

Restricciones financieras para la innovación en la industria manufacturera colombiana

Alejandro Becerra F.*

Abstract

This paper aims to analyze one of the main obstacles faced by Colombian firms when investing in innovation activities. The results indicate that imperfections in capital markets to generate investment in innovation activities in Colombia are highly constrained financially, especially activities related to R&D, because they involve greater risk and have no physical assets as collateral. This study suggests that firms are restricted, making it difficult to obtain financial resources. The latter is true especially for smaller firms, domestic firms compared to those who have foreign capital, and not to export over those who do.

Resumen

Este trabajo analiza uno de los principales obstáculos que enfrentan las empresas colombianas a la hora de realizar inversiones en actividades de innovación. Los resultados señalan que las imperfecciones en los mercados de capitales generan que las inversiones en actividades de innovación en Colombia estén altamente restringidas financieramente, en especial las actividades relacionadas a I+D, porque involucran mayor riesgo y no tienen ningún tipo de activo físico como colateral. Este estudio sugiere que las firmas están restringidas, lo cual dificulta la obtención de recursos financieros. Esto último es cierto especialmente para aquellas empresas de menor tamaño, las empresas nacionales frente a aquellas que poseen capital extranjero, y las que no exportan respecto a aquellas que sí lo hacen.

Keywords: Financial constraints, Investment in innovation activities, Own resources, Cash flow, Company size

Palabras clave: Restricciones financieras, Inversión en actividades de innovación, Recursos propios, Flujo de caja y Tamaño de las empresas

Clasificación JEL: G31, G32, O32

Primera versión recibida el 11 de marzo de 2011; versión final aceptada el 25 de mayo de 2011

Coyuntura Económica, Vol. XLI, No. 1, junio de 2011, pp. 185-224. Fedesarrollo, Bogotá - Colombia

* Asistente de Investigación de Fedesarrollo. Correo electrónico: abecerra@fedesarrollo.org.co. El autor agradece de manera especial a María Angélica Arbeláez y a Mónica Parra Torrado por sus sugerencias, ideas, paciencia y apoyo, así como los comentarios de Hernán Vallejo, Juan José Echavarría, Carlos Alejandro Núñez, Omar Arias, y de un evaluador anónimo, los cuales permitieron enriquecer el trabajo.

I. Introducción

La innovación y la difusión del conocimiento son indispensables para el crecimiento y el desarrollo económico de las naciones. Desde Schumpeter (1942) se plantea que el cambio técnico logrado a través de la innovación es una de las principales fuentes para generar crecimiento económico de largo plazo. A nivel micro, la innovación contribuye a mejorar la competitividad de las empresas, ya sea a través de aumentos de la oferta de nuevos productos o procesos, o por medio de la reducción de costos de producción.

Sin embargo, en el momento en que las empresas toman la decisión de invertir en proyectos de innovación se enfrentan a obstáculos que pueden afectar desfavorablemente su actividad innovadora y el buen funcionamiento del sistema de innovación. Uno de los obstáculos identificados en la literatura sobre el tema tiene que ver con las restricciones financieras para las diferentes actividades de innovación. La presencia de asimetrías de información en los mercados de crédito, junto con las características que subyacen a la innovación de ser un proceso costoso y riesgoso, hace que el acceso a la financiación externa para este tipo de proyectos de inversión sea mucho más restringido que para otro tipo de inversiones.

Estos problemas, sumados al hecho de que existe escasez de instrumentos públicos para el finan-

ciamiento de tales inversiones, redundan en que la financiación de las inversiones en innovación sea altamente dependiente de la disponibilidad de los recursos propios de las empresas.

En efecto, la mayoría de los estudios empíricos que analizan la presencia de las restricciones financieras para la innovación en países desarrollados han encontrado que el uso de los recursos propios de las empresas explica una parte importante de los montos invertidos en actividades de innovación (Hall, 1992; Himmelberg y Petersen, 1994; Audretsch y Elston, 2002; Bond et ál., 2003; Cincera, 2003; Ughetto, 2006; Scellato, 2007; Brown et ál., 2009). Para el caso de los países en desarrollo, hay escasez de trabajos empíricos sobre restricciones financieras para las actividades de innovación. Para Colombia, por ejemplo, aunque existen investigaciones empíricas que estudian la relación entre variables financieras de las empresas y el comportamiento inversor para inversiones en capital físico, no hay estudios que analicen estos mismos efectos específicamente para inversiones en actividades de innovación y, en particular, para actividades de investigación y desarrollo (*I+D*).

Dado el impacto que tiene la innovación sobre el crecimiento económico de los países y la importancia de conocer las restricciones que las empresas enfrentan para llevar a cabo actividades de innovación, el presente trabajo contribuye

a complementar la literatura empírica existente para el caso colombiano y constituye un aporte en el tema. En este trabajo se analiza la relación entre las restricciones financieras -y por lo tanto el uso de los recursos internos de las empresas- y el comportamiento inversor en actividades de innovación de una muestra de empresas manufactureras colombianas durante el período 2000-2007.

Para un país como Colombia, que se caracteriza por tener actividades de innovación aún en etapas incipientes, un estudio sobre las restricciones financieras que enfrentan las empresas para las inversiones en estas actividades resulta de gran interés, tanto para académicos como para formuladores de políticas, debido a que el éxito del proceso de innovación no depende sólo de las empresas innovadoras, sino que en general es el resultado de la interacción efectiva del conjunto de agentes que integran el sistema de innovación en el que participan, entre otros, las empresas, los organismos de investigación, las entidades de financiación y el sector público.

Para lograr el objetivo de este trabajo se estiman dos modelos microeconómicos, los cuales permiten contrastar la robustez de los resultados. El primero, el modelo acelerador de la inversión con corrección de error neoclásico, sirve para identificar la sensibilidad de las condiciones financieras internas de las empresas sobre las inversiones en actividades de innovación. El segundo, el modelo

de la ecuación de Euler para la inversión, es un modelo estructural que permite identificar separadamente los efectos particulares de las restricciones financieras y de otras variables dentro del proceso de inversión en innovación. La estimación de estos dos modelos se realiza a través del Método Generalizado de los Momentos en dos etapas.

El presente documento se compone de seis capítulos, además de esta introducción. En el segundo capítulo se hace una revisión de la literatura teórica y empírica acerca de las restricciones financieras para la actividades de innovación, tanto internacional como para el caso colombiano. El tercer capítulo presenta los hechos estilizados de las inversiones en actividades de innovación y su financiamiento en Colombia. El cuarto capítulo introduce el marco teórico del modelo acelerador de la inversión con corrección de error neoclásico y la ecuación de Euler, que dan sustento a los resultados empíricos de este trabajo. La estrategia y el método de estimación, los datos y los resultados econométricos se presentan en los capítulos cinco y seis. Finalmente, el séptimo capítulo se dedica a las conclusiones y algunas recomendaciones de política.

II. Revisión de la literatura

A continuación se presenta una revisión de la literatura relevante para los fines de este trabajo, que analiza teórica y empíricamente los factores que obstaculizan tanto la propensión a innovar

como la intensidad del gasto en innovación¹. En particular, algunos de éstos se enfocan en el papel que juegan las restricciones crediticias en las decisiones de inversión en innovación.

A. Aspectos teóricos de la inversión en innovación y restricciones crediticias

Es importante partir de los fundamentos teóricos que están detrás de los modelos empíricos sobre restricciones financieras a la inversión en general², que en buena medida sirven como marco de referencia para analizar el rol de las restricciones financieras en las actividades de innovación.

Cuando se analiza el financiamiento de la inversión en general, ésta depende de la disponibilidad de fondos internos (retención de utilidades) y externos (endeudamiento y/o emisión de acciones). En un mundo en el que los mercados de capital son perfectos -y no hay asimetría de información-, como los propuestos por Modigliani y Miller (1958), a las empresas les resulta indiferente financiar sus proyectos de inversión con fondos internos o externos,

dado que el costo para acceder a cualquiera de las dos fuentes de recursos es el mismo. Sin embargo, cuando se presentan asimetrías de información³ entre oferentes y demandantes de fondos, estos dos mecanismos de obtención de recursos dejan de ser sustitutos perfectos. La incorporación de las asimetrías de información en la modelación del mercado de crédito ha llevado a dos tipos de resultados complementarios, ampliamente identificados en la literatura. En términos generales, éstos muestran que la presencia de asimetrías de información conduce al establecimiento de primas o sobrecostos en el uso de los fondos externos, que los encarecen con relación a los internos.

El primer tipo de resultados tiene que ver con la influencia del estado financiero de la empresa en el costo de la financiación externa. En este caso, el mayor costo de los fondos externos puede estar asociado con factores como la existencia de riesgo de quiebra de los proyectos de inversión, o una situación financiera débil del prestatario. Uno de los trabajos más influyentes es el de Bernanke y Gertler (1989), quienes construyen un modelo en el

¹ Cuando se habla de los factores que obstaculizan tanto la propensión a innovar como la intensidad del gasto en innovación se pueden nombrar: tamaño de mercado, estructura del mercado, riesgo de innovar, falta de información de mercados, falta de capital humano, entre otros. Véase Mohnen et ál. (2008).

² Las inversiones en general se refieren a inversiones en capital físico e inversiones en actividades en innovación.

³ Véase: Freixas y Rochet (1997) Capítulos 2 y 4 en los cuales se presenta un resumen de los principales trabajos teóricos que permiten entender claramente los problemas asociados con la incorporación de las asimetrías de información al mercado de crédito.

que las primas de los fondos externos dependen inversamente de la riqueza neta que el deudor pueda aportar como colateral, es decir que, cuanto mayor sea el colateral con relación al tamaño del crédito, menores son los incentivos del prestatario para ofrecer fondos de financiamiento. Otros trabajos como el de Bond y Meghir (1994) construyen un modelo en el que el costo de la financiación externa está en función del nivel de endeudamiento por unidad de capital de la empresa.

El segundo tipo de resultados tiene que ver con la existencia de racionamiento en el mercado de crédito. La fundamentación teórica de estos trabajos se basa en la incapacidad de los oferentes de crédito para observar la rentabilidad de los proyectos de inversión que financian. Por ejemplo, trabajos como los de Stiglitz y Weiss (1981) y Myers y Majluf (1984) muestran que los problemas asociados con la selección adversa y riesgo moral⁴ llevan a que, si los oferentes de crédito elevan la tasa de interés, puedan promover a las empresas a embarcarse en

proyectos con menores posibilidades de éxito, lo cual implica una baja probabilidad de devolución de los créditos. En este sentido, estos dos trabajos concluyen que la tasa de interés que maximiza los beneficios esperados de los oferentes de crédito sería una en la que la demanda de crédito excede a la oferta. Por lo tanto, el equilibrio en el mercado de crédito puede estar caracterizado por una situación de racionamiento de crédito, que puede tener repercusiones sobre los niveles de inversión en la economía⁵.

Los dos tipos de resultados mencionados anteriormente son complementarios, ya que predicen que la disponibilidad de fondos para cada empresa dependerá de unas características observables⁶ que reflejen su situación financiera. De esta manera, entre un conjunto de empresas con proyectos de inversión con rentabilidad esperada similar, estarán restringidas aquellas que presentan una situación financiera más débil, de acuerdo con ciertas características observables, como pueden ser el nivel

⁴ La presencia de información asimétrica en los mercados de crédito genera problemas de selección adversa o riesgo moral. Los problemas asociados con la selección adversa, para el caso de la inversión, se presentan cuando las empresas que asumen mayores riesgos y perciben como baja su probabilidad de devolver el crédito son las que están dispuestas a aceptar mayores tasas de interés. Por otra parte, los problemas de riesgo moral se presentan cuando existe una mayor dificultad de seguimiento y control por parte de los proveedores de fondos (prestamistas), lo cual explica que se exija una prima diferencial por riesgo mayor.

⁵ Véase: Freixas y Rochet (1997) Capítulo 5. En este capítulo hay un resumen muy detallado de los efectos de la selección adversa en el racionamiento del crédito.

⁶ Véase: Brealey y Myers (2000) Capítulos 5 y 6. Características observables: se entiende en este caso variables que pueden dar luz a través de sus estados financieros y de pérdidas y ganancias acerca de los indicadores de financieros de las empresas, como puede ser el nivel de apalancamiento, el ROA, el ROE y el flujo de caja de las empresas

de endeudamiento y la capacidad de generación interna de recursos o flujo de caja (Gertler, 1988; Calomiris y Hubbard, 1990).

Como se mencionó al principio, sobre este marco teórico han descansado tradicionalmente los modelos empíricos de inversión en general; no obstante, cuando se trata de particularizar sobre inversiones en actividades de innovación, la literatura ha tratado de responder hasta qué punto las inversiones en las actividades de innovación están más restringidas financieramente que otro tipo de inversiones, como las de capital físico.

Debido a la naturaleza de las actividades en innovación, y en especial a las relacionadas con *I+D*, se han identificado cuatro características que evidencian que el financiamiento de las actividades de innovación es mucho más sensible a las características observables de las empresas -como el flujo de caja- que las inversiones en capital físico.

La primera característica está asociada con el hecho de que las asimetrías de información son más severas en las actividades de innovación. Jensen y Meckling (1976) sugieren que la gran mayoría de los proyectos de innovación no son fáciles de entender por los inversionistas externos, lo que conlleva a que los emprendedores (empresas innovadoras) tengan una mejor percepción de sus probabilidades de éxito que los prestamistas. Esta situación conduce a problemas de selección adversa, los cuales surgen cuando los oferentes de fondos externos son

incapaces de conocer las características cruciales de los proyectos de inversión en actividades de innovación de las empresas. Como se mencionó anteriormente, este hecho permite explicar que las empresas vean racionados los fondos que desean utilizar para financiar sus proyectos de inversión (Carpenter y Petersen, 2002; Leland y Pyle, 1977).

La segunda característica está relacionada con el problema de riesgo moral que se presenta en las inversiones de innovación. Según Hall y Lerner (2010), el riesgo moral se presenta en las inversiones en *I+D*, cuando existe una separación entre la propiedad y la gestión de las empresas. Dicha separación conlleva al problema del agente principal cuando las metas de los dos entran en conflicto, lo cual puede resultar en estrategias de innovación que no maximicen el valor de la firma. Según Hall y Lerner (2010), existen dos posibles escenarios que pueden coexistir cuando se presenta el problema del agente principal. Por un lado, los gerentes de las empresas pueden estar más interesados en invertir en tecnologías que les generen mejores beneficios a ellos, como pueden ser las inversiones para mejorar los equipos de las oficinas, pero no necesariamente mayores beneficios para la empresa. El segundo problema está relacionado con el hecho en el cual los gerentes de las empresas son adversos al riesgo cuando tienen que realizar inversiones en *I+D*. Una posible solución para estos problemas sería que los propietarios tomaran la decisión de aumentar el endeudamiento de la empresa con el fin de disminuir el flujo de caja libre para los gerentes; sin

embargo, esta solución obligaría a utilizar recursos externos para el financiamiento de los proyectos de *I+D* a un alto costo.

La tercera característica tiene que ver con la naturaleza de las inversiones en innovación, que en muchos casos se realizan en activos intangibles, como el pago de los salarios a los trabajadores del departamento de *I+D*. Cuando una empresa realiza inversiones en activos intangibles le resulta imposible utilizarlas como colateral para asegurar el préstamo a los prestamistas⁷ (Lev, 2001; Berger y Udell, 1990). Por otro lado, la intangibilidad de las inversiones en innovación se origina, en buena parte, por el hecho de que estas inversiones van a financiar recursos humanos calificados. Ahora bien, cuando existe una alta rotación de los recursos humanos calificados se pueden presentar problemas de *spillovers* de conocimiento entre empresas. Por lo anterior, las firmas pueden estar más que predispuestas a mantener estos recursos por un período de tiempo prolongado a fin de evitar estas filtraciones en el conocimiento. Relacionado con esto se encuentra la mayor incertidumbre de los proyectos de innovación.

La última característica se da por razones estratégicas. Según Bhattacharga y Ritter (1985), las empresas tienen pocos incentivos para revelar in-

formación sobre sus proyectos de innovación a los prestamistas, debido a que las ideas de innovación pueden pasar fácilmente y sin ningún costo a las empresas competidoras. Este tipo de estrategia es muy común en las empresas pequeñas que no tengan los recursos ni las herramientas para proteger sus ideas y sus productos de innovación.

Estas cuatro características conducen a un resultado importante: la incorporación de asimetrías de información en los mercados financieros se traduce en restricciones financieras para las diferentes actividades de innovación, mayores aún que para otro tipo de inversión que puedan realizar las empresas (Brown et ál. 2009; Westhead y Storey, 1997). Bajo esta tesis, la pregunta relevante es cómo construir las aproximaciones empíricas para el estudio de las restricciones financieras en las actividades de innovación a nivel de la firma.

B. Evidencia empírica de las restricciones crediticias para la innovación

Tradicionalmente, los trabajos empíricos que estudian la importancia de las restricciones financieras para las actividades de innovación a nivel de la firma parten del supuesto de que, ante la presencia de asimetrías de la información, el comportamiento inversor de las empresas quedará condicionado

⁷ Se pueden señalar que en muchos casos las inversiones en actividades de innovación se dan en activos intangibles, que pueden generar altos costos de ajuste y costos hundidos.

por su situación financiera interna. Este enfoque teórico permite, por tanto, justificar la introducción de variables financieras de las firmas en las ecuaciones de inversión en actividades de innovación. Por lo general, la variable financiera más utilizada en estas ecuaciones ha sido el flujo de caja de las empresas⁸.

La lógica de incluir esta variable en las ecuaciones de inversión es que ésta debe estar positivamente relacionada con el nivel de inversión. De esta manera, dicho efecto positivo se va a manifestar con más claridad en aquellas empresas para las cuales los problemas de información asimétrica son más evidentes. Así, la sensibilidad de los montos de inversión con respecto a las variables que aproximan la capacidad de generación interna de recursos es mayor para aquellas empresas que están sometidas a restricciones de crédito (Fazzari et ál., 1987; Hoshi et ál. 1991; Vogt, 1994).

Dentro de esta línea de análisis se han adelantado trabajos econométricos para países desarrollados. Entre los más relevantes para los Estados Unidos se hallan los de Hall (1992), Himmelberg y Petersen (1994) y Brown et ál. (2009)⁹, en los que se demuestra que debido a los problemas asociados a las asimetrías de información y al elevado riesgo inherente a las actividades de *I+D*, las empresas prefieren acudir a la financiación interna para afrontar este tipo de inversiones. En otras palabras, encuentran que existe un efecto positivo del flujo de caja de las empresas sobre las inversiones en *I+D*¹⁰. Asimismo, Hall (1992) prueba que, junto con la capacidad de autofinanciación, se evidencia una relación negativa entre el nivel de endeudamiento de la empresa y los montos de inversión en *I+D*¹¹. Estos dos resultados confirman que en los Estados Unidos los canales tradicionales de crédito no logran colocar los recursos necesarios para el financiamiento de actividades de innovación.

⁸ Existe otro tipo de aproximación que captura a través de las encuestas de las actividades de innovación las restricciones de crédito, mediante preguntas específicas sobre si han tenido acceso a crédito y si han tenido problemas de restricciones de crédito para este tipo de inversión. Una ventaja importante es que este tipo de ejercicio permite alinear la pregunta de restricciones financieras con las decisiones de inversión en innovación de las empresas. Véase: Manuzzi (2010), Savignac (2007), Atzeni y Piga (2005), Savignac (2005) y Guiso (1998).

⁹ Es importante señalar que Kamien y Schwartz (1981) presentan una crítica revisión de la literatura empírica sobre los efectos del uso de los fondos internos para financiar los proyectos de investigación y desarrollo.

¹⁰ En Himmelberg y Petersen (1994) la disponibilidad de fondos propios es la forma predominante de financiación de la inversión en *I+D* para una muestra de pequeñas empresas del sector de alta tecnología. El trabajo de Brown et ál. (2009) no sólo encuentra que las fuentes de financiamiento interno son uno de los principales determinantes de la decisión de inversión en innovación, sino que además los cambios en la emisión de acciones puede ser un factor determinante para el crecimiento económico vía innovación.

¹¹ El nivel de endeudamiento se ha utilizado como un indicador de la salud financiera de las empresas, debido a que puede ser un factor importante para acceder tanto al mercado de crédito como al mercado de capitales.

Para el caso europeo, entre los trabajos principales se pueden señalar los de Bond et ál. (1999), Audretsch y Elston (2002), Cincera (2003), Bond et ál. (2003), Scellato (2006), y Ughetto (2006; 2007). La evidencia empírica encontrada sobre restricciones financieras para inversiones en actividades de innovación no es tan contundente como para el caso de los Estados Unidos. Los resultados confirman que el grado de profundización de los mercados de capitales y financieros de cada país es un factor importante que conlleva a que las restricciones financieras en actividades de innovación sean más severas. Por ejemplo, Bond et ál. (1999) y Bond et ál. (2003) encuentran que en el Reino Unido existe un efecto positivo y significativo del flujo de caja de las empresas sobre las inversiones en capital físico e inversiones en *I+D* a nivel de la firma; sin embargo, para países como Francia y Alemania no se encontró que esta evidencia fuera significativa. No obstante, Audrestch y Elston (2002) concluyen que en las empresas alemanas de menor tamaño sí existe evidencia de restricciones financieras para las actividades de innovación. Lo anterior muestra que el tamaño se encuentra fuertemente correlacionado con factores que limitan el acceso a la financiación externa. Este mismo resultado se presenta para el caso italiano de acuerdo con

Scellato (2006) y Ughetto (2006; 2007)¹². Por otro lado, Cincera (2003) halla que el efecto positivo y significativo del flujo de caja en la decisión de inversión de las firmas varía entre industrias y en especial si la empresa recibe ayudas o subsidios del gobierno, para el caso de las empresas belgas¹³.

En síntesis, existe suficiente evidencia en los países desarrollados de que el flujo de caja está positivamente relacionado con los montos de inversión en innovación, lo que confirma la existencia de restricciones crediticias. No obstante, para el caso de los países en desarrollo no existen trabajos empíricos sobre restricciones financieras para las actividades de innovación. En el caso colombiano existe una abundante literatura empírica sobre restricciones crediticias para inversiones en activos fijos; cabe destacar los trabajos de Delgado (2004), Arbeláez y Echavarría (2001), Sánchez et ál. (1998) y Tenjo y García (1998). En general, estos estudios corroboran que, para las empresas restringidas financieramente, la disponibilidad de fondos internos es una variable relevante en las decisiones de inversión. Sin embargo, en ninguno de los casos se analizan las restricciones crediticias específicamente en las inversiones en actividades de innovación.

¹² El tamaño de la empresa es una medida útil del acceso a los mercados de crédito y de capitales, en cuanto que los beneficios y la capacidad para afrontar los gastos financieros aparecen como indicadores relevantes de la calidad del prestatario.

¹³ Desde la economía política, la intervención estatal directa se justifica por dos razones: Por un lado, la existencia de fallas del mercado, debido a la presencia de asimetrías de información. Por otro lado, la innovación al ser un bien público puede generar externalidades positivas.

Por otro lado, en los últimos años en Colombia se han adelantado encuestas sobre actividades y resultados de la innovación para el sector manufacturero¹⁴. La información ha facilitado la elaboración de trabajos empíricos sobre los determinantes de las inversiones en innovación (Langebaek y Vásquez, 2007 y Alvarado, 2000)¹⁵ y su efecto sobre la productividad de la empresas (Arbeláez y Parra Torrado, 2011)¹⁶.

A pesar de los avances en el análisis de las encuestas de innovación, no existen aún trabajos que crucen esta información con la información financiera de las empresas, lo que permitiría desarrollar estudios sobre restricciones financieras a la innovación. Precisamente, éste constituye uno de los aportes del presente estudio.

III. Las actividades de innovación en Colombia y sus fuentes de financiamiento

En los últimos años, desde la publicación de la segunda edición del Manual de Oslo, son numerosos los países en desarrollo que han realizado

encuestas sobre innovación. El objetivo de este tipo de encuestas es la construcción de un sistema internacional coherente de indicadores de innovación que ofrezcan resultados comparables a los obtenidos en los países desarrollados, basadas en el Manual de Oslo. Para el caso colombiano, el DANE, junto con el Departamento Nacional de Planeación y Colciencias, diseñó en 1996 la Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica (EDIT), la cual ya se ha realizado tres veces: 1996, 2005 y 2007.

El principal objetivo de esta encuesta es caracterizar las inversiones en actividades de innovación y sus fuentes de financiamiento en la industria manufacturera colombiana. Como se precisa en esta encuesta, las actividades de innovación no se refieren solamente a actividades relacionadas con *I+D*, sino que abarcan también otras actividades relacionadas con la innovación, como por ejemplo, la adquisición de conocimiento y tecnología externa a las empresas¹⁷. Asimismo, esta encuesta considera que las actividades de innovación, incluidas las de adquisición de tecnologías incorporadas al capital, las de *I+D* y otros gastos corrientes vinculados a

¹⁴ Como se verá más adelante, esta encuesta es la EDIT, la cual sigue los lineamientos del manual de Oslo y del Manual de Bogotá sobre actividades y resultados de las diferentes actividades de innovación.

¹⁵ Los resultados encontrados en estos dos trabajos muestran que el tamaño de las empresas y la participación del capital extranjero son los principales determinantes de la intensidad en innovación en el sector de las manufacturas en Colombia.

¹⁶ Los resultados encontrados en este trabajo muestran que la evidencia de los efectos que pueden tener las actividades de innovación en la productividad de las empresas del sector de las manufacturas en Colombia es ambigua y varía de acuerdo con el tipo de inversión en actividades de innovación.

las innovaciones constituyen inversiones, en la medida en que pueden generar retornos económicos en el futuro.

En Colombia, la EDIT ha definido cinco tipos de inversiones en actividades de innovación para la industria manufacturera: i) tecnologías incorporadas al capital, que incorporan nuevos conceptos, ideas y métodos a través de la compra de maquinaria; ii) tecnologías de gestión, que comprenden la adquisición de conocimientos orientados a ordenar, disponer, y mejorar el uso de los recursos productivos de la empresa¹⁸; iii) tecnologías transversales, relacionadas con la incorporación de conceptos, ideas y métodos como resultado de una actividad de investigación llevada a cabo fuera de la empresa¹⁹; iv) proyectos de *I+D*, que implican un trabajo creativo emprendido sistemáticamente por la empresa para incrementar la acumulación de conocimientos y el uso de éste para concebir nuevas aplicaciones en todos los procesos productivos de la empresa; y v) capacitación tecnológica, la cual

comprende la capacitación en temas estrictamente relacionados con las tecnologías centrales en el proceso productivo de las empresas.

Bajo esta clasificación, los datos de la EDIT II muestran que la inversión en actividades de innovación ascendió a \$2,62 billones de pesos en 2003 y a \$3,12 billones en 2004. Estas cifras representan el 20,8% y 21,5% de las inversiones netas realizadas en activos físicos en el sector manufacturero, en los años 2003 y 2004 respectivamente.

Según el tipo de actividad de innovación, en el Gráfico 1 se observa que en el sector manufacturero la inversión en innovación está altamente concentrada en inversiones de tecnologías incorporadas al capital, que representa alrededor del 66% del total invertido en innovación. Se destaca que las inversiones asociadas a *I+D* son bastante bajas, representando sólo un 3,5% del monto invertido en innovación. De este gráfico se puede deducir que las empresas colombianas se ajustan al patrón encon-

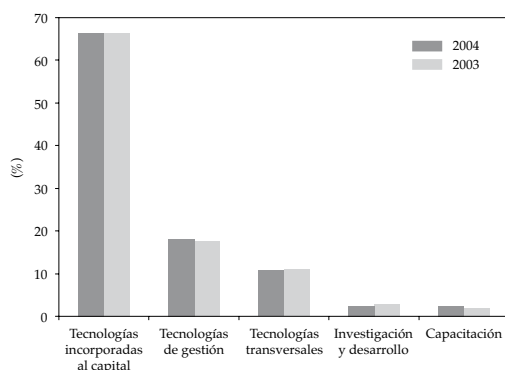
¹⁷ Según los manuales de Frascati, Oslo y Bogotá, cuando las empresas deciden innovar lo hacen a través de seis tipos diferentes de inversión. Estos tipos inversión en innovación son: inversiones en *I+D*, inversiones en la adquisición de conocimiento y tecnología en forma de *I+D* externa a la empresa, en inversión asociada a capital como la compra de máquinas y equipos, inversiones implicadas en actividades para modificar parte de su organización productiva como certificados de calidad, y por último, inversiones para la formación de los empleados. Bajo estos parámetros, las empresas innovadoras se dividen en las que principalmente han desarrollado innovaciones por sí mismas o en cooperación con otras empresas, u organizaciones de investigación pública, o las que han innovado principalmente adoptando las innovaciones (por ejemplo, un nuevo equipo) desarrolladas por otras empresas.

¹⁸ Un ejemplo de este tipo de inversiones es la aplicación de certificados de calidad.

¹⁹ Un ejemplo de este tipo de inversiones es la adquisición de patentes.

trado en otros países en desarrollo, en el cual existe una concentración en la adquisición de maquinaria y equipo, y una baja participación de inversión en proyectos de *I+D*. Estos resultados pueden explicar, en cierta manera, que la innovación en Colombia se concentra generalmente en cambios menores y progresivos en productos o procesos ya existentes.

Gráfico 1
PORCENTAJE DE INVERSIÓN PARA CADA TIPO DE ACTIVIDAD EN INNOVACIÓN PARA LOS AÑOS 2003 Y 2004



Fuente: Cálculos del autor con base en EDIT (2005).

De acuerdo con el tamaño de la empresa, en el Cuadro 1 se observa que en las empresas grandes el porcentaje de inversiones en tecnologías incorporadas al capital sobre el total de inversiones en innovación es mayor que en las medianas y pequeñas. Por el lado de la inversión en *I+D*, se observa que es baja, independientemente del tamaño de la empresa, pues sólo representa 1% del total de los montos invertidos en las empresas pequeñas y 2,7% en las empresas de mayor tamaño. Se aprecia, además, que en las empresas pequeñas el monto de inversión en tecnologías de gestión es bastante alto, representando alrededor de 27,5% del total de inversión.

Por otro lado, en cuanto a los montos invertidos por cada actividad de innovación, se puede ver que las empresas más grandes son las que realizan mayores montos de inversión en todas las actividades de innovación, pero en especial en actividades de *I+D*. Éstas aportaron alrededor del 88% de los montos invertidos en el 2004 en *I+D*,

Cuadro 1
PORCENTAJE DE CADA TIPO DE ACTIVIDAD DE INNOVACIÓN POR TIPO DE TAMAÑO

Actividad de innovación	Pequeña	Mediana	Grande
	(hasta 50 trabajadores)	(de 51 a 200 trabajadores)	(mayores de 200 trabajadores)
Tecnologías incorporadas al capital	55,32	65,23	67,55
Tecnologías de gestión	27,54	20,75	16,74
Tecnologías transversales	12,75	9,93	10,78
Investigación y Desarrollo	1,02	1,26	2,74
Capacitación	3,36	2,83	2,19
Total	100,00	100,00	100,00

Fuente: Cálculos del autor con base en EDIT (2005).

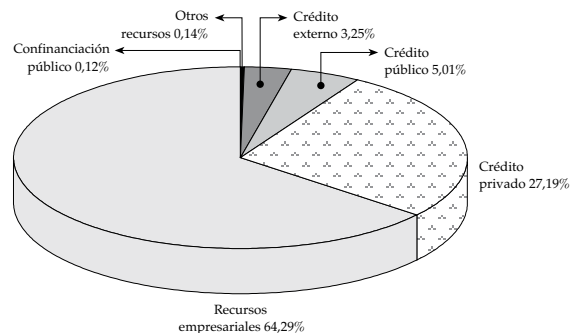
en contraste con las firmas pequeñas cuyo monto invertido sólo aportó el 2.5% (Cuadro 2).

Respecto del financiamiento de las inversiones en actividades de innovación, las empresas industriales tienen diversas opciones para financiar sus proyectos y programas de innovación. Éstas se pueden dividir en dos grupos: i) las líneas de crédito y los proyectos de cofinanciación que provee el Estado colombiano como parte de la política de apoyo empresarial, y ii) los recursos que provee el sector privado a través de la banca privada, el sector externo y los recursos empresariales (recursos propios, financiamiento de empresas del grupo y proveedores).

Las cifras presentadas en la EDIT 2005 muestran que el valor financiado para actividades de innovación durante 2004 llegó a \$3,9 billones, cifra que equivale al 2.5% de los montos prestados por parte del sector financiero a todas las actividades de la economía colombiana en este año. En el Gráfico 2 se observa que las fuentes del sector público,

incluyendo cofinanciación y acceso a crédito, representaron 5,1% del total del monto financiado para las actividades de innovación. Esta cifra muestra una baja participación de los instrumentos de intervención estatal directa y sugiere que su impacto es poco significativo. Por otro lado, la banca privada participó con 27,2%, y el sector externo y otros recursos (universidades, CDT, Cajas de Compem-

Gráfico 2
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS FUENTES DE FINANCIAMIENTO DE LAS ACTIVIDADES DE INNOVACIÓN PARA EL AÑO 2004



Fuente: Cálculos del autor con base en EDIT (2005).

Cuadro 2
PORCENTAJE DE INVERSIÓN POR TIPO DE ACTIVIDAD ECONÓMICA

Actividad de innovación	Pequeña (hasta 50 trabajadores)	Mediana (de 51 a 200 trabajadores)	Grande (mayor de 200 tabajadores)	Total
Tecnologías incorporadas al capital	4,90	17,52	77,58	100,00
Tecnologías de gestión	8,95	20,45	70,60	100,00
Tecnologías transversales	6,98	16,48	76,54	100,00
Investigación y Desarrollo	2,53	9,48	87,99	100,00
Capacitación	8,33	21,29	70,38	100,00

Fuente: Cálculos del autor con base en EDIT (2005).

sación) con apenas 3,4%. Es importante señalar que los recursos de las empresas para los proyectos de innovación representaron 64,3%.

Las cifras anteriores muestran que las empresas del sector manufacturero financian sus proyectos de innovación en una muy buena parte a través de recursos empresariales. En 2004, los recursos empresariales sumaron \$2,5 billones, dentro de los cuales los recursos propios representaron alrededor de \$2,3 billones (92%).

De acuerdo con el tamaño de las empresas (Cuadro 3), se observa que para todos los tamaños, los recursos empresariales constituyen la principal fuente de financiamiento para las inversiones en innovación. Las empresas pequeñas utilizan en

mayor proporción los recursos de la banca privada, mientras que las empresas medianas y grandes tienen mayores recursos empresariales.

El Cuadro 4 muestra el porcentaje de empresas, según su tamaño, que utilizaron cada tipo de fuente de financiamiento. Se destaca el que un porcentaje muy reducido de empresas utilizan recursos externos y fuentes de cofinanciación pública, lo que se puede explicar por la falta de conocimiento que tienen los empresarios de este tipo de instrumentos. Por otro lado, el porcentaje de empresas que utilizan créditos del sector público y la banca privada aumenta con el tamaño de la empresa.

Los anteriores resultados muestran que las empresas en el sector manufacturero, en su ma-

Cuadro 3

PARTICIPACIÓN EN EL TOTAL FINANCIADO DE ACTIVIDADES DE INNOVACIÓN POR GRUPOS DE FINANCIACIÓN SEGÚN TAMAÑO DE EMPRESA, 2004

Fuente de financiación de las actividades de innovación	Pequeña (hasta 50 trabajadores)	Mediana (de 51 a 200 trabajadores)	Grande (mayores de 200 trabajadores)
Cofinanciación pública	0,63	0,22	0,05
Pública	5,25	4,05	5,24
Privada	32,65	26,90	26,87
Externos (banca comercial internacional y organismos internacionales)	1,48	4,34	3,12
Otros recursos (universidades, centros de desarrollo tecnológico)	0,10	0,16	0,14
Empresariales (recursos propios, socios y financiamiento de otras empresas del grupo)	59,89	64,32	64,58
Total	100,00	100,00	100,00

Fuente: Cálculos del autor con base en EDIT (2005).

Cuadro 4
PORCENTAJE DE EMPRESAS QUE UTILIZARON CADA TIPO DE FUENTE DE FINANCIAMIENTO,
CLASIFICADAS POR TAMAÑO

Fuente de financiación de las actividades de innovación	Pequeña (hasta 50 trabajadores)	Mediana (de 51 a 200 trabajadores)	Grande (mayores de 200 trabajadores)
Cofinanciación pública	2,70	4,27	4,44
Crédito público	5,82	9,41	12,43
Crédito privado	23,27	31,19	37,30
Externos (banca comercial internacional y organismos internacionales)	0,64	1,74	4,09
Otros recursos (universidades, centros de desarrollo tecnológico)	0,78	0,65	1,42
Empresariales (recursos propios, socios y financiamiento de otras empresas del grupo)	85,53	80,54	84,19

Fuente: Cálculos del autor con base en EDIT (2005).

yoría, se financian con recursos propios, lo que de acuerdo con la teoría antes expuesta sugiere que enfrentan restricciones financieras para las inversiones en innovación. Esto es lo que se probará empíricamente en las siguientes secciones.

IV. Estrategia empírica

En la literatura empírica, la hipótesis de la sensibilidad de la inversión a la generación interna de recursos se ha llevado a cabo utilizando una gran gama de modelos econométricos de inversión: desde ecuaciones de forma reducida hasta modelos de ecuación de Euler para la inversión. Para

los fines de este trabajo se utilizan dos aproximaciones econométricas que se describen en detalle, las cuales, de acuerdo con Bond et ál. (2003), son complementarias pero no excluyentes para lograr contrastar la robustez de resultados.

La primera aproximación es la conocida en la literatura como el modelo acelerador de la inversión con corrección de error neoclásico²⁰. Este modelo deriva los niveles deseados óptimos de *stock* de capital de actividades de innovación como función del producto y de los costos de uso de este capital, ampliado con la variable de flujo de caja, que mide la capacidad de autofinanciación de las

²⁰ En la literatura se conoce como *Accelerator Model of Investment with Error Correction*.

empresas. Esta aproximación asume un mecanismo específico de ajuste entre los niveles deseados y los actuales de capital que, al final, permite obtener una ecuación para la inversión en actividades de innovación. Sin embargo, este tipo de modelos recibe la crítica de que la variable de flujo de caja, en lugar de aportar evidencia sobre restricciones de liquidez, puede estar aproximando las oportunidades de inversiones futuras de la empresa. Por tal motivo, se introduce un segundo modelo estructural de inversión, como es el modelo de la ecuación de Euler para la inversión, el cual ofrece una indudable ventaja con respecto a las ecuaciones de inversión de forma reducida.

El modelo de la ecuación de Euler para la inversión introduce explícitamente las restricciones financieras en el proceso de decisión de una firma que maximiza sus beneficios. Las condiciones de primer orden del proceso de optimización sirven para derivar una ecuación de Euler que relaciona la inversión en actividades de innovación con variables financieras de la empresa y otros determinantes. La ventaja de utilizar este modelo es que, bajo la estructura básica de la ecuación de Euler, el modelo captura la influencia de las expectativas actuales de ganancias futuras en las decisiones actuales de inversión. Con esto, la variable de flujo de caja, en vez de estar aproximando las oportunidades de inversiones futuras de la firma, confirma lo encontrado en el

modelo acelerador de la inversión, con corrección de error neoclásico: que el uso de flujo de caja de las empresas evidencia restricciones de liquidez.

A. Modelo de acelerador de la inversión en innovación con corrección de error

Este modelo surge de la unión del modelo acelerador de la inversión neoclásico y la ecuación de corrección de error, la cual sirve para la estimación de la relación entre el flujo de caja y la inversión en actividades de innovación. Este modelo ha servido como marco de referencia para los trabajos de Harhoff (1998), Bond et ál. (1999) y Bond et ál. (2003)²¹. Estos autores tienen como punto de partida que el problema de maximización de beneficios que enfrenta la firma está dado por:

$$\{L_{i,t}, K_{i,t}, G_{i,t}\} E_t \left(\sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \pi_{i,t} \right) = E_t \left(\sum_{t=0}^{\infty} \beta^t [P_t F(L_{i,t}, K_{i,t}, G_{i,t}) - P_t^k I_{i,t}^k - P_t^g I_{i,t}^g] \right) \quad (1.1)$$

Sujeto a:

$$I_{i,t}^k = K_{i,t} - (1 - \delta^k) K_{i,t-1} \quad (1.2)$$

$$I_{i,t}^g = G_{i,t} - (1 - \delta^g) G_{i,t-1} \quad (1.3)$$

Donde E son las expectativas condicionales; P_t es el precio del producto; $F(L_{i,t}, K_{i,t}, G_{i,t})$ es la función de

²¹ El modelo de la ecuación de Euler para inversión en general fue introducido en la literatura empírica por Bean (1981).

producción de la firma y $K_{i,t}$, $G_{i,t}$ y $L_{i,t}$ son el *stock* de capital físico, el *stock* de capital de las actividades de innovación de la firma y el trabajo respectivamente; P_t^k es el precio de los bienes de capital físico de la firma; P_t^s es el precio de los bienes de capital de las actividades de innovación; δ^k es la tasa de depreciación de los bienes de capital físico; δ^s es la depreciación de los bienes de actividades de innovación. Con respecto a las dos restricciones que enfrenta la firma, la primera corresponde a la ecuación de acumulación de capital físico y la segunda a la del capital de actividades de innovación.

La intuición detrás de la ecuación (1.1) dice que los beneficios de una empresa dependen positivamente del valor de la producción de la firma i , que a su vez depende de la combinación de las variables de trabajo, del *stock* de capital y en especial del *stock* del capital de innovación de la firma, y los beneficios dependen negativamente de los pagos de la remuneración de los factores de producción, en particular de la inversiones en actividades de innovación.

Asumiendo que la solución en el estado estacionario al problema de maximización para la variable de capital de actividades de innovación es²²:

$$F'_s(L_{i,t}, K_{i,t}, G_{i,t}) = \frac{p^s}{p} \left[\left(\frac{r + \delta^s}{1 + r} \right) + \frac{\Delta p_{t+1}^s (1 - \delta)}{p_t^s (1 + r)} \right] = uc_{i,t}^s \quad (1.4)$$

Donde uc_t^s denota los costos del uso del capital de actividades de innovación. El término $\frac{\Delta p_{t+1}^s (1 - \delta)}{p_t^s (1 + r)}$ refleja las ganancias o pérdidas del capital, debido a un cambio en los precios de este bien. Asumiendo una forma funcional para la función de producción tipo CES²³ con elasticidad σ y tomando logaritmo natural en ambos lados de la ecuación (1.4) se tiene que el *stock* de capital de actividades en innovación en ausencia de costos de ajuste está dado por:

$$g_{i,t} = \varphi y_{i,t} + h'_{i,t} \quad (1.5)$$

La ecuación (1.5) indica que el nivel óptimo de este tipo de capital en el largo plazo es proporcional al producto (o ventas), más con un término que refleja el uso del costo de capital en actividades de innovación, y de los parámetros de la función de

²² En este modelo se parte de la existencia de un nivel óptimo de capital de conocimiento, considerando la inversión en actividades de innovación como el proceso de ajuste del nivel actual de dicho capital con respecto al nivel óptimo para cada empresa. En este sentido, para encontrar el nivel óptimo de capital de conocimiento se utilizan las condiciones de primer orden con respecto a la variable del *stock* de conocimiento de la empresa de la ecuación (1.1). Las condiciones de primer orden con respecto al capital físico y trabajo no son necesarias en la derivación del modelo acelerador de inversión de actividades de innovación y no se presentan para conservar espacio.

²³ La función CES se puede definir como: $F(L_{i,t}, K_{i,t}, G_{i,t}) = A_{i,t} [\alpha L_{i,t}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + b K_{i,t}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + c G_{i,t}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$,

donde $L_{i,t}$ representa el trabajo, $K_{i,t}$ es el *stock* de capital físico y $G_{i,t}$ es el *stock* de capital de actividades de innovación. σ y v es la elasticidad de sustitución y es un factor de escala.

producción²⁴. Sin embargo, a la hora de estimar esta ecuación se presentan dos problemas. El primero está relacionado con la medición de la variable del uso del costo de este tipo de capital a nivel de la firma, y el segundo tiene que ver con la dinámica de ajuste del *stock* de capital de actividades en innovación de la firma.

No obstante, para el problema de medición de la variable del uso de capital, siguiendo a Bond et ál. (2003), éste se soluciona aproximando las variaciones en el costo del uso de este capital a través de una variable dicótoma de tiempo y de efectos fijos específicos para cada firma. Con respecto a la dinámica de ajuste, se puede ver que en la ecuación (1.5) el ajuste es instantáneo, y por esta razón la ecuación se puede transformar para especificar una dinámica no instantánea de ajuste entre el capital de actividades en innovación y el producto aplicando un modelo ADL(2,2)²⁵, el cual pertenece a los modelos dinámicos de una ecuación²⁶.

$$g_{it} = \gamma_1 g_{i,t-1} + \gamma_2 g_{i,t-2} + \gamma_3 y_{i,t} + \gamma_4 y_{i,t-1} + \gamma_5 y_{i,t-2} + \alpha_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1.6)$$

Donde α_i y λ_t son los efectos fijos específicos para cada firma y la variable dummy de tiempo respectivamente.

Para obtener las ecuaciones con error de corrección de la ecuación (1.6) se resta en ambos lados de las dos ecuaciones $g_{i,t-1}$ y se suma $\gamma_3(\Delta y_{i,t} - \Delta y_{i,t})$ en la parte derecha de la ecuación. Por otro lado, se adicionan los efectos del flujo de caja con el fin de comprobar la presencia de restricciones financieras²⁷. Estas operaciones llevan al siguiente resultado:

$$\Delta g_{it} = (\gamma_1 - 1) \Delta g_{i,t-1} + \gamma_3 \Delta y_{it} + (\gamma_3 + \gamma_4) \Delta y_{i,t-1} + (\gamma_2 + \gamma_1 - 1) (g_{i,t-2} - y_{i,t-2}) + \alpha_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1.7)$$

Se espera que en la ecuación (1.7) los coeficientes de corrección $\gamma_2 + \gamma_1 - 1$ sean negativos, lo cual implicaría que cuando el nivel de capital está por encima del capital deseado, la inversión tendrá que estar por debajo. Bajo el supuesto de restricciones financieras, se espera que $\gamma_5 > 0$ y $\gamma_6 > 0$, lo cual implica que la inversión en actividades de innovación está positivamente correlacionada con el uso de los recursos internos de las empresas.

²⁴ En la ecuación (1.5) los parámetros $\varphi = (\sigma + \frac{1-\sigma}{v})$, y $h'_i = \sigma \log(cv) - \frac{1-\sigma}{v} \log A_{i,t} - \sigma \log uc_{i,t}^s$

²⁵ Las siglas ADL significan *Autorregresive Distributed Lags*.

²⁶ Estos modelos están basados en los trabajos de Hendry, Pagan y Sargan, (1984). El modelo más sencillo es el conocido como ADL(1,1), el cual está especificado de la siguiente manera: $y_t = \beta_1 x_t + \beta_2 x_{t-1} + \beta_3 y_{t-1} + \varepsilon_t$

²⁷ Adicionalmente se aplica $\Delta g_{it} \approx I_{i,t}^s / G_{i,t} - \delta'_i$ ésta es una aproximación usual en la literatura, la cual sirve como proxy de la tasa de crecimiento del capital de conocimiento.

Sin embargo, Bond et ál. (2003) sugieren, con respecto a este tipo de modelos, que a la hora de interpretar la significancia de estos dos coeficientes se puede dar el caso de que dicha significancia pueda estar indicando tanto la presencia de *shocks* de demanda como la existencia de restricciones de liquidez. En particular, la crítica más habitual a estos enfoques es que la variable de flujo de caja, en lugar de aportar evidencia sobre restricciones de liquidez, puede estar aproximando las oportunidades de inversiones futuras. En este contexto, los modelos estructurales de inversión, como los modelos de la ecuación de Euler para la inversión, ofrecen una indudable ventaja con respecto a las ecuaciones de inversión de forma reducida. Los modelos estructurales tienen en cuenta explícitamente la influencia de las expectativas en la decisión de inversión. Por esta razón, se utiliza el modelo de la ecuación de Euler para comprobar que la significancia en las variables flujo de caja sí refleja la presencia de restricciones financieras, y de paso, como lo afirman Bond et ál. (2004), estos modelos pueden servir para revisar la robustez de los resultados encontrados con el modelo acelerador de la inversión.

B. Modelo de la ecuación de Euler para la inversión

Este modelo ha servido como marco de referencia para los trabajos de Audretsch y Elton (2002) y

de Brown et ál. (2009)²⁸. Estos autores, a partir de unas condiciones de primer orden del proceso de optimización de un modelo neoclásico estándar de inversión con costos de ajuste cuadráticos, derivan una ecuación de Euler que relaciona las tasas de inversión en actividades de innovación en dos periodos consecutivos. Bajo estos supuestos, el modelo de la ecuación de Euler para la inversión en actividades de innovación tiene la ventaja de que puede controlar todas las expectativas que influyen en la decisión de inversión de la empresa.

Parte de la idea de que los gerentes de las empresas maximizan el valor presente descontado de los flujos de pagos de los accionistas, sujetos a la identidad de ingresos y gastos de la empresa, y a las ecuaciones de evolución del *stock* de capital físico y de actividades de innovación. De este modo, siguiendo a Bond y Meghir (1994) y a Bond et ál. (2003), el problema de optimización para la empresa es el siguiente:

$$V_t = \max_{\{K_{i,t}, G_{i,t}\}_0^\infty} E_t \left(\sum_{j=0}^{\infty} \beta_{t+j}^t [R_{i,t}] \right) \quad (2.1)$$

La maximización de esta función objetivo por parte de la firma está sujeta a cuatro restricciones:

$$R_{i,t} = p_{i,t} [F(L_{i,t}, K_{i,t}, G_{i,t}) - H(K_{i,t}, G_{i,t}, I_{i,t}^k, I_{i,t}^s)] - w_{i,t} L_{i,t} - p_{i,t}^k I_{i,t}^k - p_{i,t}^s I_{i,t}^s \quad (2.2)$$

²⁸ Este modelo fue introducido en la literatura por Abel (1980).

$$I_{i,t}^k = K_{i,t} - (1 - \delta^k)K_{i,t-1} \quad (2.3)$$

$$I_{i,t}^s = G_{i,t} - (1 - \delta^s)G_{i,t-1} \quad (2.4)$$

$$R_{i,t} \geq 0 \quad (2.5)$$

Donde $R_{i,t}$ son los dividendos (o el flujo de caja), E_t es el operador de expectativas condicionadas al conjunto de información en t , β_t es el factor de descuento de j períodos²⁹. Con respecto a las variables $K_{i,t}$, $G_{i,t}$ y $I_{i,t}$, éstas son el *stock* de capital físico y el *stock* de capital de actividades de innovación de la firma y el trabajo, respectivamente. La función de producción de la firma está dada por $F(L_{i,t}, K_{i,t}, G_{i,t})$, y la función de costo de ajuste del acervo de capital es $H(K_{i,t}, G_{i,t}, I_{i,t}^k, I_{i,t}^s)$. P_t^k es el precio de los bienes de capital físico de la firma, P_t^s es el precio de los bienes de capital de actividades en innovación, δ^k es la tasa de depreciación de los bienes de capital físico, δ^s es la depreciación de los bienes de actividades en innovación y w_{it} es el vector de retribuciones a los factores variables.

Es importante analizar las restricciones (2.2) y (2.5). La restricción (2.2) dice que los dividendos pagados por la firma deben ser iguales a la diferencia entre los ingresos y egresos para cada t . Por el lado de los ingresos de la firma, éstos están dados

por las ventas. Por el lado de los gastos, éstos están compuestos por los dividendos, la remuneración a los factores y el gasto en inversión en activos físicos y actividades de innovación. Según Delgado (2003), la cuarta restricción (2.5) introduce en el modelo las imperfecciones de los mercados de capitales, debido a que cuando la firma enfrenta restricciones financieras, éstas se presentan sobre los usos del flujo de caja. En situaciones de restricciones financieras, el financiamiento de la inversión requiere de una mayor participación de fondos propios, limitando de esta manera el pago de dividendos.

Siguiendo a Harhoff (1998), la ecuación de Euler para la inversión en innovación se puede escribir económicamente de la siguiente manera³⁰:

$$\left(\frac{I^s}{G}\right)_{i,t+1} = \beta_1 \left(\frac{I^s}{G}\right)_{i,t} - \beta_2 \left(\frac{I^s}{G}\right)_{i,t}^2 - \beta_3 \left(\frac{\Pi}{G}\right)_{i,t} + \beta_4 \left(\frac{Y}{G}\right)_{i,t} + d_{i,t+1} + \eta_i + v_{i,t+1} \quad (2.6)$$

Donde Π son las utilidades brutas de la empresa. De estas ecuaciones se espera que bajo la hipótesis nula de inexistencia de restricciones de liquidez, puede demostrarse que $\beta_1 \geq 1$, $\beta_2 \geq 1$, y $\beta_3 \geq 0$. Bajo la hipótesis alternativa, la inversión en actividades de innovación está positivamente correlacionada con el flujo de caja de las empresas, aproximado

²⁹ El factor de descuento se define como: $\beta_{t+j}^t = \prod (1 + r_{t+i-1})^{-1} \forall j \geq 1$ y $\beta_t^t = 1$

³⁰ En Harhoff (1998) se encuentra la derivación detallada de la ecuación de Euler para la inversión en actividades de innovación.

a través de utilidad bruta operacional. Esto estaría mostrando la presencia de restricciones de liquidez; de esta manera la ecuación (2.6) estaría incorrectamente especificada. Bajo la presencia de restricciones financieras para las actividades en innovación, el signo negativo esperado para β_3 no se obtendría. En particular, ésta es la idea que subyace en el trabajo de Bond et ál. (2003).

Antes de dar paso a la estimación econométrica, resulta importante aclarar que el modelo de la ecuación de Euler presenta ciertas limitaciones, siendo la principal que el término rezagado de la inversión difiere de $(1+r)$ por el término $(bt-1/bt)$, el cual permanece constante en el tiempo. El problema surge cuando la empresa cambia de situación financiera entre un período de tiempo y el siguiente. En este sentido, el modelo no captura el comportamiento de las empresas cuando el costo de capital es mayor a r (el precio sombra cae entre períodos) o cuando es menor a r (cuando el costo de capital se incrementa entre períodos). Sin embargo, como lo discuten Hall y Lerner (2010), la variación de la relación $(bt-1/bt)$ es difícil de medir, siendo que en la práctica ésta no es constante a través de las firmas y entre períodos de tiempo. Los autores sugieren que una posible solución a este problema es incorporar la variable de flujo de caja sobre el *stock* de capital como proxy del costo del uso del capital y, además, incorporar variables indicadoras de tiempo d_{t+1} . Así, es ésta la estrategia empírica que se utiliza en la siguiente sección para corregir las limitaciones que se pueden presentar en el modelo de la ecuación de Euler.

C. Consideraciones econométricas

Es importante observar dos aspectos relacionados con la estimación econométrica de las ecuaciones (1.7) y (2.6). En primer lugar, a la hora de calcular el *stock* de capital para las actividades de innovación de las empresas, este cálculo es bastante complejo si se tienen series muy cortas de inversión en actividades de innovación, por lo cual los métodos tradicionales para el cálculo de este *stock*, como el método de inventarios perpetuos, no es el más práctico en estos casos. Además, para elaborar los mencionados cálculos se debe asumir una tasa de depreciación para el *stock* de capital de innovación, que en la práctica es complejo de determinar, debido en gran parte a su alto grado de intangibilidad. Con el fin de solucionar estos dos problemas, para aproximar el *stock* de actividades de innovación en este trabajo se utiliza el *stock* de activos totales de la empresa como factor de escala. Esta metodología tiene precedentes en la literatura: Baker et ál. (2003) y Brown et ál. (2009). Según estos autores, aproximar el *stock* de conocimiento de las empresas a través del *stock* de capital es una buena proxy para dicha variable siendo que, ante la ausencia de una serie larga de inversiones en $I+D$, el uso del método de inventario perpetuo para los cálculos del *stock* de $I+D$ es inviable. En este sentido, la variable de activos totales de la empresa sirve como factor de escala en las ecuaciones (1.7) y (2.6). No obstante, vale la pena subrayar que esta aproximación genera errores de medición, si bien éstos, según Baker et ál. (2003) y Brown et ál. (2009), pueden ser menores en

comparación con la utilización de la metodología del inventario perpetuo y la asignación de una tasa de depreciación para los activos de $I+D$.

De esta manera, sustituyendo por (*stock* de activos totales de la empresa) en las ecuaciones (1.8) y (2.8) se tiene que estas dos ecuaciones se pueden expresar de la siguiente manera:

$$\frac{I_{i,t}^s}{TA_{i,t-1}} = \varphi_1 \frac{I_{i,t-1}^s}{TA_{i,t-2}} + \varphi_2 \Delta y_{i,t} + \varphi_3 \Delta y_{i,t-1} + \varphi_4 (ta_{i,t-2} - y_{i,t-2}) + \varphi_5 \frac{FC_{i,t}}{TA_{i,t-1}} + \varphi_6 \frac{FC_{i,t-1}}{TA_{i,t-2}} + \alpha_1 + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1.7')$$

$$\left(\frac{I^s}{TA}\right)_{i,t+1} = \beta_1 \left(\frac{I^s}{TA}\right)_{i,t} - \beta_2 \left(\frac{I^s}{TA}\right)_{i,t}^2 - \beta_3 \left(\frac{\Pi}{TA}\right)_{i,t} + \beta_4 \left(\frac{Y}{TA}\right)_{i,t} + \alpha_1 + \lambda_{t+1} + \varepsilon_{i,t+1} \quad (2.6')$$

Mirando entonces tanto la ecuación de modelo acelerador de la inversión con corrección de error neoclásico para las actividades de innovación (1.7') como la ecuación de Euler para inversiones en innovación (2.6'), se tiene que para los dos casos entre las variables independientes se encuentran las variables dependientes rezagadas; esto genera problemas de endogeneidad, por lo cual la estimación de (1.7') y (2.6') por MCO y Efectos Fijos no son consistentes debido a la correlación de los regresores con el término de error. Para resolver este problema se estiman las ecuaciones (1.7') y (2.6')

en primeras diferencias para eliminar los efectos fijos específicos de cada firma, y estimando estas ecuaciones utilizando el Método Generalizado de Momentos (GMM), donde se instrumenta con las diferencias y los niveles de las variables endógenas, mediante la estimación propuesta por Arellano y Bover (1995) y Blundell y Bond (1998).

El estimador propuesto por estos autores se conoce en la literatura como el *System GMM*. Esta metodología estima un sistema formado por una ecuación en diferencias, que se instrumenta con los niveles de las variables endógenas, y otra en niveles que se instrumenta con las diferencias de las variables endógenas. La consistencia de este estimador depende de la validez de dos supuestos. Por un lado, el término del error, ε_t , no debe presentar correlación serial, y por otro la validez conjunta de los instrumentos. Para probar estos dos supuestos, Arellano y Bond (1991) propusieron dos pruebas. La primera prueba examina el supuesto de no correlación serial en los términos del error, probando si el término del error diferenciado está serialmente correlacionado de segundo orden. La segunda prueba es la prueba de Sargan³¹, que prueba la validez conjunta de los instrumentos.

Este estimador logra solucionar el problema de instrumentos débiles que se pueden presentar debido al hecho de tener series que tengan alta persisten-

³¹ La prueba de Sargan se basa en un estadístico cuya distribución es X^2 con $(r - k)$ grados de libertad.

cia. Cuando una serie presenta alta persistencia, los instrumentos se vuelven débiles, lo que en términos generales significa que ya no cumple con una de las condiciones que se le exige a un instrumento, la cual dice que un buen instrumento debe estar altamente correlacionado con la variable que va a ser instrumentada. De esta manera, este método de estimación soluciona los problemas que se pueden presentar a través de la estimación propuesta por Arellano y Bond (1991), donde se sugiere utilizar todos los instrumentos disponibles de la diferencia de los rezagos, y una estimación por GMM bajo la hipótesis de no correlación serial de los errores.

V. Datos

De acuerdo con la literatura revisada y el marco teórico expuesto anteriormente, para poder probar empíricamente la existencia de restricciones financieras para las inversiones en innovación se construyó un panel de datos que recoge, a nivel de la firma, información sobre inversiones en actividades de innovación, sobre la estructura de producción y financiera de las empresas. Para la construcción de este panel se utilizaron principalmente dos bases de datos. La primera proviene de

la Encuesta Anual Manufacturera (EAM) realizada por el Departamento Nacional de Estadística, DANE, a nivel de firma³². La EAM recoge información detallada de la industria manufacturera que permite conocer a profundidad la estructura, las características y la evolución de la industria. Esta encuesta está dirigida a las empresas manufactureras del país con más de 10 trabajadores y/o ventas superiores a 120 millones de pesos de 2007. Las variables relevantes utilizadas de la EAM para los fines de este trabajo son: la producción bruta, el valor de las ventas al exterior, el empleo total y la composición del capital social de las empresas. Adicionalmente, hay información detallada sobre el valor en libros de los activos físicos, separados en activos depreciables y no depreciables. Esta encuesta, además de recoger información sobre la estructura de producción y de mercado de las firmas, también contiene información sobre inversiones en actividades de innovación llevadas a cabo por las firmas³³, la cual es la base para la construcción de las variables dependientes del modelo acelerador de la inversión y el modelo de la ecuación de Euler. Dado que esta información sólo aparece a partir del año 2000, el panel se construye desde este año hasta el año 2007³⁴.

³² Es importante resaltar que en la Encuesta Anual Manufacturera (EAM), que corresponde a un panel longitudinal a nivel de planta del sector manufacturero, la información relevante para este trabajo se puede agregar a nivel de firma.

³³ Desde el año 2000 hasta el 2008 Colciencias ha financiado un módulo en EAM, en donde las empresas reportan cinco tipos de inversiones en actividades de innovación para la industria manufacturera: i) tecnologías incorporadas al capital; ii) tecnologías de gestión; iii) tecnologías transversales; iv) proyectos de I+D; y v) capacitación tecnológica.

³⁴ En la actualidad sólo hay información de la EAM hasta el año 2007.

La segunda base de datos corresponde a la información financiera de las empresas, obtenida de las hojas de balance recolectadas por la Superintendencia de Sociedades. A partir de esta base de datos se construye la variable de flujo de caja de las empresas. Es importante señalar que esta base de datos tiene un sesgo natural, ya que sólo contiene las firmas que por ley tienen que reportar a la Superintendencia de Sociedades³⁵ y, en particular, la información financiera para empresas pequeñas es muy reducida. Por otro lado, en 2005 hubo un cambio importante en la cantidad de firmas registradas en la base de datos debido a que, a partir de este año, la Superintendencia de Sociedades ha venido desarrollando el Sistema de Información y Riesgo Empresarial (SIREM) que ha incentivado a las empresas a dar información sobre sus estados financieros³⁶.

La gran ventaja de utilizar estas bases de datos es que se pueden cruzar a través de un identificador por empresa (Número de Identificación Tributaria-NIT), lo que permite utilizar simultáneamente la información de la EAM y la información de la Superintendencia de Sociedades. Sin embargo, la

desventaja es que no todas las empresas incluidas en la EAM reportan su información financiera a la Superintendencia de Sociedades; entre 2000 y 2004 el promedio de firmas que aparecen en las dos bases es de alrededor de 2.173 empresas, y entre 2005 y 2007 este promedio asciende a 3.374. Así, es importante resaltar que esta unión entre bases de datos, y la consecuente exclusión de un porcentaje de firmas, implica la generación de ciertos sesgos en las estimaciones. En particular, es de esperar que las estimaciones estén segadas negativamente, debido a que las empresas pequeñas que sobreviven el cruce entre las dos bases de datos son empresas que en términos generales tienen un mejor desempeño, y por lo tanto, son empresas que están menos restringidas que las empresas que aparecen en la base de datos de la EAM pero no en la de Supersociedades.

A partir de la unión de estas dos bases de datos se construyó un panel en el que se utilizaron dos criterios para depurarlo. El primer criterio sigue a Cincera (2003) y lleva a eliminar las observaciones de aquellas firmas que no aparecen en la base de datos durante al menos dos años seguidos³⁷. El

³⁵ La ley 222 de 1995, en su Art. 83 define que, dependiendo de la razón social de empresas, éstas deben ser inspeccionadas, vigiladas y controladas por la Superintendencia de Sociedades.

³⁶ Entre 2000 y 2004 el promedio de firmas de la base de datos era de 8.700 firmas, entre 2005 y 2007 este promedio asciende a 21.400 firmas.

³⁷ Este criterio es importante para el análisis descriptivo ya que evita posibles sesgos generados por empresas que aparecen en el panel durante un periodo de tiempo muy corto, además de que permite la estimación de los modelos a través del Método Generalizado de Momentos en Sistema (*System GMM*).

segundo criterio de depuración tiene que ver con los criterios que permitieron identificar los *outliers*, para lo cual se siguió la metodología Bond et ál. (2003) y Delgado (2004), donde se eliminaron los centiles más bajos y altos de las variables de las ecuaciones (1.7') y (1.6'). El Cuadro 5 recapitula el total de firmas que hay en cada año después del proceso de depuración.

Cuadro 5
NÚMERO DE FIRMAS POR AÑO EN EL PANEL,
SIN DEPURAR Y DEPURADO

Año	Sin depurar	Depurado
2000	2.184	1.584
2001	2.121	1.651
2002	2.196	1.787
2003	2.197	1.852
2004	2.171	1.919
2005	3.102	2.507
2006	3.572	2.775
2007	3.448	2.603
Observaciones totales	20.991	16.678

Fuente: Cálculos del autor con el cruce de la EAM y la base de datos de la Superintendencia de Sociedades, 2000-2007.

VI. Análisis econométrico y resultados

Para las estimaciones de las ecuaciones (1.7') y (2.6') se utilizó el método *GMM System* en dos etapas.

Para la eliminación de las posibles correlaciones entre los efectos individuales y las variables explicativas, las estimaciones se realizaron en primeras diferencias y los instrumentos utilizados para cada especificación fueron las variables endógenas en niveles retardadas en $t-2$, $t-3$, $t-4$ y $t-5$, y la diferencia de las variables endógenas en $t-1$. Adicionalmente, en los Anexos 1, 2 y 3 se presentan en detalle las estadísticas descriptivas de los dos modelos, al igual que la definición de las variables.

Por otro lado, se realizaron dos tipos de estimaciones para cada uno de los dos modelos presentados anteriormente. Para la primera estimación se utilizó la suma de todos los tipos de inversiones en actividades de innovación que no están asociadas con inversiones de $I+D$, como variable dependiente³⁸, y en la segunda se utilizó solamente la suma de las inversiones relacionadas con $I+D$ ³⁹. En los Cuadros 6 y 7 se presentan los resultados de las estimaciones de los dos modelos básicos. Además, se presentan los resultados de estos mismos modelos aumentados por otras variables que intentan capturar los efectos del tamaño de la empresa, los efectos del capital extranjero y los efectos de las restricciones financieras para las inversiones en innovación de las empresas exportadoras.

³⁸ Ésta incluye los rubros de: adquisición de maquinaria y equipo nuevo destinado a la modernización tecnológica, adquisición de nuevas tecnologías de información y comunicaciones, inversiones en asesoría y capacitación en nuevas tecnologías para el personal ocupado, gastos de control, aseguramiento y certificaciones de la calidad.

³⁹ Inversiones en tecnologías desarrolladas por la empresa, y adquisición de equipos de laboratorios y otros equipos especiales utilizados en actividades de $I+D$.

A. Resultados del modelo acelerador de la inversión con corrección de error

A partir de los resultados en las columnas (1) del Cuadro 6, los cuales tienen que ver con la ecuación básica del modelo acelerador de la inversión con corrección de error, se puede ver que el modelo está bien especificado debido a que el signo del término de corrección de error, $ta_{i,t-2} - y_{i,t-2}$, es negativo y significativo al 1%. Por otro lado, los resultados muestran que las inversiones en actividades de innovación y en actividades de $I+D$ de la firma dependen negativa y significativamente del cambio porcentual de las ventas de la empresa en el período t , y dependen positiva y significativamente del cambio porcentual de las ventas en el período $t-1$. Los coeficientes que acompañan las variables de flujo de caja tienen signos positivos y son significativos al 1%. Ello sugiere que las empresas dependen de la generación de recursos internos para financiar sus proyectos de inversión en actividades de innovación e $I+D$, reflejando el hecho de que están financieramente restringidas. Sin embargo, a la hora de analizar los valores de los coeficientes que acompañan el flujo de caja de las empresas se observa que, en el largo plazo, las inversiones en $I+D$ están más restringidas financieramente que las inversiones en actividades de innovación diferentes a $I+D$.

Por otro lado, con el fin de determinar si las empresas con capital extranjero tienen una mayor incidencia en las inversiones en actividades de

innovación y $I+D$ se construyó una variable dicotoma que es igual a uno para las firmas que tienen un porcentaje del capital extranjero mayor al 20% y cero en caso contrario. Además, se adicionaron los productos cruzados de esta variable con las variables de flujo de caja, con el fin de capturar los efectos de las restricciones financieras sobre dicho grupo de empresas. Los resultados (columna 2) muestran dos conclusiones interesantes: por un lado, con respecto a las inversiones en actividades de innovación se puede ver que las empresas con capital extranjero invierten más y están menos restringidas financieramente que las empresas nacionales (el coeficiente que acompaña el producto cruzado entre la variable capital extranjero y el flujo de caja de las empresas es negativo y significativo). Sin embargo, mirando la misma columna pero para las actividades relacionadas con $I+D$ se observa que las empresas que tienen capital extranjero invierten menos en este tipo de actividades y están menos restringidas (los coeficientes que los acompañan son negativos y significativos). Esto muestra que las empresas que tienen capital extranjero, por lo general en Colombia deciden realizar más inversiones en adaptación de tecnologías que en proyectos de $I+D$, dado que dichas inversiones comúnmente se realizan en la casa matriz. Este resultado coincide con los resultados encontrados por Holland y Pain (1998) para el caso de las economías de Europa oriental.

Las estimaciones presentadas en las columnas (3) evalúan la incidencia que tienen las restriccio-

Cuadro 6
RESULTADOS DEL MODELO ACELERADOR DE LA INVERSIÓN CON CORRECCIÓN DE ERROR PARA
LAS ACTIVIDADES DE INNOVACIÓN EN COLOMBIA, 2000-2007

Variables	Innovación					(I+D)				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
I(t-1)/TA(t-2)	0,1579 *** (0,039)	0,1352 *** (0,042)	0,1013 *** (0,029)	0,1025 *** (0,043)	0,1003 *** (0,028)	0,3156 ** (0,130)	0,2724 *** (0,101)	0,2733 *** (0,047)	0,2457 *** (0,069)	0,1624 *** (0,043)
$\Delta Y(t)$	-0,0696 * (0,042)	-0,0664 (0,042)	-0,0632 (0,077)	-0,0587 (0,043)	-0,0511 (0,049)	0,0019 ** (0,001)	0,0032 (0,003)	0,0004 (0,002)	0,0037 (0,003)	0,0004 (0,002)
$\Delta Y(t-1)$	0,0349 *** (0,001)	0,0018 *** (0,001)	0,0022 *** (0,000)	0,0015 *** (0,000)	0,0012 *** (0,000)	0,0039 *** (0,001)	0,0027 *** (0,001)	0,0013 ** (0,001)	0,0001 ** (0,000)	0,0000 ** (0,000)
(ta-y)t-2	-0,0290 *** (0,010)	-0,0247 ** (0,010)	-0,0254 ** (0,011)	-0,0118 *** (0,004)	-0,0132 *** (0,005)	-0,0641 *** (0,008)	-0,0571 *** (0,008)	-0,0272 *** (0,006)	-0,0224 ** (0,010)	-0,0141 ** (0,006)
FC(t)/TA(t-1)	0,0253 *** (0,005)	0,0246 ** (0,011)	0,0242 ** (0,011)	0,0226 ** (0,009)	0,0122 ** (0,005)	0,0432 *** (0,005)	0,0393 ** (0,018)	0,0263 ** (0,010)	0,0247 ** (0,010)	0,0147 ** (0,006)
FC(t-1)/TA(t-2)	0,0205 ** (0,010)	0,0150 ** (0,011)	0,0195 ** (0,014)	0,017 ** (0,012)	0,0019 * (0,001)	0,0361 *** (0,008)	0,0315 ** (0,013)	0,0242 ** (0,010)	0,0191 * (0,008)	0,0123 ** (0,005)
Extranjera(t)		0,0262 *** (0,005)			0,0181 (0,276)		-0,0131 ** (0,006)			0,0056 (0,004)
(FC(t)/TA(t-1))*Ext.		-0,0161 *** (0,003)			-0,004 (0,008)		-0,0110 * (0,006)			-0,0004 (0,002)
(FC(t-1)/TA(t-2))*Ext.		-0,0185 *** (0,003)			-0,0058 (0,007)			-0,0026 * (0,001)		-0,0032 (0,003)
Exportadora (t)			0,0164 ** (0,008)		0,0022 ** (0,001)			0,0107 *** (0,001)		0,0039 *** (0,001)
(FC(t)/TA(t-1))*Exportadora			-0,0112 ** (0,004)		-0,0019 * (0,001)			-0,0020 ** (0,001)		-0,0013 ** (0,001)
(FC(t-1)/TA(t-2))*Exportadora			-0,0013 ** (0,001)		0,0004 (0,001)			-0,0018 ** (0,001)		-0,0012 ** (0,000)
Ln(empleo) (t)				0,0124 *** (0,003)	0,0029 *** (0,001)				0,0254 *** (0,005)	0,0191 *** (0,006)
(FC(t)/TA(t-1))*Ln(empleo)				-0,0053 *** (0,002)	-0,0011 *** (0,000)				-0,0174 ** (0,006)	-0,0008 * (0,000)
(FC(t-1)/TA(t-2))*Ln(empleo)				-0,0000 ** (0,000)	-0,0000 * (0,000)				-0,0016 ** (0,001)	-0,0005 * (0,000)
Año	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Test de Sargan (p-value)	0,781	0,703	0,842	0,649	0,673	0,635	0,621	0,676	0,712	0,732
M1	-9,301	-8,303	-10,04	-10,04	-10,31	-12,14	-12,14	-9,058	-9,612	-13,16
M1(p-value)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M2	0,332	0,203	0,505	0,505	0,530	0,328	0,328	0,206	0,354	0,400
M2(p-value)	0,740	0,839	0,614	0,614	0,596	0,743	0,743	0,837	0,723	0,689
Observaciones	13.696	13.696	13.696	13.696	13.696	13.696	13.696	13.696	13.696	13.696
Número de firmas	2.775	2.775	2.775	2.775	2.775	2.775	2.775	2.775	2.775	2.775

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1. Errores estándar robustos en paréntesis.

nes financieras en las decisiones de inversión en actividades de innovación e *I+D* para las empresas exportadoras. Para esto se construyó una variable dicotómica que toma el valor de uno para las empresas que exportan al menos un 30% de su producción y cero en caso contrario. Los resultados muestran que las empresas exportadoras invierten más en actividades de innovación y en actividades relacionadas con *I+D* y están menos restringidas financieramente que las empresas que no exportadoras (tanto el coeficiente que acompaña a la variable exportadora, como el producto cruzado de ésta con el flujo de caja son significativos y presentan los signos esperados).

Con el fin de determinar si el tamaño de las firmas incide en el comportamiento de inversión en actividades de innovación e *I+D*, en columnas (4) del mismo cuadro se puede ver que las empresas a medida que aumentan de tamaño, medido como el logaritmo natural del número de trabajadores, invierten más en innovación e *I+D* y están menos restringidas financieramente, debido a que los coeficientes que los acompañan son negativos y significativos. Ante la presencia de asimetrías de información en los mercados de crédito, como lo afirma Fazzari et ál. (1988), las empresas de mayor tamaño tienen acceso a un mayor número de fuentes de financiamiento externo, y esto puede explicar que tengan mayores niveles de inversión en actividades de innovación e *I+D*, en comparación con las empresas de menor tamaño.

En las columnas (5) se evalúan la robustez de los resultados encontrados anteriormente, incorporando, al mismo tiempo, los efectos del tamaño de la empresa, los efectos del capital extranjero y los efectos de las restricciones financieras para las inversiones en innovación de las empresas exportadoras. Los resultados de la columnas (1) se mantienen. En particular, se encuentra que las empresas están restringidas financieramente para realizar inversiones en actividades de innovación e *I+D* (el coeficiente que acompaña la variable flujo de caja de las empresas es positivo y significativo). Adicionalmente, controlando por tamaño y por el carácter exportador de las empresas no se encuentra evidencia que muestre que las empresas extranjeras invierten más en actividades de innovación y están menos restringidas financieramente; además, no se encuentra evidencia para este grupo de empresas de que los niveles de inversión en *I+D* sean menores en comparación con las empresas que no tienen capital extranjero.

En cuanto a los resultados del modelo acelerador de la inversión para las actividades de innovación obtenidos en el Cuadro 6, se observa que, tanto para inversiones en actividades de innovación como para *I+D*, el contraste de las restricciones de sobreidentificación, que indica la ausencia de correlación entre los instrumentos y el término de error, se acepta de manera similar para todas las especificaciones de las ecuaciones. Además, para todas las especificaciones de este modelo, la

hipótesis de correlación serial de segundo orden en los residuos es siempre rechazada en todas las especificaciones de la ecuación del modelo acelerador de la inversión, tanto para inversiones en actividades de innovación como para inversiones relacionadas solamente con $I+D$.

Como se mencionó en el marco teórico con respecto a este tipo de modelos, en el momento de interpretar la significancia de los coeficientes de las variables del flujo de caja se puede dar el caso de que dicha significancia puede estar indicando tanto la presencia de shocks de demanda como la existencia de restricciones de liquidez. En particular este enfoque, en lugar de aportar evidencia sobre restricciones de liquidez, puede estar aproximando las oportunidades de inversiones futuras. A continuación se presentan los resultados de la ecuación de Euler que permiten verificar la robustez de los resultados obtenidos con el modelo acelerador de la inversión⁴⁰.

B. Resultados del modelo de la ecuación de Euler

Como se mencionó en el marco teórico, se espera que bajo la hipótesis nula de inexistencia de

restricciones de liquidez, se espera que el valor de los coeficientes de la ecuación (2'6) sean: $\beta_1 \geq 1$, $\beta_2 \geq 1$, y $\beta_3 > 0$. Bajo la hipótesis alternativa de restricciones de liquidez, la ecuación (2.6') estaría incorrectamente especificada. En particular, en presencia de restricciones de liquidez, la inversión debería estar positivamente influenciada por el flujo de caja⁴¹. De esta manera, el signo negativo esperado para no se obtendría.

Los resultados de la estimación básica del modelo de Euler (columna 1 del Cuadro 7) muestran que las inversiones en actividades de innovación y en $I+D$ de la firma dependen positiva y significativamente de la inversión rezagada y de la relación entre ventas y *stock* de capital. El coeficiente que acompaña al flujo de caja tiene un signo positivo y es significativo al 1%. Ello sugiere que las empresas que esperan invertir más en actividades de innovación en el futuro acumulan efectivo, pero esto lo hacen porque esperan estar financieramente restringidas. Al igual que el modelo acelerador de la inversión con corrección de error, se observa que el flujo de caja de las empresas afecta en el largo plazo a las inversiones en innovación en 0,0284 para las inversiones en actividades de innovación, y 0,0398 para inversiones en $I+D$. De estos dos resultados se

⁴⁰ Como se mencionó anteriormente, Bond et ál. (2004) afirman que el modelo de la ecuación de Euler es un buen medio para revisar la robustez de los resultados del modelo acelerador de la inversión.

⁴¹ El flujo de caja en el modelo de la Ecuación de Euler para este trabajo se representa como $[\]$.

Cuadro 7
RESULTADOS DEL MODELO DE LA ECUACIÓN DE EULER PARA LAS ACTIVIDADES DE
INNOVACIÓN EN COLOMBIA, 2000-2007

Variables	Innovación					(I+D)				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
(I/TA)(t-1)	0,1879 *** (0,038)	0,1734 *** (0,039)	0,1624 *** (0,043)	0,1648 ** (0,065)	0,1450 *** (0,043)	-0,2734 *** (0,080)	-0,2084 *** (0,046)	-0,2050 *** (0,045)	0,1950 *** (0,042)	0,1731 *** (0,038)
(I/TA)^2(t-1)	-0,0215 (0,119)	-0,0211 (0,133)	-0,0197 (0,117)	-0,022 (0,132)	-0,0181 (0,114)	0,0395 (0,054)	-0,0344 (0,079)	0,0334 (0,022)	0,0349 (0,053)	0,0332 (0,053)
(II/TA)(t-1)	0,0284 *** (0,007)	0,0257 *** (0,004)	0,0163 *** (0,003)	0,0143 *** (0,002)	0,0119 *** (0,003)	0,0398 *** (0,012)	0,0352 *** (0,008)	0,0222 *** (0,002)	0,0241 *** (0,002)	0,0204 *** (0,002)
(Y/TA)(t-1)	0,0010 *** (0,000)	-0,0008 ** (0,000)	-0,0006 ** (0,000)	-0,0007 ** (0,000)	-0,0003 (0,0003)	-0,0004 ** (0,0002)	-0,0001 (0,0001)	-0,0003 (0,0003)	-0,0003 (0,0003)	-0,0001 (0,0001)
Extranjera(t)		0,0140 *** (0,002)			0,0069 (0,009)		-0,0133 *** (0,001)			-0,0012 * (0,001)
(II/TA)(t-1)*Ext.		-0,0118 ** (0,005)			-0,0059 (0,082)		-0,0109 *** (0,003)			-0,0058 (0,006)
Exportadora(t)			0,0174 *** (0,006)		0,0112 ** (0,004)			0,0108 ** (0,004)		0,0045 ** (0,0021)
(II/TA)(t-1)*Exportadora			-0,0089 *** (0,003)		-0,0012 ** (0,0006)			-0,0085 * (0,005)		-0,0018 * (0,0009)
Ln(empleo)(t)				0,0122 *** (0,003)	0,0056 ** (0,002)				0,0145 *** (0,004)	0,0046 ** (0,002)
(II/TA)(t-1)*Ln(empleo)				-0,0096 *** (0,003)	-0,0016 ** (0,001)				-0,0050 * (0,003)	0,0014 * (0,001)
Año	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Test de Sargan (p-value)	0,001	0,001	0,003	0,006	0,009	0,012	0,033	0,043	0,049	0,052
M1	-22,89	-24,18	-23,02	-22,51	-23,16	-22,81	-22,55	-22,85	-22,29	-22,82
M1 (p-value)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M2	-0,32	-0,52	-0,64	-0,68	-0,53	-0,34	-0,34	-0,57	-0,72	-0,73
M2 (p-value)	0,752	0,603	0,520	0,495	0,593	0,737	0,733	0,572	0,469	0,463
Observaciones	13.696	13.696	13.696	13.696	13.696	13.696	13.696	13.696	13.696	13.696
Número de firmas	2.775	2.775	2.775	2.775	2.775	2.775	2.775	2.775	2.775	2.775

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1. Errores estándar robustos en paréntesis.

puede concluir, al igual que en el modelo anterior, que existe un efecto mayor de las restricciones de liquidez sobre las inversiones en $I+D$ que sobre las inversión en actividades de innovación.

Los resultados presentados en las columnas (2) del Cuadro 7 muestran de nuevo que las empresas con capital extranjero invierten más que las empresas nacionales en inversiones en actividades de innovación, pero menos en actividades de $I+D$. Adicionalmente, la interacción con el flujo de caja muestra que éstas están menos restringidas que las empresas nacionales.

Con respecto a las interacciones del flujo de caja de la empresa con el hecho de que la empresa exporte, y con la medida del tamaño, presentadas en las columnas (3) y (4) respectivamente, se corroboran los resultados encontrados en el modelo acelerador con corrección de error para las inversiones en innovación, en donde se muestra que las empresas que exportan invierten más en innovación e $I+D$ y están menos restringidas que las empresas que no exportan. Además, a mayor tamaño de las empresas, mayor la inversión y menor la restricción financiera.

El estadístico de Sargan de sobreidentificación de restricciones, presentado en la parte inferior del Cuadro 7, sugiere que las condiciones de ortogonalidad no se satisfacen. Este resultado puede estar indicando que la hipótesis nula de la inexistencia de imperfecciones en los mercados financieros de

este modelo se rechaza con un nivel de confianza de 99%. Según la teoría de la ecuación de Euler presentada por Audretsch y Elton (2002) y de Brown et ál. (2009), cuando las firmas no enfrentan ningún tipo de restricción financiera, las restricciones crediticias son poco importantes, por lo que el precio sombra del uso del capital es igual a 0. Esto llevaría a decir que el modelo presentado en la ecuación (2.6') sí se ajusta y que las condiciones de ortogonalidad no se rechazarían (no se rechaza la prueba de Sargan). Por el contrario, ante imperfecciones en los mercados de capitales, con un precio sombra del uso del capital mayor a cero, las condiciones de ortogonalidad se deberían rechazar (se rechaza la prueba de Sargan), dado que la ecuación (2.6') supone el acceso perfecto a los mercados de capitales. En este sentido, según el valor del Sargan encontrado en las estimaciones del Cuadro 7, sería posible afirmar que el modelo de mercados de capitales perfectos no se ajusta para las inversiones en actividades de innovación e inversiones de $I+D$ en Colombia.

No obstante, el resultado de esta prueba también puede ser un indicador de que el modelo tiene problemas de especificación y que es probable que la aproximación mediante ecuación de Euler no se ajuste al problema empírico en cuestión con los datos aquí utilizados. Bajo esta consideración, la estimación de la ecuación de Euler no permitiría concluir con robustez algún resultado respecto a las restricciones financieras para la inversión en innovación. Una alternativa para probar el modelo sería estimarlo por grupos de tamaños de firmas,

como lo propone Harhoff (1998), con el fin de identificar patrones distintos, en términos del rechazo de la prueba de Sargan, dado que se esperaría que las firmas pequeñas estuvieran más restringidas financieramente que las firmas grandes y que por lo tanto no se rechazaran las condiciones de ortogonalidad para éstas. Sin embargo, con la base de datos aquí utilizada no es posible llevar a cabo tal ejercicio.

Por otro lado, los resultados de la ecuación de Euler muestran que en el momento de interpretar la significancia de los coeficientes de las variables del flujo de caja en el modelo de acelerador de la inversión con corrección de error, éstos están indicando existencia de restricciones de liquidez y no la presencia de shocks de demanda.

VII. Conclusiones

Este trabajo analiza el papel que juegan las restricciones financieras en la explicación del comportamiento inversor en actividades de innovación e *I+D* para una muestra de empresas manufactureras durante el período 2000-2007. En Colombia, aunque existen investigaciones empíricas que estudian la relación entre variables financieras de las empresas y el comportamiento inversor para inversiones en capital físico, no hay, hasta este estudio, trabajos que analicen estos mismos efectos específicamente para inversiones en actividades de innovación, y en particular para actividades de investigación y desarrollo (*I+D*).

En el caso colombiano existe un considerable rezago en materia de innovación; la inversión en *I+D* como porcentaje del PIB es de 0,16% y menos del 30% es financiado por empresas privadas. Estos niveles son considerablemente bajos, inclusive en comparación con países de la región. Por ejemplo, en Brasil y Chile el gasto en *I+D* como proporción del PIB es de 1,11% y 0,67% respectivamente. Esto tiene un efecto negativo sobre los niveles de productividad de las empresas, y por ende en el crecimiento. Este estudio sugiere que uno de los factores que limita la innovación en la industria es la falta de recursos financieros para llevar a cabo actividades de innovación. Las cifras de la estructura de financiamiento, de las inversiones en innovación, muestran que las empresas manufactureras financian estas actividades en un 64%, con sus recursos propios, lo que sugiere que enfrentan restricciones financieras para este tipo de actividades.

La evidencia econométrica confirma como resultado principal que las empresas manufactureras en Colombia presentan una alta dependencia de la capacidad de generar recursos internos a la hora de emprender sus proyectos de innovación, lo que indica la existencia de restricciones financieras. Por otra parte, se encuentra que las inversiones en *I+D* están más restringidas financieramente en comparación con los otros tipos de inversiones relacionadas con actividades de innovación, puesto que este tipo de inversiones presenta un mayor riesgo dada su naturaleza intangible y sus altos costos de ajuste.

Por otra parte, este trabajo muestra que las empresas que tienen capital social extranjero invierten más en adaptación de tecnologías en el país, pero invierten menos en proyectos de *I+D*. Además, para los dos tipos de inversión, dichas empresas están menos restringidas financieramente que las empresas nacionales. Este hecho corrobora que las empresas con capital social extranjero deciden invertir en *I+D* en su país de origen y adaptar la tecnología en Colombia. Lo anterior se puede explicar por la falta de un adecuado capital humano para adelantar proyectos de *I+D* en Colombia, lo cual puede repercutir en aumentos en los costos de inversión de este tipo de proyectos (Alvarado, 2000).

Adicionalmente, los resultados muestran que las empresas exportadoras, dada su necesidad de ser competitivas en el mercado internacional (y de mantenerse) tienen que invertir en proyectos de innovación. La evidencia econométrica aquí presentada muestra que este tipo de empresas invierte más que las no exportadoras, lo que en parte puede explicarse porque están menos restringidas financieramente. Según Echavarría et ál. (2006), una condición necesaria para que las empresas puedan exportar es que puedan generar unos beneficios relativamente altos, que les permitan tener unos flujos de efectivo considerables, y de esta manera hacer un menor uso de la deuda para financiar sus proyectos de inversión.

Con respecto al tamaño de las empresas, las estimaciones muestran que ésta es una variable importante en la relación entre innovación y restricciones financieras. Como se ha encontrado en diversos trabajos⁴², las firmas de mayor tamaño invierten más en innovación y están menos restringidas financieramente, tanto para el total de las inversiones en innovación como para las inversiones relacionadas solamente con *I+D*.

Por último, este estudio permite extraer conclusiones de política económica relacionadas con aspectos financieros que afectan las decisiones empresariales de inversión en proyectos de innovación. Como se vio en la revisión de la literatura, el financiamiento de la inversión en actividades relacionadas con la innovación se puede realizar a través de: i) disponibilidad de fondos internos (retención de utilidades), y ii) recursos externos (endeudamiento y/o emisión de acciones). La primera recomendación está enfocada en crear unas condiciones que le permitan a las empresas liberar caja para el financiamiento de los proyectos de innovación, en particular para los proyectos de *I+D*. Como se vio en este trabajo, las inversiones en *I+D* están más restringidas que otras actividades de innovación, puesto que involucran mayor riesgo y no tienen ningún tipo de activo físico como colateral; en este sentido, no cabe duda de que la resolución de dichos

⁴² Audretsch y Elston (2002), Cincera (2003), Bond et ál. (2003), Scellato (2006), Ughetto (2006; 2007), y Brown et ál. (2009).

problemas demanda más esfuerzos públicos en términos de financiamiento, para incentivar una mayor inversión en activos intangibles como *I+D*. Una posible solución que puede adoptar el gobierno es revisar la política de utilización de medidas fiscales para fomentar las inversiones en *I+D*. Actualmente en el país existen incentivos fiscales como la deducción al impuesto de renta por inversiones en *I+D* y la exención de pago del IVA a las importaciones de equipos destinados a proyectos de *I+D*⁴³. Sin embargo, es necesario que el gobierno promocióne o socialice la utilización de estas medidas en las empresas de menor tamaño. En este sentido, el trabajo de Mercer-Blackman (2008) muestra que en Colombia la elasticidad de la demanda por inversiones en *I+D* es bastante alta en comparación con otros países, en particular en las empresas de menor tamaño; sin embargo, la autora encuentra que los beneficios directos de la política de incentivos fiscales, para las inversiones en *I+D*, han sido mínimos, y en gran parte, se debe a la baja socialización que han realizado los diferentes gobiernos de este tipo de políticas en las empresas PYMES del país. Es claro que una promoción de este tipo de política por parte del gobierno hacia las PYMES podría ayudarlas con el fin de que puedan liberar flujo de caja y, de esta manera, mejorar la capacidad de generación interna de recursos para la inversión.

La segunda recomendación de política está enfocada en mejorar el acceso al mercado financiero para las empresas que deciden invertir en actividades relacionadas con la innovación. En este sentido, es importante que el gobierno pueda implementar las estrategias planteadas en el CONPES 3582 de 2009, en el cual una de las propuestas es facilitar el acceso a los mercados financieros y de capitales para las pequeñas y medianas empresas. Por un lado, es importante que las empresas pequeñas y medianas (Pymes) puedan acceder a la financiación pública a través de las líneas de crédito que ofrece Colciencias, con el fin de poder financiar sus proyectos de innovación. Como se vio en los hechos estilizados de este trabajo, las empresas de mayor tamaño son las que tienen una mayor capacidad para atraer recursos de capital y acceder a instrumentos de política pública para el desarrollo de la ciencia, tecnología e innovación; por el contrario, las empresas pequeñas y medianas no utilizan las fuentes de financiamiento público debido a que existen obstáculos, tanto en la oferta como en la demanda de este tipo de crédito.

Según el documento CONPES 3582, los obstáculos por el lado de la oferta se deben a la falta de articulación, y al bajo nivel de difusión y promoción de esta línea de créditos para financiar los proyectos innovadores de las Pymes. Con respecto

⁴³ Ley 633 de 2000.

a los obstáculos por el lado de la demanda, éstos tienen que ver con la escasa conciencia que posee este tipo de empresas acerca de la importancia de la innovación en el mejoramiento de su desempeño.

De igual manera, se ha identificado que las empresas de menor tamaño desconocen las líneas de crédito que ofrece el Gobierno Nacional a través de Colciencias, debido a la falta de promoción de las mismas. Bajo esta óptica, es indispensable que las líneas de crédito que ofrece Colciencias no presenten muchos obstáculos para las empresas pequeñas y medianas; por lo general, tales obstáculos para acceder a este tipo de crédito limitan la

capacidad de innovación del aparato productivo de ese tipo de empresas. Por último, también es importante que el Gobierno Nacional pueda crear un ambiente que incentive la creación de fondos de capital semilla, los cuales, según la experiencia internacional (Silicon Valley, EE.UU.), son una vía importante para canalizar recursos privados para el financiamiento de proyectos de innovación.

Sin duda, este tipo de medidas pueden incentivar una mayor inversión en actividades de innovación, pero en especial en proyectos de *I+D*, los cuales se espera que pueden contribuir en aumentos de la productividad y la competitividad de las empresas colombianas.

Bibliografía

- Abel A. (1980). Empirical Investment Equations: An Integrative Framework. *Journal of Monetary Economics*, pp. 39-91.
- Alvarado, A. (2000). Dinámica de la estrategia de innovación: el caso de Colombia. *Coyuntura Económica*, XXX (3).
- Arbeláez, M. & Echavarría, J. (2002). Investment and Financial Constraints in the Colombian Manufacturing Sector. *Desarrollo y Sociedad*.
- Arbeláez, M. & Parra Torrado, M. (2011). Innovation, R&D Investment and Productivity in Colombian Firms. IDB Working Paper Series No. IDB-WP-251.
- Arellano, M. & Bond S. (1991). Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations. *Review of Economic Studies*.
- Atzeni G. & Piga C. (2005). R&D investment, credit rationing and sample selection. *Discussion Paper Series*, Economics Dept, Loughborough University.
- Audretsch, D. & Elston, J. (2000). Does Firm Size Matter? Evidence on the Impact of Liquidity Constraints of Firm Investment Behavior in Germany. *Discussion Paper Series* 26306, Hamburg Institute of International Economics.
- Baker, M., Stein, J. & Wurgler, J. (2003). When Does the Market Matter? Stock Prices and the Investment of Equity-Dependent Firms. *Quarterly Journal of Economics*, 118 (3), pp. 969-1005.
- Bean, C. (1981). An econometric model of manufacturing investment in the UK. *Economic Journal*, 91, pp. 106-21.
- Benavente, J. (2006). The Role of Research and Innovation in Promoting Productivity in Chile. *Economics of Innovation & New Technology*, 15 (4/5), pp. 301-315.
- Berger A. & Udell G. (1990). Some evidence on the empirical significance of credit rationing. *Journal of Political Economy*, University of Chicago Press, vol. 100(5), pp. 1047-77.
- Bernanke, B. & Blinder A. (1992). The Federal Funds Rate and the Channels of Monetary Transmission. *The American Economic Review*, Vol. 82, N° 4, pp. 901-921.
- Bhattacharya, S. & Ritter J. (1985). Innovation and communication: Signalling with partial disclosure. *Review of Economic Studies*, 50, pp. 331-346.
- Blundell R. & Bond S. (1998). Initial Conditions and Moment Restrictions in Dynamic Panel Data Models. *Journal of Econometrics* 87, pp. 115-143.
- Bond, S., Elston, J., Mairesse, J. & Mulkay, B. (2003). Financial Factors and Investment in Belgium, France, Germany, and the United Kingdom: A Comparison Using Company Panel Data. *The Review of Economics and Statistics*, 85 (1), pp. 153-165.
- Bond, S., Harhoff, D. & Van Reenen, J. (1999). Investment, R&D and Financial Constraints in Britain and Germany. *IFS working Paper* (5).
- Bond S. & Meghir C. (1994). Financial constraints and company investment. *Fiscal Studies*, Institute for Fiscal Studies, vol. 15(2), pp. 1-18.
- Brealey R. & Myers S. (2000). *Principles of Corporate Finance*, 6th ed., Irwin McGraw-Hill.
- Brown, J. R., Fazzari, S. M. & Petersen, B. C. (2009). Financing innovation and growth: Cash Flow, external equity, and the 1990s R&D boom. *Journal of Finance* 64 (1), pp. 151-185.
- Calomiris C. & Hubbard R. (1990). Firm Heterogeneity, Internal Finance, and Credit Rationing. *NBER Working Papers* 2.497, National Bureau of Economic Research, Inc.
- Carpenter R. & Petersen B. (2002). Is The Growth Of Small Firms Constrained By Internal Finance? *The Review of Economics and Statistics*, MIT Press, vol. 84(2), pp. 298-309.
- Cincera, M. (2003). Financing constraints, fixed capital and R&D investment decision of belgian firms. *NBB Working Paper* (32).

- Crepón, B., Duguet, E. & Mairesse, J. (1998). Research, Innovation, and Productivity. *NBER Working Paper* (6.696). Conpes 3582 (2009).
- Czarnitzki, D. & Kraft, K. (2004). Firm leadership and innovation performance: Evidence from Seven EU countries. *Small Business Economics*, 22 (5), pp. 325-332.
- Delgado, C. (2004). Inversión y restricciones crediticias en Colombia en la década de los noventa. *ESPE* (47), pp. 8-55.
- Echavarría J. J., Arbeláez M. A. & Rosales M. F (2006). La productividad y sus determinantes: el caso de la industria colombiana. Borradores del Banco de la República, p. 374.
- Fazzari, S., Hubbard, R. & Petersen, B. (1987). Financing Constraints and Corporate Investment. *NBER Working Paper* (2.387).
- Freixas, X. y Rochet, J. (1997). *Microeconomics of banking*. MIT Press.
- Gertler, M. (1988). Financial Capacity, Reliquification, and Production in an Economy with Long-Term Relationships. *NBER Working Papers* 2763, National Bureau of Economic Research, Inc.
- Griffith, R., Huergo, E. & Mairesse, J. (2006). Innovation and Productivity Across Four European Countries. *Oxford Review of Economics Policy*, 22 (4).
- Guiso L. (1997). High-Tech firms and credit rationing. *Journal of Economic Behaviour and Organization* (35), pp. 39-59.
- Hall, B. (1992). Investment and Research and Development at the firm level: does the source of financing matter. *NBER Discussion Paper* (4.096).
- Hall B. & Lerner J. (2010). The Financing of R&D and Innovation. NBER, Working Paper 15.325.
- Haroff, D. (1998). Are there financing constraints for innovation and investment in German manufacturing firms? *Annales d'Economie et de Statistique*, pp. 421-456.
- Hendry D., Pagan A. & Sargan D. (1984). Dynamic Specification. Capítulo 19 del *Handbook of Econometrics*, Volume II.
- Heshmati, A. & Loof, H. (2005). The Impact of Public Funds on Private R&D Investment: New Evidence from a Firm Level Innovation Study. *Discussion Papers 11862*, MTT Agrifood Research Finland.
- Himmelberg, C., & Petersen, B. (1994). R&D and Internal Finance: A Panel Study of Small Firms in High-Tech Industries. *Review of Economics and Statistics*, 76 (1), pp. 38-51.
- Hoshi, T., Kashyap A. & Schafstein A. (1991). Corporate structure, liquidity and investment: Evidence from Japanese industrial groups. *Quarterly Journal of Economics*, pp. 33-59.
- Kamien, M. & Schwartz, N. (1981). Market structure and Innovation. Cambridge: *Cambridge Surveys of Economic Literature*.
- Langebaek, A. & Vásquez, D. (2007). Determinantes de la actividad innovadora en la industria manufacturera colombiana. *Coyuntura Económica*, XXXVII (1), pp. 68-89.
- Leland, H. & Pyle, D. (1977). Informational Asymmetries, Financial Structure, and Financial Intermediation. *Journal of Finances*, 97 (4), pp. 371-387.
- Lev, B. (2001). Intangibles-Management, Measurement, and Reporting: *Brookings Institution Press*.
- Ley 1286 de 2009.
- Lowe, R. A. & Ziedonis, A. A. (2006). Overoptimism and the performance of entrepreneurial firms. *Management Science*, 52 (2), pp. 173-186.
- Masso, J. & Vahter, P. (2008). Technological innovation and Productivity in Late-transition Estonia: Econometric Evidence from innovation Survey. *The European Journal of development Research*, 15 (4/5), pp. 240-261.
- Mercer-Blackman, V. (2008). "The Impact of Research and Development Tax Incentives on Colombia's Manufacturing Sector: What Difference Do They Make?: IMF Working Paper WP/08/178.
- Modigliani, F. & Miller, M. (1958). The cost of capital, corporation finance and the theory of investment. *The American Economic Review*, XLVIII (3), pp. 261-297.

- Mohnen, P., Palm, F., Schim van der Loeff, S. & Tiwari, A. (2008). Financial Constraints and Other Obstacles: Are they a Threat to Innovation Activity? *CESifo Working Paper* (2.204).
- Myers, S. & Majluff, N. (1977). Determinants of Corporate Borrowing. *Journal of Financial*, 5, pp. 147-175.
- Sánchez, F., Murcia, G. & Oliva, C. (1998). Auge y colapso del ahorro empresarial en Colombia. En F. Sánchez, *El Ahorro en Colombia: evolución y comparación global y sectorial*. Bogotá: Tercer Mundo Editores.
- Savignac, F. (2006). The impact of financial constraints on innovation: evidence from french manufacturing firms. *CREST*.
- Scellato, G. (2007). Patents, firm size and financial constraints: an empirical analysis for a panel of Italian manufacturing firms. *Cambridge Journal of Economics* (31), pp. 55-76.
- Schumpeter, J. A. (1942). *Capitalism, socialism and democracy*. New York: Harper and Row.
- Storey, D. & Westhead P. (1997). Management Training in Small Firms - A Case of Market Failure? *Human Resource Management Journal* 7(2), pp. 61_71.
- Sierra, J. H., Malaver, F. & Vargas, M. (2009). Finance and Innovation in Colombia.
- Stiglitz, J. & Weiss A. (1981). Credit Rationing in Markets with Imperfect Information, *American Economic Review*, 71, pp. 393-410.
- Tenjo, F. & García, G. (1998). Desarrollo financiero y estructura de capital de las empresas. En F. Sánchez, *El ahorro en Colombia: evolución y comportamiento global y sectorial*. Bogotá: Tercer Mundo Editores.
- Ughetto, E. (2007). Does internal finance matter for R&D? New evidence from a panel of Italian firms. *ISWoP* (10).
- Ughetto, E. (2006). Industrial districts and financial constraints to innovation. *Politecnico di Torino-DSPEA*.
- Vogt, S. (1994). The Cash Flow Investment Relationship: Evidence from U.S. Manufacturing Firms. *Financial Management*, 23 (2), pp. 3-20.
- Westhead, P. & Storey, D. (1997). Financial constraints on the growth of high technology small firms in the United Kingdom. *Applied Financial Economics* (7), pp. 197-201.

Anexo 1

MODELO ACELERADOR CON CORRECCIÓN DE ERROR PARA INVERSIONES EN INNOVACIÓN

Variables	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
$I(t-1)/TA(t-1)$	0,009	0,0423	0	2.108
$I(t-1)/TA(t-2)$	0,013	0,050	0	2.108
$\Delta Y(t)$	0,493	4.543	-2.383	19,75
$\Delta Y(t-1)$	2.233	7.245	-2.383	20,68
$(ta-y)t-2$	0,55	1,443	-4,75	12,74
$FC(t)/TA(t-1)$	0,039	0,706	0	1.433
$FC(t-1)/TA(t-2)$	0,039	0,706	0	1.712
Extranjera(t)	0,1422	0,3493	0	1
$(FC(t)/TA(t-1))*Ext.$	0,0054	0,027	0	0,955
$(FC(t-1)/TA(t-2))*Ext.$	0,007	0,045	0	0,776
Exportadora (t)	0,5371	0,4986	0	1
$(FC(t)/TA(t-1))*Exportadora$	0,02	0,052	0	1,433
$(FC(t-1)/TA(t-2))*Exportadora$	0,022	0,075	0	1,712
$\ln(\text{empleo}) (t)$	4.355	1.191	0	8.523
$(FC(t)/TA(t-1))*\ln(\text{empleo})$	0,1653	0,29	0,002	8.102
$(FC(t-1)/TA(t-2))*\ln(\text{empleo})$	0,1762	0,446	0,002	8.409

Fuente: Cálculos del autor con cruce de la EAM y la base de datos de la Superintendencia de Sociedades, 2000-2007.

Anexo 2

MODELO ECUACIÓN DE EULER PARA INVERSIONES EN INNOVACIÓN

Variables	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
$(I/TA)(t-1)$	0,001	0,0286	0	0,9787
$(I/TA)(t)$	0,0112	0,0294	0	0,9787
$(I/TA)^2(t-1)$	0,009	0,0012	0	0,957
$(\Pi/TA)(t-1)$	0,0701	0,1278	0	0,8439
$(Y/TA)(t-1)$	0,6922	1,53	0	116,36
Extranjera(t)	0,1422	0,3493	0	1
$(\Pi/TA)(t-1)*Ext.$	0,0111	0,055	0	0,5281
Exportadora(t)	0,5371	0,4986	0	1
$(\Pi/TA)(t-1)*Exportadora$	0,014	0,061	0	0,6425
$\ln(\text{empleo})(t)$	4.355	1.191	0	8.523
$(\Pi/TA)(t-1)*\ln(\text{empleo})$	0,2624	0,5041	0	3.821

Fuente: Cálculos del autor con cruce de la EAM y la base de datos de la Superintendencia de Sociedades, 2000-2007.

Anexo 3

DEFINICIÓN DE VARIABLES

Variables	Definición
Inversiones en innovación	Esta variable es la suma de inversiones en tecnologías incorporadas al capital, capacitación de trabajadores, inversiones en tecnologías de gestión, tecnologías transversales. Fuente: Anexo 3 Encuesta Anual Manufacturera-EAM. Se deflactó por el IPP de cada sector.
Inversiones en i+d	Esta variable es la suma de inversiones en tecnologías incorporadas al capital, capacitación de trabajadores, inversiones en tecnologías de gestión, tecnologías transversales. Fuente: Anexo 3 EAM. Se deflactó por el IPP de cada sector.
Producto	Esta variable se calculó con el valor producido por la empresa. Fuente: EAM. Se deflactó con el IPP del sector.
Activos totales	Esta variable es el resultado de los saldos finales del stock de capital físico, que incluye maquinaria, terrenos, equipos de oficina y de transporte. Fuente: EAM. Se deflactó con formación bruta de capital.
Flujo de caja	Esta variable se construyó para el modelo acelerador de la inversión a través de la cuenta de saldos disponible que aparece en Supersociedades. Se deflactó con el IPP del sector. Además se suma el monto invertido en I+D (como se hace en la literatura internacional).
Capital extranjero	Esta variable se obtiene de la carátula única empresarial de la EAM, y se toman como empresas extranjeras las empresas con capital extranjero superior al 20%.
Exportadora	Esta variable es una variable dicótoma que toma valor de 1 si la empresa exporta al menos el 20% de su producción. Fuente: EAM.
Tamaño	Esta variable se calcula a través del logaritmo natural del número de trabajadores de la empresa. Fuente: EAM.

Fuente: Definiciones del autor.