% para las empresas grandes y medianas, respectivamente, al compararlas con las pequeñas. Estos resultados se pueden derivar de los obstáculos financieros, económicos, de riesgos y costos para innovar que enfrentan las empresas (Galía & Legros, 2004). Vale la pena resaltar que las PyMES colombianas podrían ser especialmente propensas a enfrentar este tipo de obstáculos (Sierra et al, 2009).

Aunque los resultados se muestran intuitivamente coherentes, llama la atención que la proporción de empleados altamente calificados tiene un efecto nulo o negativo (excepto para Registro de PI) sobre la innovación de las empresas manufactureras en Colombia. Una explicación de esto es lo expuesto por el OCyT (2017), ya que solo el 14,9% de los graduados en los programas nacionales

de maestría corresponden a formación STEM²³, lo cual conlleva que la innovación tecnológica pueda estar obstaculizada porque las empresas no cuentan con suficientes científicos en áreas que propicien este tipo de innovación.

Tabla 4. Resultados – Innovación tecnológica

Variables	Innovación radical		Innovación incremental		Registro de PI	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Empresa beneficiaria	0,00116* (0,000688)	0,00469 (0,0144)	0,000837 (0,000512)	0,00568 (0,0147)	0,126*** (0,0398)	0,0174 (0,0142)
Edad	-1,99e-06 (2,07e-06)	-0,000468* (0,000242)	1,51e-06 (1,54e-06)	-0,000540** (0,000247)	0,000291 (0,000321)	0,000118* (7,13e-05)
Empresa mediana	0,000394** (0,000155)	-0,000942 (0,00245)	0,00057*** (0,000195)	0,000145 (0,00255)	0,0707*** (0,0206)	-9,78e-05 (0,00124)
Empresa grande	0,00172*** (0,000651)	-0,00675 (0,00704)	0,000959** (0,000414)	-0,0111 (0,00689)	0,137*** (0,0333)	0,00406 (0,00341)
Personal altamente calificado	3,82E-05 (0,000206)	-0,0210* (0,0113)	-0,00104* (0,000579)	-0,0329** (0,0130)	0,0634** (0,0255)	-0,00428 (0,0137)
Intensidad en ACTI (ln)	0,000972*** (0,000340)	0,0712*** (0,0263)	0,00060*** (0,000214)	0,0416** (0,0171)	0,0795* (0,0477)	-0,00634 (0,0108)
Capital (ln)	8,81E-05*** (3,01e-05)	-0,000108 (0,000811)	6,15E-05*** (2,24e-05)	-0,000428 (0,000432)	0,0190*** (0,00397)	0,00124 (0,00092)
Coopera para innovar	0,00223*** (0,000524)	0,0189*** (0,00334)	0,00232*** (0,000594)	0,0184*** (0,00346)	0,108*** (0,0163)	0,00323 (0,00254)
Efectos fijos de tiempo	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Efectos fijos de:	KIS	Empresa	KIS	Empresa	KIS	Empresa

***, ** y * representan significancia estadística al 99, 95 y 90% respectivamente, Errores estándar robustos entre paréntesis

Por otro lado, al analizar los resultados referentes a la innovación no tecnológica se observa un cambio sustancial. Las empresas beneficiarias de programas de financiación pública de la innovación tienen en promedio 9% (Tabla 5, columnas 1 y 2) más probabilidad de introducir nuevos métodos de producción, logística o cadena de suministros, en comparación con empresas no beneficiarias de este tipo de programas.

De igual forma, el hecho de que una empresa reciba financiación pública impulsa su probabilidad de innovar en métodos organizacionales y de gestión del conocimiento en un 5% y 7,2% (Tabla 5, columnas 3 y 4). Por último, la financiación pública a la innovación también tiene efectos

²³ Acrónimo de los términos en inglés Science, Technology, Engineering and Mathematics (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas)

positivos, aunque de menor magnitud (3,3% y 3,9%) sobre la innovación en métodos de mercadeo y publicidad (Tabla 5, columnas 5 y 6).

Tabla 5. Resultados – Innovación no tecnológica

Variables	Innovó en métodos de producción o logística		Innovó en métodos organizacionales		Innovó en métodos de mercadeo	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Empresa beneficiaria	0,0915*** (0,0267)	0,0940*** (0,0350)	0,0508*** (0,0166)	0,0720** (0,0316)	0,0329** (0,0132)	0,0389 (0,0301)
Edad	-0,000393*** (0,000136)	0,000475 (0,000738)	-0,000185* (9,54e-05)	-0,000535 (0,000545)	0,000240*** (7,82e-05)	0,000109 (0,000587)
Empresa mediana	0,0808*** (0,00541)	0,0226** (0,0113)	0,0440*** (0,00406)	0,0107 (0,00913)	0,0272*** (0,00339)	0,000442 (0,00849)
Empresa grande	0,134*** (0,00969)	0,0636*** (0,0234)	0,0837*** (0,00783)	0,00283 (0,0184)	0,0739*** (0,00673)	-0,0118 (0,0180)
Personal altamente calificado	0,00748 (0,0240)	0,0474 (0,0485)	0,0282* (0,0165)	0,00675 (0,0330)	0,0390*** (0,0150)	-0,0132 (0,0392)
Intensidad en ACTI (ln)	0,9311*** (0,0535)	0,851*** (0,216)	0,326*** (0,0670)	0,386*** (0,0961)	0,188*** (0,0532)	0,283*** (0,0655)
Capital (ln)	0,00840*** (0,00127)	0,00110 (0,00245)	0,00380*** (0,000915)	-0,000267 (0,00222)	-0,00142** (0,000699)	-0,00246 (0,00199)
Coopera para innovar	0,356*** (0,00734)	0,325*** (0,0126)	0,228*** (0,00712)	0,226*** (0,0110)	0,186*** (0,00662)	0,182*** (0,0101)
Efectos fijos de tiempo	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Efectos fijos de:	KIS	Empresa	KIS	Empresa	KIS	Empresa

***, ** y * representan significancia estadística al 99, 95 y 90% respectivamente, Errores estándar robustos entre paréntesis

Ahora bien, respecto al personal calificado, se observa que una mayor proporción de empleados con altos niveles educativos (especialización, maestría o doctorado) lleva a un aumento del 2,8% (Tabla 5, columna 3) en la probabilidad de introducir nuevos métodos organizacionales y del 3,9% (Tabla 5, columna 5) en métodos de mercadeo, lo cual puede ser explicado con lo que muestra el OCyT (2017) en la proporción de graduados de maestría en el área de ciencias sociales y humanas (72,28%), ya que estos profesionales podrían impulsar la innovación no tecnológica dada su formación.

Hasta este punto, los resultados muestran que, aunque los programas están dirigidos al aumento en las capacidades y resultados en torno a la innovación tecnológica en las empresas, el efecto está realmente reflejado en los desarrollos no tecnológicos, incrementando la probabilidad de que las

empresas beneficiarias introduzcan nuevos métodos, procedimientos y procesos en su cadena productiva, pero teniendo un efecto nulo en el objetivo principal de los programas. Del mismo modo, resulta interesante analizar estos resultados a la luz de lo expuesto por Malaver & Vargas (2004), quienes argumentan que la innovación tecnológica no forma parte de la estrategia competitiva de las empresas colombianas, sino que toma un papel funcional, esporádico y se realiza de manera informal y asistemática. Esto puede sustentar el hecho de la desincorporación de la innovación en los procesos productivos de las empresas, aun cuando éstas hayan recibido financiación pública para ACTI.

Ahora bien, resulta interesante analizar las dinámicas y relaciones de la financiación pública con las demás fuentes de recursos financieros con las que cuentan las empresas para sus inversiones en ACTI. En este sentido, es de resaltar el efecto *crowding in*²⁴ que aporta la financiación pública al monto de recursos propios para inversión en ACTI; es decir, las empresas beneficiarias invierten, en promedio, el doble o el triple (Tabla 6.1, columnas 1 y 2) de recursos de capital propio en actividades de ciencia y tecnología en comparación con aquellas empresas no beneficiarias.

En la literatura, investigaciones como la de Lööf & Hesmati (2004) y Czarnitzki & Fier (2002) muestran resultados convergentes con los discutidos, sustentando el hecho de que en la industria colombiana existe adicionalidad de los recursos públicos para la innovación y éstos constituyen, a veces, el capital semilla para actividades de CTI en las empresas. Así mismo, se puede evidenciar que cuando el Estado asume los riesgos de financiar proyectos empresariales de CTI en cualquiera de sus etapas, se genera un aumento en los niveles de inversión privada propia y externa en innovación (Mazzucato, 2011; Mazzucato & Semieniuk, 2017).

Por su parte, el efecto de la financiación pública para innovar sobre la inversión con fondos que vienen de otras empresas, aunque muestra un signo positivo y una magnitud de 10% y 6% (Tabla 6.1, columnas 3 y 4), en ningún caso es estadísticamente significativo, mostrando la inexistencia de algún efecto de adicionalidad (*crowding in*) entre éstas.

²⁴ Son estímulos que el gasto público ejerce sobre la economía. Se considera un efecto de expansión que genera el sector público, y que, a su vez, atrae al sector privado, con la finalidad principal de elevar sus disposiciones de capital en proyectos de rentabilidad.

Tabla 6.1 Resultados sobre fuentes de financiación de ACTI: nivel de inversión – I

Variables	Recursos propios		Recursos de otras empresas	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Empresa beneficiaria	2,064*** (0,338)	1,124*** (0,382)	0,102 (0,0886)	0,0596 (0,0982)
Edad	0,00591*** (0,00154)	-0,00163 (0,00758)	9,57e-05 (0,000254)	-0,000953 (0,000767)
Empresa mediana	0,976*** (0,0509)	0,384*** (0,115)	0,0101 (0,00709)	0,00832 (0,0132)
Empresa grande	2,734*** (0,0918)	1,039*** (0,271)	-0,000912 (0,0108)	-0,0380 (0,0345)
Personal altamente calificado	3,223*** (0,495)	1,803*** (0,571)	-0,0687*** (0,0207)	0,00166 (0,0221)
Intensidad en ACTI (In)	20,22*** (5,285)	18,55*** (5,137)	1,180*** (0,366)	1,117*** (0,395)
Capital (In)	0,190*** (0,0130)	0,0161 (0,0264)	0,00128 (0,00151)	0,00194 (0,00341)
Coopera para innovar	5,786*** (0,143)	4,524*** (0,160)	0,0400*** (0,0149)	0,0288 (0,0175)
Efectos fijos de tiempo	Si	Si	Si	Si
Efectos fijos de:	KIS	Empresa	KIS	Empresa

***, ** y * representan significancia estadística al 99, 95 y 90% respectivamente,

Errores estándar robustos entre paréntesis

Al analizar los resultados, la evidencia sugiere que la financiación pública para innovar no parece tener un efecto propulsor o de expansión sobre el resto de las fuentes de recursos para actividades científicas en las empresas, sino por el contrario un efecto *crowding out*. Este efecto negativo, aunque no significativo, reduce el uso de fondos de la banca privada para innovar en un 6% y 19% (Tabla 6.2, columnas 1 y 2), en los modelos de efectos fijos de sector y empresas, respectivamente.

Ahora bien, el efecto de *crowding out* o de desplazamiento se observa muy consistente y significativo sobre los recursos provenientes de fondos de capital privado, llegando a ser de 10% y 8,8% (Tabla 6.2, columnas 3 y 4); esto sugiere que las empresas que reciben financiación pública tienden a usar menos recursos provenientes de fondos privados para financiar sus inversiones en ACTI, en comparación con las empresas no beneficiarias. Esta situación es contradictoria con lo discutido por Mazzucato (2011), quien muestra ejemplos de empresas y proyectos de innovación que recibieron financiación pública en etapas iniciales y, luego, lograron contar con participación

financiera privada externa, en especial con capitales de riesgo, ya que el Estado financió la parte de mayor incertidumbre en los proyectos de CTI liberando a financiadores externos privados del alto riesgo presente en esta etapa.

Tabla 6.2 Resultados sobre fuentes de financiación de ACTI: nivel de inversión – II

Variables	Recursos de la banca privada		Recursos de fondos de capital privado	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Empresa beneficiaria	-0,0638 (0,327)	-0,191 (0,354)	-0,102*** (0,0159)	-0,0879*** (0,0295)
Edad	-0,00479*** (0,00112)	-0,000471 (0,00541)	-0,000301 (0,000226)	-7,78e-05 (0,00108)
Empresa mediana	0,396*** (0,0343)	0,257*** (0,0794)	0,0179** (0,00850)	0,00448 (0,0151)
Empresa grande	0,877*** (0,0659)	0,282 (0,192)	0,00904 (0,0113)	-0,0920* (0,0497)
Personal altamente calificado	-1,083*** (0,192)	-0,206 (0,226)	-0,0522** (0,0211)	-0,0182 (0,0311)
Intensidad en ACTI (In)	16,20*** (3,911)	15,79*** (4,012)	0,700*** (0,259)	0,702** (0,282)
Capital (In)	0,0292*** (0,00867)	-0,0102 (0,0189)	0,000938 (0,00165)	-0,00347 (0,00363)
Coopera para innovar	1,366*** (0,114)	1,235*** (0,131)	0,0541*** (0,0147)	0,0477** (0,0220)
Efectos fijos de tiempo	Si	Si	Si	Si
Efectos fijos de:	KIS	Empresa	KIS	Empresa

***, ** y * representan significancia estadística al 99, 95 y 90% respectivamente,

Errores estándar robustos entre paréntesis

Así mismo, resulta interesante que en Colombia se presente un efecto contrario y significativo al *signaling*. Este concepto, expuesto por Levy & Lazarovich (1995) y Grenadier & Malenko (2011), se puede aplicar al mercado de la financiación de la innovación cuando una empresa accede a recursos externos; la financiación obtenida se vuelve una señal que llega al resto de actores, incluidos los financiadores, expresando la alta probabilidad de que el proyecto de innovación sea exitoso y tenga un retorno a la inversión positivo. Esto hace más probable que los demás financiadores potenciales que reciban esta señal estén dispuestos a invertir en el proceso innovador de la empresa, especialmente los inversionistas de capital de riesgo.

Una posible explicación a estos resultados de desplazamiento de los fondos privados externos por parte de los públicos recae en lo expuesto por Sierra et al (2009) y Monroy (2006), donde se discute que el sistema financiero colombiano es poco desarrollado y se encuentra desarticulado del SNCCTeI o tiene poco interés en financiar este tipo de inversiones de alto riesgo. Por otra parte, es posible suponer que las empresas que reciban financiación pública encuentren mejores condiciones para acceso y pago de intereses (en aquellos casos que se presenten) en comparación con la financiación privada externa, generando incentivos para que se vuelquen a usar recursos propios o volver a acceder a recursos públicos antes de recurrir al sistema financiero.

Ahora bien, aunque los resultados que se observan en la Tabla 6.1 muestran que la financiación pública aumenta el nivel de inversión empresarial en CTI, cuando se analiza el indicador de porcentaje de participación de la inversión propia sobre el total del monto invertido en ACTI, se aprecia que la financiación pública de la innovación reduce la participación del capital propio de la empresa en inversiones científicas en 10 y 15% (Tabla 6.3, columnas 1 y 2). En cuanto a la participación de los recursos de inversión provenientes de otras empresas, no se aprecia efecto alguno de la financiación pública.

Es importante resaltar que este resultado no indica que la financiación pública de CTI desincentive la inversión de las firmas en innovación, puesto que el indicador no expresa nivel sino proporción. Por ende, los resultados pueden explicarse de forma intuitiva puesto que los fondos públicos aumentan el monto total de la inversión en actividades científicas, tecnológicas y de innovación, generando que el cociente de la Ecuación 7 aumente, independientemente del cambio en el nivel de inversión empresarial en CTI. Del mismo modo, vale la pena aclarar que cuando ambos montos aumentan o disminuyen (privado y total), el porcentaje de participación de cada uno cambia. En síntesis, los recursos provenientes de la financiación pública tienen efectos beneficiosos que aumentan el valor de las inversiones financiadas con recursos propios y el monto total de inversión en CTI.

$$\% \text{ de participación de recursos propios} = \frac{\$ \text{ Propio}}{\$ \text{ Total}} \quad (7)$$

Tabla 6.3 Resultados sobre fuentes de financiación de ACTI: porcentaje de participación de las fuentes de recursos – I

Variables	Recursos propios		Recursos de otras empresas	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Empresa beneficiaria	-0,104*** (0,0216)	-0,150*** (0,0257)	0,00131 (0,00348)	0,00101 (0,00365)
Edad	0,000262** (0,000127)	-0,000242 (0,000608)	-2,69e-06 (1,12e-05)	-2,18e-05 (1,81e-05)
Empresa mediana	0,0714*** (0,00447)	0,0187* (0,0105)	0,000767** (0,000356)	0,000563 (0,000704)
Empresa grande	0,148*** (0,00746)	0,0668*** (0,0219)	-0,000264 (0,000480)	-0,00201 (0,00206)
Personal altamente calificado	0,229*** (0,0378)	0,145*** (0,0503)	-0,00232** (0,000926)	0,000222 (0,00108)
Intensidad en ACTI (In)	0,912*** (0,245)	0,782*** (0,226)	0,0445*** (0,0123)	0,0413*** (0,0130)
Capital (In)	0,00932*** (0,00103)	0,00133 (0,00232)	-5,01e-05 (7,21e-05)	9,42e-05 (0,000148)
Coopera para innovar	0,438*** (0,00848)	0,348*** (0,0109)	0,00212*** (0,000717)	0,00194** (0,000908)
Efectos fijos de tiempo	Si	Si	Si	Si
Efectos fijos de:	KIS	Empresa	KIS	Empresa

***, ** y * representan significancia estadística al 99, 95 y 90% respectivamente,

Errores estándar robustos entre paréntesis

En cuanto al porcentaje de participación de las demás fuentes financieras externas a la empresa, se aprecia que la financiación pública de la innovación, además de desplazar el uso de recursos privados externos (Tabla 6.2), también reduce su participación en el total del monto invertido en ACTI. Para el caso del porcentaje de participación de los recursos de la banca privada se observa una disminución del 6,5% (Tabla 6.4, columnas 1 y 2) derivada del ingreso de fondos públicos para innovar. De igual manera se observa que la financiación pública reduce la participación de los fondos de capital privado en 4,4% y 3% en los modelos de efectos fijos de sector tecnológico y de empresas, respectivamente. Estos resultados expresan la consistencia del efecto desplazamiento (*crowding out*) que trae la financiación pública de la innovación sobre las demás fuentes privadas de recursos en Colombia.

Tabla 6.4 Resultados sobre fuentes de financiación de ACTI: porcentaje de participación de las fuentes de recursos – II

Variables	Recursos de la banca privada		Recursos de fondos de capital privado	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Empresa beneficiaria	-0,0649*** (0,0145)	-0,0657*** (0,0166)	-0,00447*** (0,000687)	-0,00301*** (0,000881)
Edad	-0,000301*** (7,02e-05)	-0,000112 (0,000298)	-2,81e-05** (1,33e-05)	3,29e-05 (6,01e-05)
Empresa mediana	0,0242*** (0,00237)	0,0173*** (0,00583)	0,00104* (0,000539)	0,000311 (0,000807)
Empresa grande	0,0375*** (0,00406)	0,0223* (0,0119)	0,000659 (0,000753)	-0,00466 (0,00289)
Personal altamente calificado	-0,0673*** (0,0119)	-0,00832 (0,0142)	-0,00311*** (0,00107)	-0,00111 (0,00138)
Intensidad en ACTI (In)	0,885*** (0,217)	0,864*** (0,223)	0,0216*** (0,00809)	0,0219** (0,00904)
Capital (In)	0,00105* (0,000545)	-0,000967 (0,00123)	2,06e-05 (0,000104)	-0,000181 (0,000250)
Coopera para innovar	0,0797*** (0,00667)	0,0757*** (0,00795)	0,00284*** (0,000846)	0,00256** (0,00126)
Efectos fijos de tiempo	Si	Si	Si	Si
Efectos fijos de:	KIS	Empresa	KIS	Empresa

***, ** y * representan significancia estadística al 99, 95 y 90% respectivamente,

Errores estándar robustos entre paréntesis

Por último, vale la pena mencionar las ventajas que trae la cooperación con los demás actores del SNCCTeI para: i) aumentar la probabilidad de innovar radical e incrementalmente en alrededor de 2% cada una respectivamente (Tabla 4, columnas 1, 2, 3 y 4), ii) aumentar la probabilidad de registrar PI en 18% (Tabla 4, columnas 5 y 6), iii) aumentar la probabilidad de innovación no tecnológica en porcentajes que van desde el 18% hasta el 35% según el tipo de innovación (Tabla 5); y iv) aumenta el acceso a recursos de financiación privados externos, siendo que las empresas cooperadoras usan cerca del doble de recursos provenientes de la banca privada (Tabla 6.2, columnas 1 y 2) y alrededor de 50% más en fondos de capital (Tabla 6.2, columnas 3 y 4) en comparación con empresas que no cooperan o están aisladas del sistema de innovación y competitividad colombiano.

7. Conclusiones e implicaciones de política pública

Los resultados encontrados sugieren que el objetivo principal de los programas públicos de financiación de la innovación no se está cumpliendo a cabalidad, ya que sus efectos e implicaciones no son de carácter tecnológico, sino que las empresas beneficiarias están generando, en su mayoría, resultados de innovación no tecnológica. También se observa el gran efecto *crowding in* que tiene la financiación pública sobre los recursos propios para invertir en ACTI en las empresas beneficiarias, ya que éstas invierten el doble o más en esta área en comparación con las no beneficiarias. Así mismo, se evidencia un efecto contrario, *crowding out*, que tienen los recursos públicos para la innovación sobre la financiación de ACTI usando recursos externos a la empresa.

El efecto *crowding out* que se observa con la financiación externa privada sugiere que la política pública de financiación de la innovación no ha logrado dar un cambio hacia la visión alternativa discutida en la investigación, puesto que los financiadores, fondos y bancos privados, en general, no se han integrado a las dinámicas sistémicas de inversión en innovación de las empresas, aun cuando éstas hayan recibido apoyos públicos para ACTI.

Aunque los instrumentos y programas de financiación pública de la innovación se muestran efectivos para aumentar la innovación no tecnológica e incrementar la inversión en ACTI usando recursos propios, los subsidios públicos siguen teniendo poco alcance en la industria nacional bien sea por las pocas empresas beneficiarias o por el desconocimiento de la existencia de dichos programas por parte la comunidad empresarial y del sector financiero. De igual forma, el poco interés de la mayoría de las empresas colombianas por una estrategia competitiva basada en la innovación sugerido por Malaver & Vargas (2004) y Sierra et al (2009) podría explicar la aparente baja necesidad de recursos financieros para innovar.

Por otra parte, los resultados arrojaron otras conclusiones de especial interés. La mayor integración y cooperación dentro del SNCCTeI parece generar mayores probabilidades de innovar de forma radical e incremental. De igual manera, la cooperación para innovar se muestra como un catalizador de la financiación externa de actividades científicas, tecnológicas y de innovación. Por otro lado, es necesario observar detenidamente el panorama de la participación del personal altamente calificado en las empresas, ya que los resultados encontrados tienen un efecto nulo o

negativo sobre la innovación tecnológica, sobre todo si se toma en cuenta que este rubro tiende a aumentar notablemente los costos de la innovación. Igualmente, es necesario indagar las razones de su baja participación dentro del total de empleados de la empresa.

En cuanto a implicaciones de política pública, a partir de los hallazgos se identifican grandes retos para lograr que los programas de financiación pública de la innovación logren completamente su cometido. En principio, es necesario partir de una formulación de políticas públicas de cambio transformativo (Schot & Steinmueller, 2016) enfocadas tanto en crear conciencia de la importancia de la innovación tecnológica en las empresas, como la articulación público-privada para la financiación de proyectos de innovación empresarial que permitan responder de manera más adecuada a los retos que cada sector, región o empresa enfrentan. Igualmente, es necesaria la creación de vínculos horizontales entre el sector financiero y los procesos de innovación empresarial (Mazzucato, 2011), de manera tal que se logre una complementariedad entre financiación pública y privada para actividades innovadoras en las empresas. Una solución, al menos inicial, consistiría en la aplicación de normativas que impongan que la banca disponga de un porcentaje determinado de su cartera crediticia destinado a financiar actividades de innovación en empresas.

De igual forma, es importante continuar la implementación de las iniciativas que dinamizan el SNCCTeI y la integración productiva y financiera entre las empresas, el Estado, las universidades y los centros de investigación, tales como las iniciativas de Estrategia de Especialización Inteligente de Bogotá y Medellín, entre otras, así como las iniciativas clúster a nivel nacional haciendo especial énfasis en la articulación en sentido financiero entre las partes y buscando integrar a entidades del sector financiero a estas iniciativas.

Por último, los resultados pueden sugerir que dada la propensión que existe hacia la innovación no tecnológica, se podrían implementar políticas de apoyo financiero enfocadas al impulso de este tipo de innovación; aprovechando y expandiendo las capacidades ya existentes en este ámbito para así fomentar la competitividad regional, nacional e internacional, basándose en las ventajas no tecnológicas de las empresas.

8. Limitaciones y futuras áreas de investigación

Aunque los modelos econométricos son adecuados y los resultados de las estimaciones son consistentes, valdría la pena que la base de datos de la EDIT incorporara variables que permitieran realizar metodologías de evaluación de impacto tales como la regresión discontinua o identificar una variable instrumental válida y relevante para una estimación de VI.

En este sentido se podría sugerir la incorporación de la variable “solicitó financiación pública pero no accedió”, o idealmente se podría pensar acceder a los registros administrativos de entidades como Colciencias o Innpulsa en donde se pueda consultar una puntuación con un umbral que indique la aceptación o rechazo de las convocatorias de programas de financiación pública de la innovación.

De igual forma, un ejercicio de estimación panel con variable instrumental se llevó a cabo y se muestra en el Anexo 8. Para este caso la variable de empresa beneficiaria se instrumentó con la variable “tuvo la empresa intención de solicitar recursos públicos para innovar”; sin embargo, las estimaciones no son del todo confiables puesto que esta variable tiene problemas de valores perdidos por su incorporación en la encuesta en el año 2010 (perdiendo 4 años de observación) y porque no todas las empresas contestaron la pregunta. Por otro lado, aunque esta variable es la que más se acerca a cumplir los supuestos de relevancia y exogeneidad, se podría argumentar que si una empresa tuvo intención de solicitar financiación pública para innovar es porque conoce e interactúa con el SNCCTeI y ya está inmersa en actividades de CTI que impulsan su desempeño innovador; razón por la cual se descartó esta variable como instrumento válido.

Otra fuente de datos con la cual valdría la pena contar sería la caracterización de las dinámicas de los financiadores de la innovación. En este sentido se podría sugerir la realización de encuestas dirigidas al sector financiero y de capital de riesgo que permitan recopilar esta información

En lo referente a futuras áreas de investigación, vale la pena indagar más a profundidad la razón de los efectos del personal altamente capacitado en la innovación tecnológica mostrados en la sección de resultados, las dinámicas de la cooperación en el SNCCTeI en Colombia y estudios de caso de la relación entre financiación pública y externa privada.

9. Referencias

- Aboal, D. & Garda, P. (2015). Does public financial support stimulate innovation and productivity? An impact evaluation. *CEPAL Review*.
- Acto Legislativo 005 de 2011. Por el cual se constituye el Sistema General de Regalías, se modifican los artículos 360 y 361 de la constitución política y se dictan otras disposiciones sobre el régimen de regalías y compensaciones. *Congreso de la República*, Tumaco, 18 de julio de 2011.
- Aranguren, M.J., Morgan, K., Wilson, J.R. (2016). Implementar la RIS3: El caso del País Vasco. *Cuadernos Orkestra*, 2016/17
- Aschhoff, B (2009). The effect of subsidies on R&D investment and success: do subsidy history and size matter? *ZEW Discussion Papers*, No. 09-032, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW), Mannheim
- Asheim, B. T., & Isaksen, A. (2002). Regional innovation systems: the integration of local ‘sticky’ and global ‘ubiquitous’ knowledge. *The Journal of Technology Transfer*, 27(1), 77-86.
- Benavente, J. M., Crespi, G., & Maffioli, A. (2007). Public support to firm-level innovation: an evaluation of the FONTEC program. *Documento de trabajo* (05/07).
- Binelli, C., & Maffioli, A. (2007). A Micro-Econometric Analysis of Public Support to Private R&D in Argentina. *International Review of Applied Economics*, 21(3), 339-359.
- Barona-Zuluaga, B., Rivera-Godoy, J. A., Aguilera-Cifuentes, C. I., & Garizado-Román, P. A. (2015). Funding for innovation in Colombia. *Entramado*, 11(1), 80-93.
- Barona. B., & Mejía, A. G. (2011). Aspectos conceptuales y empíricos de la financiación de nuevas empresas en Colombia. *Cuadernos de Administración*, 26(43), 81-98
- Becchetti, L., & Sierra G, J. H. (2002). Financing innovation: trodden and unexplored paths. *Cuadernos de Administración*, 15(24).
- Cameron, A., & Trivedi, P. (2009). Microeconometrics using Stata. Vol. 5. *New York: Stata Press College Station, TX*
- Cin, B. C., Kim, Y. J., & Vonortas, N. S. (2017). The impact of public R&D subsidy on small firm productivity: evidence from Korean SMEs. *Small Business Economics*, 48(2), 345-360.
- Clavijo, S. (2003). Crecimiento, Productividad y la ‘Nueva Economía’: Implicaciones para Colombia. *Borradores de Economía*, 228.

- Chica, R. (1996). Crecimiento de la productividad y cambio técnico en la industria manufacturera colombiana: 1974-1994 El crecimiento de la productividad en Colombia: Resultados del estudio sobre determinantes del crecimiento de la productividad. Bogotá: DNP – COLCIENCIAS - FONADE.
- Colciencias (2016). Documento N° 1602. Actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. Bogotá 2016.
- Colciencias (2018). Convocatorias COLCIENCIAS, Bogotá, Colombia. [EN LÍNEA], disponible en: <http://www.colciencias.gov.co/convocatorias/todas> [Recuperado el 6 de junio de 2018]
- Colombia Competitiva (2016). Sistema Nacional de Competitividad, Ciencia, Tecnología e Innovación. [EN LÍNEA] disponible en: <http://www.colombiacompetitiva.gov.co/sneci/Paginas/quienes-somos.aspx> [Recuperado el 11 mayo de 2018].
- Cornell University, INSEAD, and WIPO (2017): The Global Innovation Index 2017: Innovation Feeding the World, Ithaca, Fontainebleau, and Geneva.
- Crespi, G., Garone, L. F., Maffioli, A., & Melendez, M. (2015). Long-Term Productivity Effects of Public Support to Innovation in Colombia. *Emerging Markets Finance and Trade*, 51(1), 48-64.
- Crespi, G., Maffioli, A., & Meléndez, M. (2011). Public Support to Innovation: The Colombian COLCIENCIAS'Experience. Inter-American Development Bank.
- Crespi, G., Maffioli, A., Mohnen, P., & Vázquez, G. (2011). Evaluating the impact of science, technology and innovation programs: a methodological toolkit. Inter-American Development Bank.
- Czarnitzki, D., & Fier, A. (2002). Do innovation subsidies crowd out private investment? Evidence from the German service sector (No. 02-04). *ZEW Discussion Papers*.
- David, P. A., Hall, B. H., & Toole, A. A. (2000). Is public R&D a complement or substitute for private R&D? A review of the econometric evidence. *Research policy*, 29(4-5), 497-529.
- Dodgson, M., Hughes, A., Foster, J., & Metcalfe, S. (2011). Systems thinking, market failure, and the development of innovation policy: The case of Australia. *Research Policy*, 40(9), 1145-1156.
- Dowrick, S., & Rogers, M. (2002). Classical and technological convergence: Beyond the Solow-Swan growth model. *Oxford Economic Papers*, 54(3), 369-385.

- Frank, M. Z., & Goyal, V. K. (2003). Testing the pecking order theory of capital structure. *Journal of financial economics*, 67(2), 217-248.
- Freeman, C. & Soete, L. (1997) *The economics of industrial innovation* (3rd edition), Routledge, Oxon.
- Galia, F., & Legros, D. (2004). Complementarities between obstacles to innovation: evidence from France. *Research policy*, 33(8), 1185-1199.
- Galindo-Rueda, F. and F. Verger (2016). OECD Taxonomy of Economic Activities Based on R&D Intensity. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, 2016/04, OECD Publishing, Paris.
- González, X., & Pazó, C. (2008). Do public subsidies stimulate private R&D spending?. *Research Policy*, 37(3), 371-389.
- Grenadier, S. R., & Malenko, A. (2011). Real options signaling games with applications to corporate finance. *The Review of Financial Studies*, 24(12), 3993-4036.
- Grossman, G. M., & Helpman, E. (1993). *Innovation and growth in the global economy*. MIT press.
- Shulin Gu & Bengt-Åke Lundvall (2006) Introduction, *Innovation*, 8:1-2, 1-26, DOI: 10.5172/impp.2006.8.1-2.1
- Hackbarth, D., Hennessy, C. A., & Leland, H. E. (2007). Can the trade-off theory explain debt structure?. *The Review of Financial Studies*, 20(5), 1389-1428.
- Hall, B. H., & Lerner, J. (2010). The financing of R&D and innovation. *Handbook of the Economics of Innovation*, 1, 609-639.
- Hekkert, M. P., Suurs, R. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S., & Smits, R. E. (2007). Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological forecasting and social change*, 74(4), 413-432.
- Hussinger, K. (2008). R&D and subsidies at the firm level: An application of parametric and semiparametric two-step selection models. *Journal of applied econometrics*, 23(6), 729-747.
- Imbens, G. and Wooldridge, J. (2009). Recent Developments in the Econometrics of Program Evaluation. *Journal of Economic Literature*. 47(1): 5-86.
- Innpulsa (2018). Convocatorias, Bogotá, Colombia. [EN LÍNEA], disponible en: <http://www.innpulsa.com/es/ofertas> [Recuperado el 6 de junio de 2018]

- Jalonen, H. (2012). The uncertainty of innovation: a systematic review of the literature. *Journal of Management Research*, 4(1).
- Kraus, A., & Litzenberger, R. H. (1973). A state preference model of optimal financial leverage. *The journal of finance*, 28(4), 911-922.
- Lee, J. D., & Park, C. (2006). Research and development linkages in a national innovation system: Factors affecting success and failure in Korea. *Technovation*, 26(9), 1045-1054.
- Leland, H.E. & Pyle, D.H. (1977). Informational Asymmetries, Financial Structure, and Financial Intermediation. *Journal of Finance* 32, 371-87.
- Levy, H., & Lazarovich-Porat, E. (1995). Signaling theory and risk perception: An experimental study. *Journal of Economics and Business*, 47(1), 39-56.
- López, G. (2010) Evaluación de Impacto de los Programas para PyMEs en América Latina y el Caribe. *Banco Mundial*.
- Lööf, H., & Hesmati, A. (2004). The Impact of Public Funding on Private R&D investment. New Evidence from a Firm Level Innovation Study (Additionality or Crowding Out? On the effectiveness of R&D subsidies).
- Lundvall, B. Å. (1985). Product innovation and user-producer interaction. *The Learning Economy and the Economics of Hope*, 19.
- Lundvall, B. Å. (2007). National innovation systems—analytical concept and development tool. *Industry and innovation*, 14(1), 95-119.
- Malaver, F., & Vargas, M. (2004). Hacia una caracterización de los procesos de innovación en la industria colombiana. Los resultados de un estudio de casos. Academia. *Revista Latinoamericana de Administración*, (33).
- Malerba, F. (2002). Sectoral systems of innovation and production. *Research policy*, 31(2), 247-264
- Martin, S., & Scott, J. T. (2000). The nature of innovation market failure and the design of public support for private innovation. *Research policy*, 29(4-5), 437-447.
- Mazzucato, M. (2011). The Entrepreneurial State. *Soundings*, 49(49), 131-142.
- Mazzucato, M. (2013). Financing innovation: creative destruction vs. destructive creation. *Industrial and Corporate Change*, 22(4), 851-867.
- Mazzucato, M., & Semieniuk, G. (2017). Public financing of innovation: new questions. *Oxford Review of Economic Policy*, 33(1), 24-48.

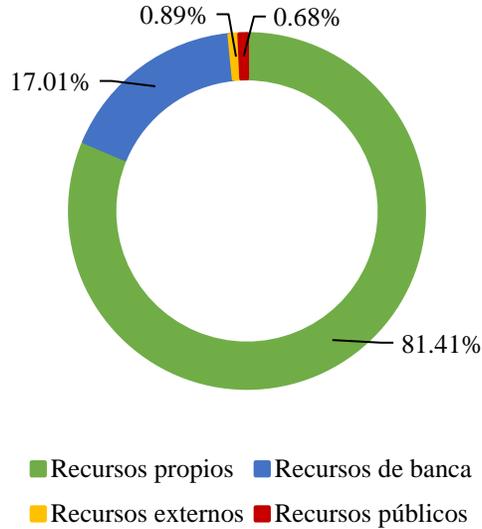
- Medina, P., Meléndez, M., & Seim, K. (2002). Productivity dynamics of the Colombian manufacturing sector. *Documento CEDE*.
- Modigliani, F., & Miller, M. H. (1958). The cost of capital, corporation finance and the theory of investment. *The American Economic Review*, 48(3), 261-297.
- Mohnen, P., Palm, F. C., Van Der Loeff, S. S., & Tiwari, A. (2008). Financial constraints and other obstacles: are they a threat to innovation activity? *The Economist*, 156(2), 201-214.
- Monroy, S. E. (2006). Nuevas políticas y estrategias de articulación del sistema de ciencia, tecnología e innovación colombiano. *INNOVAR. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, 16(28).
- Myers, S. C., & Majluf, N. S. (1984). Corporate financing and investment decisions when firms have information that investors do not have. *Journal of financial economics*, 13(2), 187-221.
- O'Brien, J. P. (2003). The capital structure implications of pursuing a strategy of innovation. *Strategic Management Journal*, 24(5), 415-431.
- OECD/Eurostat (2005). Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data, 3rd Edition, The Measurement of Scientific and Technological Activities, *OECD Publishing*, Paris,
- Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología – OCyT (2016). Indicadores de Ciencia y Tecnología. Colombia 2016. ISSN 2323-072X
- Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología – OCyT (2017). Indicadores de Ciencia y Tecnología. Colombia 2017. ISSN 2323-072X
- O'Sullivan, M. (2005) Finance and Innovation. In J. Fagerberg, D. Mowery, and R. Nelson (Eds.), *The Oxford Handbook of Innovation*. Oxford, Oxford University Press.
- Özçelik, E., & Taymaz, E. (2008). R&D support programs in developing countries: The Turkish experience. *Research Policy*, 37(2), 258-275.
- Padilla-Perez, R., Vang, J., & Chaminade, C. (2009). Regional innovation systems in developing countries: Integrating micro and meso-level capabilities. *Handbook of Innovation Systems and Developing Countries: Building domestic capabilities in a global setting*, 140.
- Paul, S., Whittam, G. & Wyper, J. (2007). The pecking order hypothesis: does it apply to start-up firms? in *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 14(1): 8-21.

- Pinzón, A. (2017). Presiones de competencia, heterogeneidades tecnológicas y sus efectos en los esfuerzos de innovación: el caso de la industria colombiana. *Trabajo de grado de maestría*. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- Pérez, C. (2004) Finance and technical change: A long-term review. In H. Hanusch and A. Pyka (Eds.), *The Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics*. Edward Elgar, Cheltenham.
- Schot, J., & Steinmueller, E. (2016). Framing innovation policy for transformative change: Innovation policy 3.0. *SPRU Science Policy Research Unit, University of Sussex: Brighton, UK*.
- Schumpeter, J. A. (1951). Essays: On entrepreneurs, innovations, business cycles, and the evolution of capitalism. *Transaction Publishers*.
- Schumpeter, J. A. (2002). Ciclos económicos: análisis teórico, histórico y estadístico del proceso capitalista (Vol. 5). Universidad de Zaragoza.
- Sierra Gonzalez, J. H. (2014). Financing innovation in bio-pharma: a sectoral systems approach (*Doctoral dissertation, University of Manchester*).
- Sierra, J., Malaver, F. & Vargas, M. (2009) “La financiación de la innovación: un análisis a partir de la encuesta de innovación de Bogotá y Cundinamarca”, en J. Robledo, F. Malaver & M. Vargas (Eds.), *Encuestas, datos y descubrimiento de conocimiento sobre la innovación en Colombia*, Bogotá, Colciencias.
- Smith, K. “Measuring innovation”. *The Oxford handbook of innovation*. Fagerberg, Mowery & Nelson, (Eds.) Oxford University Press. (2005).
- Soete, L., Verspagen, B., & Ter Weel, B. (2010). “Systems of innovation”. En *Handbook of the Economics of Innovation* (Vol. 2, pp. 1159-1180). North-Holland
- Solow, R. M. (1957). Technical change and the aggregate production function. *The review of Economics and Statistics*, 312-320.
- Stiglitz, J. E. (1993). The role of the state in financial markets. *The World Bank Economic Review*, 7 (suppl_1), 19-52.
- Tecnova (2018). Convocatoria para fomento de innovación y desarrollo tecnológico en las empresas. Bogotá, Colombia. [EN LÍNEA], disponible en: <http://www.tecnova.org/convocatoria-sena-fomento-a-la-innovacion-y-el-desarrollo-tecnologico-2015-2017/> [Recuperado el 6 de junio de 2018]

- Vanacker, T. R., & Manigart, S. (2010). Pecking order and debt capacity considerations for high-growth companies seeking financing. *Small Business Economics*, 35(1), 53-69.
- Vincente-Lorente, JD. (2001). Specificity and opacity as resource-based determinants of capital structure: evidence for Spanish manufacturing firms. *Strategic Management Journal* 22(2): 157–177.
- World Economic Forum. (2017). The Global Competitiveness Report. Geneva.
- Wooldridge, J. M. (2010). Econometric analysis of cross section and panel data. *MITpress*.
- Zambrano Vargas, S. M., & Acuña Corredor, G. A. (2013). Theory of the Pecking Order versus theory of the Trade Off for the company Coservicios SAESP. *Apuntes del CENES*, 32(56), 205-236.

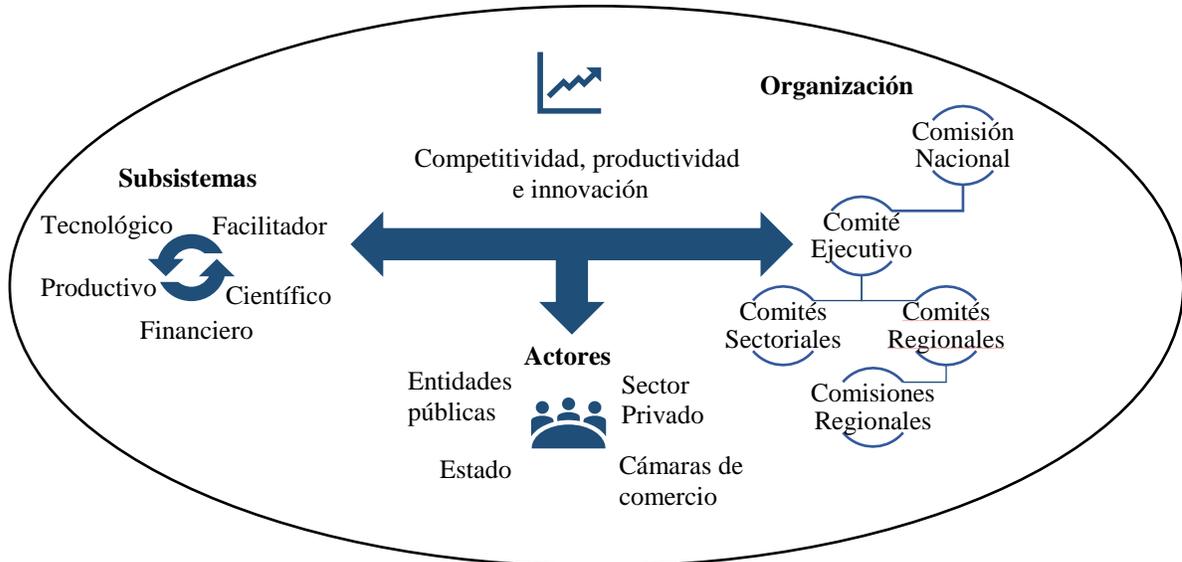
10. Anexos

Anexo 1. Estructura de la financiación de actividades de innovación de empresas manufactureras colombianas. 2007-2016



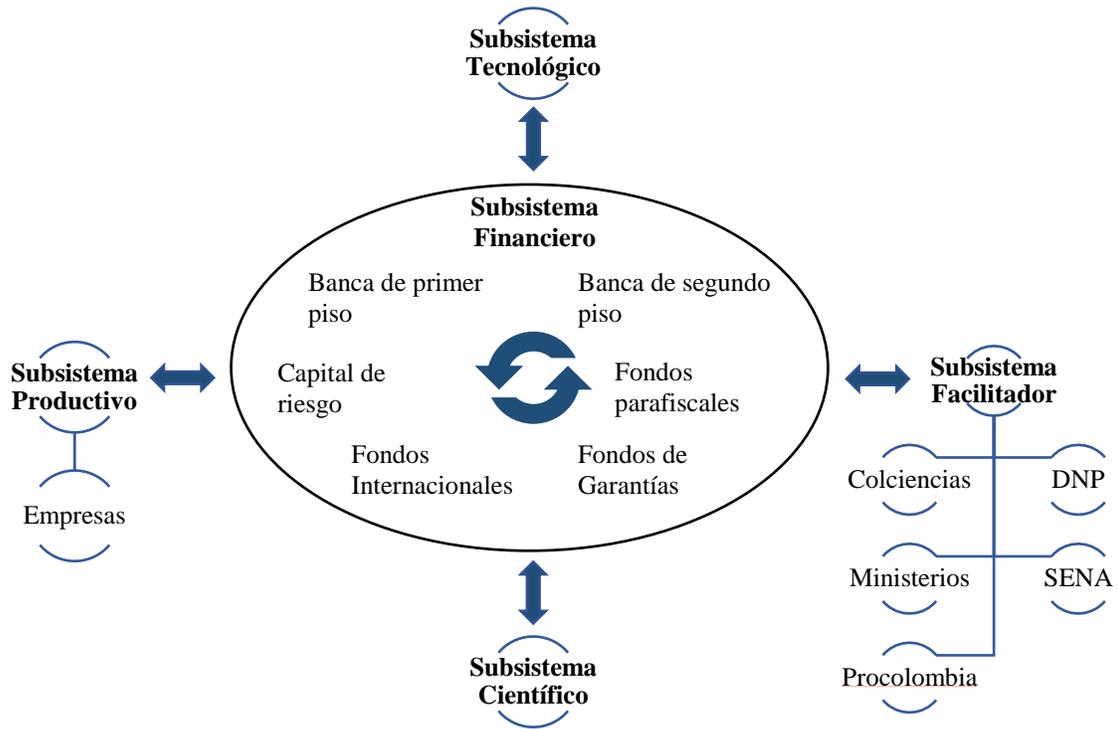
Fuente: Cálculos propios basados en EAM-EDIT (2006-2017)

Anexo 2. Estructura general del SNCCTeI



Fuente: Elaboración propia con base en Colciencias (2016)

Anexo 3. Relaciones del Subsector Financiero



Fuente: Elaboración propia con base en Colciencias (2016)

Anexo 4. Rasgos característicos adicionales de las empresas: cruces por tamaño de empresa y rangos de edad

Las siguientes tablas muestran las descriptivas cruzadas por tamaño de la empresa y rangos de edad:

Tabla A4.1. Descriptivos por tamaño²⁵ de empresa

Tamaño	Pequeña	Mediana	Grande
Intensidad en ACTI	0,009	0,014	0,018
Personal altamente calificado	0,019	0,025	0,036
Innovación radical	0,003	0,009	0,027
Innovación incremental	0,002	0,01	0,021
Registros de PI	0,41	0,399	0,404
Innovó en logística	0,12	0,241	0,387
Innovó en métodos organizacionales	0,067	0,14	0,243
Innovó en mercadeo	0,054	0,097	0,192

Fuente: Cálculos propios basados en EAM-EDIT (2006-2017)

Tabla A4.2. Descriptivos por rangos de edad²⁶

Rangos de edad	Jóvenes	En consolidación	Consolidadas
Intensidad en ACTI	0,016	0,014	0,011
Personal altamente calificado	0,017	0,019	0,025
Innovación radical	0,012	0,007	0,008
Innovación incremental	0,009	0,004	0,008
Registros de PI	0,62	0,465	0,368
Innovó en logística	0,215	0,178	0,195
Innovó en métodos organizacionales	0,121	0,102	0,115
Innovó en mercadeo	0,095	0,069	0,088

Fuente: Cálculos propios basados en EAM-EDIT (2006-2017)

²⁵ También se realiza por el criterio de número de empleados.

²⁶ Empresas jóvenes < 15 años; En consolidación entre 15 y 20 años y consolidadas < 20 años.

Anexo 5. Efectos Aleatorios

El modelo de efectos aleatorios (EA) maneja una especificación similar al modelo de efectos fijos, con la diferencia que EA incorpora un “componente aleatorio” por cada variable. Este modelo se utiliza para solucionar posibles problemas de heterocedasticidad y vuelve el error homocedástico a través de cambios en Y y D generando un cambio en los estimadores para así lograr quitar los problemas de autocorrelación serial siempre y cuando se cumplan los siguientes supuestos:

Supuestos:

- Correlación nula entre las variables explicativas observadas y el efecto no observado:

$$Cov(X_{i,t}, C_i) = 0 \forall t = 1, 2, \dots, T$$
- Y de hecho una suposición de independencia media condicional más fuerte se hace necesaria: $E(C_i | X_{i,1}, \dots, X_{i,t}) = E(C_i)$
- Donde C_i es el efecto aleatorio individual y que se asume $Corr = 0$ con $X_{i,t}$

A continuación, se presentan los resultados del modelo de aleatorios fijos realizado:

Tabla A5.1. Resultados sobre innovación tecnológica: efectos aleatorios

Variables	Innovación radical	Innovación incremental	Registro de PI
Empresa beneficiaria	0,0152 (0,0150)	0,0160 (0,0159)	0,0265* (0,0147)
Edad	1,21e-05 (5,09e-05)	6,42e-05 (4,54e-05)	0,000110* (5,73e-05)
Empresa mediana	0,00225 (0,00141)	0,00407*** (0,00135)	0,000638 (0,00116)
Empresa grande	0,0111*** (0,00333)	0,00608** (0,00263)	0,0105*** (0,00256)
Personal altamente calificado	-0,00717 (0,00601)	-0,0187*** (0,00635)	0,00905 (0,0160)
Intensidad en ACTI (In)	0,0768*** (0,0274)	0,0471*** (0,0182)	-0,00204 (0,00918)
Capital (In)	0,000941** (0,000393)	0,000789*** (0,000295)	0,00151*** (0,000429)
Coopera para innovar	0,0209*** (0,00305)	0,0214*** (0,00317)	0,00615*** (0,00236)
Dummies de tiempo	Si	Si	Si

***, ** y * representan significancia estadística al 99, 95 y 90% respectivamente,

Errores estándar robustos entre paréntesis

Tabla A5.2. Resultados sobre innovación no tecnológica: efectos aleatorios

Variables	Innovó en métodos de producción o logística	Innovó en métodos organizacionales	Innovó en métodos de mercadeo
Empresa beneficiaria	0,110*** (0,0332)	0,0880*** (0,0303)	0,0524* (0,0297)
Edad	-0,000156 (0,000202)	-4,00e-05 (0,000162)	0,000478*** (0,000161)
Empresa mediana	0,0563*** (0,00681)	0,0330*** (0,00529)	0,0187*** (0,00505)
Empresa grande	0,118*** (0,0115)	0,0708*** (0,00959)	0,0580*** (0,00910)
Personal altamente calificado	0,0290 (0,0445)	0,0318 (0,0384)	0,0228 (0,0399)
Intensidad en ACTI (In)	0,916*** (0,233)	0,430*** (0,103)	0,305*** (0,0699)
Capital (In)	0,00707*** (0,00152)	0,00419*** (0,00123)	-0,000340 (0,00122)
Coopera para innovar	0,352*** (0,0118)	0,248*** (0,0101)	0,197*** (0,00945)
Dummies de tiempo	Si	Si	Si

***, ** y * representan significancia estadística al 99, 95 y 90% respectivamente,

Errores estándar robustos entre paréntesis

Tabla A5.3. Resultados sobre fuentes de financiación de ACTI -Nivel de inversión: efectos aleatorios

Variables	Recursos propios	Recursos de otras empresas	Recursos de la banca privada	Recursos de fondos de capital privado
Empresa beneficiaria	1,581*** (0,369)	0,0869 (0,0963)	-0,136 (0,356)	-0,0964*** (0,0198)
Edad	0,00929*** (0,00255)	6,53e-05 (0,000327)	-0,00412** (0,00178)	-0,000261 (0,000265)
Empresa mediana	0,950*** (0,0737)	0,0106 (0,00817)	0,387*** (0,0482)	0,0183* (0,0103)
Empresa grande	2,604*** (0,144)	-0,00257 (0,0127)	0,792*** (0,102)	0,00121 (0,0147)
Personal altamente calificado	2,859*** (0,683)	-0,0521** (0,0230)	-0,651*** (0,202)	-0,0420* (0,0255)
Intensidad en ACTI (In)	19,32*** (5,240)	1,156*** (0,411)	15,98*** (3,989)	0,703** (0,275)
Capital (In)	0,186*** (0,0182)	0,00153 (0,00184)	0,0272** (0,0117)	0,00105 (0,002)
Coopera para innovar	5,140*** (0,154)	0,0364** (0,0169)	1,298*** (0,129)	0,0526*** (0,0188)
Dummies de tiempo	Si	Si	Si	Si

***, ** y * representan significancia estadística al 99, 95 y 90% respectivamente,

Errores estándar robustos entre paréntesis

Tabla A5.4. Resultados sobre fuentes de financiación de ACTI – Porcentaje de participación de las fuentes de recursos: efectos aleatorios

Variables	Recursos propios	Recursos de otras empresas	Recursos de la banca privada	Recursos de fondos de capital Privado
Empresa beneficiaria	-0,125*** (0,0241)	0,00121 (0,00347)	-0,0655*** (0,0157)	-0,00395*** (0,000759)
Edad	0,000448** (0,000197)	-3,66e-06 (1,36e-05)	-0,000290*** (0,000106)	-2,56e-05 (1,63e-05)
Empresa mediana	0,0641*** (0,00642)	0,000748* (0,000388)	0,0234 *** (0,00333)	0,00104 (0,000640)
Empresa grande	0,144*** (0,0113)	-0,000368 (0,000564)	0,0367*** (0,00602)	0,000261 (0,000931)
Personal altamente calificado	0,213*** (0,0561)	-0,00197* (0,00109)	-0,0426*** (0,0125)	-0,00272** (0,00130)
Intensidad en ACTI (In)	0,841*** (0,237)	0,0435 *** (0,0135)	0,874*** (0,222)	0,0218** (0,00884)
Capital (In)	0,00985*** (0,00145)	-3,29e-05 (8,18e-05)	0,000757 (0,000726)	2,77e-05 (0,000123)
Coopera para innovar	0,393*** (0,0101)	0,00205** (0,000819)	0,0775*** (0,00767)	0,00275** (0,00108)

***, ** y * representan significancia estadística al 99, 95 y 90% respectivamente.

Errores estándar robustos entre paréntesis

Anexo 6. Test de Hausman

La prueba de Hausman es una prueba que permite ver la existencia de diferencias estadísticas entre el modelo de efectos fijos y el modelo de efectos aleatorios cuya hipótesis es la siguiente:

- Ho: Modelo adecuado → Efectos Aleatorios
- Ha: Modelo adecuado → Efectos fijos

$$Hausman = \frac{(\beta_{ef} - \beta_{ea})^2}{\sqrt{var(\beta_{ef})var(\beta_{ea})}}$$

A continuación, se presenta una tabla con los resultados de los Test de Hausman realizados para cada una de las regresiones:

Tabla A6.1. Resultados de la prueba de Hausman

Modelo	χ^2	Valor-p	Modelo adecuado
Innovación radical	111,5	0	EF
Innovación incremental	124,97	0	EF
Registros de PI	147,36	0	EF
Innovación en logística	255,62	0	EF
Innovación en métodos organizacionales	208,10	0	EF
Innovación en mercadeo	165,75	0	EF
Recursos propios - nivel	800,02	0	EF
Recursos de otras empresas- nivel	22,65	0,0918	EF (al 10%)
Recursos de la banca- nivel	62,36	0	EF
Recursos de fondos de capital privado- nivel	22,15	0,098	EF (al 10%)
Recursos propios - participación	765,8	0	EF
Recursos de otras empresas- participación	24,65	0,0901	EF (al 10%)
Recursos de la banca- participación	75,86	0	EF
Recursos de fondos de capital privado- participación	23,32	0,0909	EF (al 10%)

Fuente: elaboración propia

Anexo 7. Resultados de estimaciones de referencia

A continuación, se presentan los resultados de los modelos de referencia:

Tabla A7.1. Resultados sobre innovación tecnológica: probit-efectos marginales

VARIABLES	Innovación radical	Innovación incremental	Registro de PI
Empresa beneficiaria	0,00483* (0,00257)	0,00460* (0,00243)	0,0184 (0,0288)
Edad	-4,78e-05*** (1,63e-05)	-1,72e-05 (1,30e-05)	-0,00459*** (0,000191)
Empresa mediana	0,00392*** (0,000960)	0,00499*** (0,000937)	0,0234*** (0,00639)
Empresa grande	0,0125*** (0,00278)	0,00842*** (0,00216)	0,0748*** (0,0102)
Personal altamente calificado	0,000355 (0,00193)	-0,0134*** (0,00512)	-0,151*** (0,0497)
Intensidad en ACTI (In)	0,0106*** (0,00374)	0,00715*** (0,00258)	1,068*** (0,0523)
Capital (In)	0,000170 (0,000154)	0,000165 (0,000133)	-0,0217*** (0,00164)
Coopera para innovar	0,0182*** (0,00192)	0,0190*** (0,00210)	0,223*** (0,00725)

***, ** y * representan significancia estadística al 99, 95 y 90% respectivamente,

Errores estándar robustos entre paréntesis

Tabla A7.2. Resultados sobre innovación no tecnológica: probit-efectos marginales

VARIABLES	Innovó en métodos de producción o logística	Innovó en métodos organizacionales	Innovó en métodos de mercadeo
Empresa beneficiaria	0.0881*** (0.0266)	0.0508*** (0.0166)	0.0317** (0.0135)
Edad	-0.000648*** (0.000136)	-0.000424*** (9.87e-05)	7.73e-05 (8.19e-05)
Empresa mediana	0.0822*** (0.00542)	0.0473*** (0.00412)	0.0299*** (0.00349)
Empresa grande	0.140*** (0.00965)	0.0893*** (0.00781)	0.0832*** (0.00692)
Personal altamente calificado	-0.00531 (0.0241)	0.0260 (0.0170)	0.0329** (0.0149)
Intensidad en ACTI (In)	1.200*** (0.0551)	0.399*** (0.0215)	0.221*** (0.0611)
Capital (In)	0.00676*** (0.00125)	0.00218** (0.000889)	-0.00292*** (0.000684)
Coopera para innovar	0.372*** (0.00723)	0.256*** (0.00646)	0.205*** (0.00711)

***, ** y * representan significancia estadística al 99, 95 y 90% respectivamente.

Errores estándar robustos entre paréntesis

Tabla A7.3. Resultados sobre fuentes de financiación de ACTI - Nivel de inversión: MCO

VARIABLES	Recursos propios	Recursos de otras empresas	Recursos de la banca privada	Recursos de fondos de capital privado
Empresa beneficiaria	2,136*** (0,344)	0,101 (0,0886)	-0,0578 (0,331)	-0,103*** (0,0161)
Edad	0,00232 (0,00162)	6,89e-05 (0,000250)	-0,00690*** (0,00116)	-0,000471** (0,000224)
Empresa mediana	1,016*** (0,0514)	0,0102 (0,00715)	0,404*** (0,0343)	0,0190** (0,00858)
Empresa grande	2,771*** (0,0922)	0,000363 (0,0107)	0,908*** (0,0659)	0,0124 (0,0114)
Personal altamente calificado	3,329*** (0,508)	-0,0732*** (0,0216)	-1,217*** (0,200)	-0,0603*** (0,0221)
Intensidad en ACTI (In)	21,12*** (5,449)	1,184*** (0,362)	16,53*** (3,970)	0,734*** (0,264)
Capital (In)	0,166*** (0,0126)	0,00106 (0,00149)	0,0209** (0,00834)	2,23e-05 (0,00165)
Coopera para innovar	6,035*** (0,157)	0,0409*** (0,0151)	1,438*** (0,122)	0,0614*** (0,0151)
Constante	-1,412*** (0,150)	-0,0165 (0,0190)	0,0412 (0,0999)	0,0173 (0,0221)

***, ** y * representan significancia estadística al 99, 95 y 90% respectivamente,
 Errores estándar robustos entre paréntesis

Tabla A7.4. Resultados sobre fuentes de financiación de ACTI - Porcentaje de participación de las fuentes de recursos: MCO

Variables	Recursos propios	Recursos de otras empresas	Recursos de la banca privada	Recursos de fondos de capital privado
Empresa beneficiaria	-0.0980*** (0.0217)	0.00129 (0.00348)	-0.0646*** (0.0148)	-0.00452*** (0.000703)
Edad	1.76E-05 (0.000129)	-4.75e-06 (1.06e-05)	-0.000426*** (7.18e-05)	-3.82e-05*** (1.34e-05)
Empresa mediana	0.0747*** (0.00451)	0.000780** (0.000358)	0.0247*** (0.00237)	0.00109** (0.000549)
Empresa grande	0.150*** (0.00749)	-0.000174 (0.000460)	0.0395*** (0.00406)	0.000861 (0.000761)
Personal altamente calificado	0.242*** (0.0394)	-0.00258** (0.00102)	-0.0755*** (0.0125)	-0.00373*** (0.00115)
Intensidad en ACTI (In)	0.980*** (0.258)	0.0448*** (0.0122)	0.904*** (0.221)	0.0235*** (0.00843)
Capital (In)	0.00743*** (0.00102)	-6.52e-05 (7.04e-05)	0.000543 (0.000529)	-3.18e-05 (0.000106)
Coopera para innovar	0.457*** (0.00902)	0.00216*** (0.000714)	0.0839*** (0.00709)	0.00324*** (0.000853)
Constante	-0.00927 (0.0127)	0.000954 (0.000852)	0.0173*** (0.00637)	0.00194 (0.00138)

***, ** y * representan significancia estadística al 99, 95 y 90% respectivamente,

Errores estándar robustos entre paréntesis

Anexo 8. Resultados de las estimaciones de VI

A continuación, se presentan los resultados de las estimaciones panel de efectos fijos de empresa con variable instrumental: instrumento: “tuvo la empresa intención de solicitar recursos públicos para innovar”:

Tabla A8.1. Resultados sobre la innovación: variable instrumental

Variables	Innovación tecnológica			Innovación no tecnológica		
	Innovación radical	Innovación incremental	Registro de PI	Innovó en métodos de producción o logística	Innovó en métodos organizacionales	Innovó en métodos de mercadeo
Empresa beneficiaria	0,0500*** (0,00959)	0,0518*** (0,0104)	0,490*** (0,0268)	0,241** (0,0663)	0,454*** (0,0618)	0,179*** (0,0554)
Edad	-0,000418 (0,000392)	-0,000981** (0,000426)	-0,00490*** (0,00109)	0,00572** (0,00271)	0,00602** (0,00253)	0,00642*** (0,00226)
Empresa mediana	0,00116 (0,00463)	0,00229 (0,00504)	-0,0177 (0,0129)	-0,00464 (0,0320)	-0,0194 (0,0299)	-0,0123 (0,0268)
Empresa grande	-0,00581 (0,00686)	0,00563 (0,00746)	-0,0287 (0,0191)	0,0603 (0,0474)	-0,0606 (0,0442)	-0,0931** (0,0396)
Personal altamente calificado	-0,00662 (0,0166)	-0,00932 (0,0180)	-0,0985** (0,0462)	0,300** (0,114)	0,142 (0,107)	-0,0642 (0,0957)
Intensidad en ACTI (In)	-0,0104 (0,0102)	-0,00332 (0,0111)	0,0486, (0,0285)	0,333** (0,0705)	0,0700 (0,0658)	0,0796 (0,0589)
Capital (In)	-0,000463 (0,00143)	-0,00287* (0,00156)	-0,00401 (0,00399)	0,0129 (0,00989)	-0,0242*** (0,00923)	-0,0115 (0,00827)
Coopera para innovar	0,00201 (0,00212)	0,00157 (0,00231)	0,0103* (0,00592)	0,0323** (0,0147)	0,0394*** (0,0137)	0,0725*** (0,0123)
Efectos fijos de tiempo	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Efectos fijos empresa:	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

***, ** y * representan significancia estadística al 99, 95 y 90% respectivamente,

Errores estándar robustos entre paréntesis

Tabla A8.2. Resultados sobre fuentes de financiación de ACTI: variable instrumental

Variables	Nivel				Participación			
	Recursos propios	Recursos de otras empresas	Recursos de la banca privada	Recursos de fondos de capital privado	Recursos propios	Recursos de otras empresas	Recursos de la banca privada	Recursos de fondos de capital privado
Empresa beneficiaria	3,117*** (0,850)	0,161 (0,138)	0,794 (0,652)	0,0834 (0,0924)	-0.0464 (0.0743)	0.00118 (0.00647)	-0.0558 (0.0431)	0.00947 (0.00580)
Edad	-0,00493 (0,0347)	0,000633 (0,00563)	-0,0127 (0,0266)	0,00118 (0,00377)	0.000737 (0.00303)	-1.15e-05 (0.000264)	-0.000540 (0.00176)	0.000136 (0.000237)
Empresa mediana	0,428 (0,41)	0,0365 (0,0665)	0,0675 (0,315)	0,0122 (0,0446)	0.00562 (0.0359)	0.00222 (0.00313)	0.0104 (0.0208)	4.68e-05 (0.00280)
Empresa grande	2,025*** (0,608)	-0,0221 (0,0985)	-0,122 (0,466)	0,0157 (0,0661)	0.0949* (0.0531)	0.000863 (0.00463)	-0.0214 (0.0308)	2.54e-05 (0.00415)
Personal altamente calificado	2,308 (1,468)	0,177 (0,238)	0,284 (1 126)	0,0576 (0,160)	0.207 (0.128)	0.00328 (0.0112)	0.0380 (0.0743)	0.00270 (0.0100)
Intensidad en ACTI (In)	10,79*** (0,904)	1,818*** (0,147)	12,93** (0,693)	0,332*** (0,0983)	0.251*** (0.0790)	0.0707*** (0.00688)	0.700*** (0.0458)	0.0117* (0.00617)
Capital (In)	-0,119 (0,127)	-0,0148 (0,0206)	0,0205 (0,0973)	0,00683 (0,0138)	-0.00338 (0.0111)	-0.000558 (0.000966)	0.00245 (0.00642)	-3.58e-05 (0.000865)
Coopera para innovar	1,273*** (0,188)	-0,00669 (0,0305)	0,482*** (0,144)	0,012 (0,0204)	0.0658*** (0.0164)	0.000815 (0.00143)	0.0323*** (0.00953)	0.00181 (0.00128)
Efectos fijos de tiempo	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Efectos fijos empresa:	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

***, ** y * representan significancia estadística al 99, 95 y 90% respectivamente,

Errores estándar robustos entre paréntesis

Anexo 9. Glosario

- **ACTI:** actividades científicas, tecnológicas y de innovación.
- **CTI:** ciencia, tecnología e innovación.
- **DANE:** Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- **EAM:** Encuesta Anual Manufacturera.
- **EDIT:** Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica.
- **I+D:** investigación y desarrollo.
- **I+D+i:** investigación, desarrollo e innovación.
- **KIS:** *knowledge intensive sectors*, sector de intensidad en conocimiento (I+D).
- **OCyT:** Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología
- **POT:** *Pecking Order Theory*.
- **PyMES:** pequeñas y medianas empresas.
- **SNCCTeI:** Sistema Nacional de Competitividad, Ciencia, Tecnología e Innovación.
- **TOT:** *Trade Off Theory*.