# ¿CUÁLES SON LAS VARIABLES ASOCIADAS A LA FINANCIACIÓN MÁS IMPORTANTES PARA LA INNOVACIÓN? LECCIONES PARA LA POLÍTICA PÚBLICA EN COLOMBIA

## Resumen

El propósito de este trabajo de investigación es ofrecer un panorama general sobre cuáles son las variables asociadas a la financiación de la innovación que resultan más importantes para determinar la innovación. Tres rasgos esperan hacer del trabajo propuesto un referente sobre la pregunta de investigación planteada. Primero, este trabajo intenta incluir prácticamente todos los elementos teóricos de la literatura sobre la financiación de la innovación. Segundo, este trabajo intenta incluir un vasto conjunto de otros factores determinantes de la financiación, como control, basados en las principales temáticas identificadas en la literatura. Tercero, este trabajo utiliza el estado del arte en el análisis predictivo, incluyendo modelos no lineales como redes neuronales y máquinas de vectores de soporte, y modelos basados en reglas, como C5.0 y Cubist. La inclusión de técnicas avanzadas como éstas persigue superar las dificultades metodológicas que técnicas tradicionales como las regresiones logística y lineal ostentan. Finalmente, este trabajo también espera aportar a la literatura una investigación concienzuda y a gran escala sobre la financiación de la innovación en empresas pequeñas y medianas (pymes) y en mercados en desarrollo, un campo aún poco explorado por otros autores. La población de estudio planteada son las empresas pymes de Colombia, un país en que, por su condición de mercado emergente, se espera que existan restricciones financieras a la innovación.

## Introducción

El desarrollo de actividades de innovación en las empresas es de gran importancia para el desarrollo sostenible y el crecimiento de la economía de un país (Aghion, 2004; Goldsmith, 1955; Levine, 1997; Merton, 1992). Una de las clases de barreras para el desarrollo de la innovación que han sido identificadas lo conforman las barreras financieras (Canepa & Stoneman, 2008; Freel, 1999). Estas barreras son más agudas en mercados emergentes que desarrollados (Canepa & Stoneman, 2002) y en las empresas pequeñas y medianas que en las grandes (Freel, 1999; Mohnen, Palm, Van Der Loeff, & Tiwari, 2008). Sin embargo, con decenas de factores asociados a la financiación que determinan las actividades de innovación, ¿cuáles son las variables asociadas a la financiación más importantes? Hasta el momento, no se ha realizado ningún estudio comprensivo y a gran escala sobre esta cuestión. Para el establecimiento de políticas públicas basadas en la evidencia, el asunto es de importancia fundamental, ya que conocer la importancia de las variables asociadas a la financiación permitiría direccionar de la mejor manera los programas y recursos gubernamentales para promover la innovación.

Este estudio utilizará el estado del arte en métodos del análisis predictivo para establecer qué factores asociados a la financiación son los que más influyen en la presencia y en la intensidad de la innovación en las empresas pequeñas y medianas y el cuáles son las variables asociadas a la financiación que ocupan los principales lugares en una jerarquía de predictores.

Para llevar a cabo este estudio, se utilizan las empresas pequeñas y medianas de Colombia pertenecientes a los sectores manufactureros y de servicios. Existe una carencia de estudios que analicen la innovación en países menos desarrollados (Leiponen & Poczter, 2014), y Colombia, con una posición de 69 entre 148 países en el ranking de innovación del Índice Global de Innovación que la cataloga como un innovador ineficiente (Cornell University, INSEAD, & WIPO, 2014), puede considerarse como una nación en la que las barreras financieras tienen un papel crucial por su carácter de mercado emergente.

Los dos tipos de innovación que se estudiarán son los dos principales en la literatura (que también son los dos más frecuentes en Colombia (DANE, 2013b, p. 12 y 15)): la innovación de proceso y la innovación de producto. Este trabajo cubre un vasto rango de variables asociadas a la financiación basadas en cada una de las principales consideraciones teóricas sobre la relación entre las finanzas y la innovación, incluyendo el costo de capital, la presencia de información asimétrica, el riesgo moral, los costos de transacción, los costos de bancarrota y el colateral, los subsidios, los spillovers, la estructura de capital y los costos de ajuste. Al considerar todas las principales vertientes teóricas de las finanzas para definir las variables asociadas a la financiación, este estudio incluye nuevas variables previamente ignoradas en la literatura. Igualmente, este estudio intentará considerar las principales variables de control identificadas en la literatura.

La presente propuesta está organizada de la siguiente manera. La Sección 3 presenta la revisión de la literatura, que contiene tanto el marco teórico como los últimos artículos en cada campo. La revisión cubre tres campos principales: la definición de innovación, los determinantes de la innovación y la financiación de la innovación. En la Sección 4 se presenta la discusión de la propuesta de investigación donde se presenta la definición del problema de investigación, el objetivo general y los objetivos específicos. En la Sección 5 se expone la metodología que se seguirá, la cual se divide en una subsección de datos y muestra y en una subsección de métodos para el logro de cada objetivo del proyecto. Finalmente, las dos últimas secciones presentan los hallazgos esperados, la discusión y conclusiones.

## Revisión de la literatura

### La innovación

El estudio de la innovación se ha consolidado en tres enfoques: la conformación de paradigmas y trayectorias tecnológicas, los sistemas tecnológicos vistos como ondas largas de la innovación, y la perspectiva histórica de los paradigmas y sistemas nacionales de la innovación (Monroy, Cortés, Rey, & Rodriguez, 2011). Con la publicación del Manual de Oslo en el año de 1992, se generalizó el concepto de innovación con el fin de poder medirla específicamente en la empresa. De esta manera, según el Manual de Oslo, la innovación se define como “la introducción de un nuevo, o significativamente mejorado, producto (bien o servicio), proceso, nuevo método de comercialización o un nuevo método organizativo, en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores” (Organization for Economic Co-operation and Development, 2005, p. 56). Así, la OECD considera que una empresa innovadora es aquella que “ha introducido una innovación durante el período considerado en la encuesta” que se sugiere sea mayor de un año y menor de tres años (Organization for Economic Co-operation and Development, 2005, pp. 57, 73). Aunque el manual de Oslo (2005, pp. 58-63) distingue cuatro tipos de innovación, este proyecto se restringe a la innovación de producto y proceso.

Evaluar la innovación en las empresas es un problema difícil, en general. Al medir la innovación se debe tener en cuenta qué tipo de indicadores se van a utilizar: acorde a las entradas (*inputs*) o a las salidas (*outputs*) de la innovación (Becheikh, Landry, & Amara, 2006; Love & Roper, 1999; Rogers, 1998; Romijn & Albaladejo, 2002).

Las entradas de la innovación se pueden evaluar tomando en cuenta los gastos en Investigación y Desarrollo (I+D). Las salidas de la innovación, por otra parte, se pueden medir con los productos y procesos nuevos o mejorados que la empresa ha desarrollado en los últimos tres años (Becheikh et al., 2006; Rogers, 1998).

Neely y Hii (1998) presentan un resumen con las medidas más usadas en los estudios empíricos para establecer el desempeño de la innovación. Ellos concluyen que no existe una mejor manera para medir el desempeño de la innovación en las empresas debido a la multi-dimensionalidad que implica el desarrollo de esta actividad. No obstante, no descartan que a nivel empresarial sea de gran importancia poder medir la capacidad de innovación con el fin de establecer comparaciones con los competidores y mejorar las estrategias para aumentar las ganancias de la empresa. Carayannis y Provance (2008) describen uno de los índices compuestos de innovación más completos y estadísticamente válidos, que se compone de tres dimensiones: la postura, la propensión y el desempeño.

La postura se relaciona con el ambiente del sistema de innovación en el que se desenvuelve la empresa, ya sea su localización geográfica, el sector en el que se desempeña o el uso de la tecnología. La propensión constituye la capacitad de la empresa para aprovechar todos los comportamientos, actitudes y procesos que permiten que la empresa innove, en pocas palabras es la interiorización de la cultura de innovación por parte de los miembros de la empresa. Finalmente, el desempeño se mide con las salidas, resultados e impacto. Usualmente se busca conocer salidas como cuántos productos nuevos o mejorados se llevaron a cabo en un periodo de tiempo o cuántas patentes y licencias ha conseguido la empresa en un periodo de tiempo.

#### Innovación en Colombia: evidencia empírica

Un estudio desarrollado por la CEPAL sobre inversión en innovación indica que los países suramericanos como Brasil, Argentina, Paraguay, Uruguay y Colombia invierten más en compra de maquinaria y en otros factores de innovación que en investigación y desarrollo, comportamiento contrario al de los países en desarrollo donde se invierte más en investigación y desarrollo que en las demás actividades de innovación (Jiménez, 2008).

En Colombia, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) ha realizado la encuesta de innovación tecnológica en seis ocasiones (EDIT: 1996, EDIT II: 2003-2004, EDIT III: 2005-2006, EDIT IV: 2007-2008, EDIT V: 2009-2010, EDIT VI: 2011-2012), con el objetivo de “caracterizar la dinámica tecnológica y analizar las actividades de innovación y desarrollo tecnológico en las empresas del sector industrial colombiano, así como realizar una evaluación de los instrumentos de política, tanto de fomento como de protección a la innovación” (DANE, 2011, p. 9).

Según las estadísticas presentadas por Aguilar (2011) teniendo en cuenta los resultados de la EDIT III y la EDIT IV, las regiones que más invierten en I+D son Bogotá D.C (43.492% del total invertido en I+D en Colombia), Antioquia (27.370%) y Valle del Cauca (7.528%). De igual manera, las regiones que más invierten en actividades de ciencia tecnología e innovación (ACTI) son Bogotá D.C (50.685% del total invertido en ACTI en Colombia), Antioquia (23.261%) y Valle del Cauca (6.889%). Por otra parte, los recursos financieros más usados para la inversión en actividades de I+D durante el período de 2006 al 2011 han sido los fondos públicos con el 53%, seguido de los fondos privados con el 42% y los fondos extranjeros con el 3% (Aguilar, 2011, pp. 3-7).

### Financiación de la innovación

#### Elementos teóricos

En esta sección, se exponen los diversos elementos de los mercados de capitales que están involucrados en la financiación de la innovación (y de la investigación y desarrollo). Con base en cada uno de estos elementos teóricos se definirán y escogerán las variables asociadas a la financiación a considerar en el estudio.

**3.2.1.1. Completitud de los mercados**: Un mercado es completo en tanto que exista un mercado con un precio de equilibrio para cada activo en cada posible estado del mundo (OECD, 2003a). En los mercados desarrollados, además de la deuda y las acciones, existen otros instrumentos financieros para la financiación como los derivados, el capital del riesgo y los bonos convertibles, lo que probablemente los hace más completos (Canepa & Stoneman, 2002). Incluso con estos instrumentos, la financiación de la innovación a menudo ostenta “brechas” entre los costos de capital con financiación externa e interna (Hall & Lerner, 2009) que a menudo llevan a que no todos los proyectos se financien o se lleven a cabo. Es de esperarse que en mercados menos desarrollados (y por ende más incompletos), estas brechas sean mayores.

**3.2.1.2. El tamaño del mercado**: En un mercado con un número pequeño de ofertantes, se presentan condiciones de monopolio o de oligopolio. Respecto a la innovación, bajo estas condiciones, los ofertantes (por ejemplo de crédito) colocan los precios (la tasa de interés) en lugar de tomarlos del mercado. Los costos de financiación mayores pueden forzar a las empresas innovadores a usar fuentes alternativas de financiación que las de los ofertantes o a disminuir su inversión en innovación (Canepa & Stoneman, 2002).

**3.2.1.3. Ineficiencias informacionales del mercado**: Un mercado informacionalmente eficiente es un mercado en que toda la información disponible sobre un activo está reflejada en su precio (Fama, 1970). Precisamente, el hecho de que no haya un mercado organizado para los proyectos de innovación implica que el valor de mercado no refleja completamente la información sobre el proyecto (Griliches, 1995).

**3.2.1.4. Costo de capital**: El costo de capital es la tasa de descuento correcta aplicada en la valoración de un proyecto, por ejemplo, en la valoración mediante el valor presente neto (Canepa & Stoneman, 2002). Este costo corresponde al costo de oportunidad del capital invertido en proyectos similares, en especial, en términos del riesgo a asumir (Canepa & Stoneman, 2002). Típicamente este valor se toma de información del mercado mediante modelos como el CAPM o el APT (Canepa & Stoneman, 2002). Sin embargo, cuando se trata de calcular el costo de capital de un proyecto de innovación, la información de mercado puede ser insuficiente, en especial si la innovación implica que no hay proyectos similares en el mercado (Goodacre & Tonks, 1995).

**3.2.1.5. Información asimétrica**: La información asimétrica en un proyecto de innovación se refiere a que el inventor o empresario tiene más información de la probabilidad de éxito y de detalles del proyecto como sus posibles costos y beneficios que quien va a financiar el proyecto (Canepa & Stoneman, 2002; Hall & Lerner, 2009). El mercado de proyectos de innovación es, por ende, similar al mercado de “limones” de Akerlof (1970). De acuerdo con el modelo de Leland y Pyle (1977), por ejemplo, los empresarios deben enviar una señal al mercado para hacer distinguir su proyecto como bueno.

**3.2.1.6. Riesgo moral**: En la teoría de la agencia, el riesgo moral supone que hay un conflicto de intereses entre el principal (el accionista) y el agente (el administrador) que lleva a que no se maximice el valor de la empresa (de la acción). Dos escenarios pueden coexistir en los proyectos de innovación que constituyen costos de agencia: que el administrador gaste en actividades que lo beneficien (viajes, mejores oficinas) o que el administrador no invierta en proyectos viables debido a que es más averso al riesgo que los accionistas (Hall & Lerner, 2009).

**3.2.1.7. Colateral**: Los bancos tienden a hacer préstamos respaldados con activos fijos y reasignables[[1]](#footnote-1) como colateral, ya que estos activos son fácilmente liquidables en caso de que el proyecto vaya mal o la empresa quiebre (Alderson & Betker, 1996; Berger & Udell, 1990; Williamson, 1988). Como los proyectos de innovación suelen utilizar mayoritariamente capital intelectual y humano más que activos físicos, y sus resultados a menudo son activos intangibles, y como los proyectos mismos suelen constituir costos hundidos que no se pueden reutilizar en nuevas actividades, las empresas innovadoras tienen la tendencia a no ostentar colaterales sólidos (Hall, 1992; Hottenrott & Peters, 2012; Takalo & Tanayama, 2010).

**3.2.1.8. Impuestos y subsidios**: Ya que los impuestos y los subsidios influyen en los costos y, por ende, en los retornos; estos influyen a su vez en la decisión de financiación de un proyecto de innovación.

**3.2.1.9. Spillovers**: Cuando una empresa invierte en un proyecto de innovación, los resultados pueden terminar beneficiando no solo a la empresa sino a terceras partes que absorben el conocimiento que ha sido creado (Czarnitzki & Hottenrott, 2010). La empresa incurre así en todos los costos del proyecto, pero no recibe todos sus beneficios (Arrow, 1962; Nelson, 1959; Usher, 1964)**.**

**3.2.1.10. Estructura de capital**: De acuerdo con el teorema de Modigliani y Miller (1958), en ausencia de impuestos, de costos de bancarrota y de información asimétrica, las decisiones de inversión son indiferentes a la estructura de capital de la empresa, es decir, son indiferentes a si la empresa se financia con deuda o con acciones. Sin embargo, este teorema es violado por las firmas reales en general (Modigliani & Miller, 1958) y por las firmas que invierten en innovación en especial (Hall & Lerner, 2009).

**3.2.1.11. Costos de transacción**: Los costos de transacción asociados a la financiación externa hacen que las empresas prefieran primero la financiación interna. Los costos de transacción se refieren a los costos de descubrir los precios de mercado y los costos de escribir y hacer cumplir los contratos (OECD, 2003b).

**3.2.1.12. Costos de bancarrota**: Los costos de bancarrota en una actividad de innovación pueden surgir del hecho de que los activos del proyecto son difícilmente liquidables. Dado el alto riesgo de los proyectos de innovación, los bancos preferirán financiar otro tipo de proyectos debido a su aversión al riesgo.

**3.2.1.13. Costos de ajuste**: Los costos de ajuste son los costos de modificar las variables que controla la empresa durante su producción (Farlex Financial Dictionary, 2012). Cuando las condiciones del ambiente cambian, la empresa puede verse en la necesidad de alterar las condiciones de producción para optimizarlas; sin embargo, si los costos de ajuste son muy altos, la empresa puede preferir seguir produciendo en condiciones sub-óptimas en un proyecto de innovación.

#### 3.2.2. Financiación de la innovación: Evidencia empírica

La evidencia empírica apunta a que las empresas que innovan prefieren financiarse con fondos internos, en lugar de deuda (Bhattacharya & Ritter, 1983; Bougheas, Görg, & Strobl, 2003; Czarnitzki & Hottenrott, 2011; Hall, 1990, 1992; Himmelberg & Petersen, 1994; Leland & Pyle, 1977) Así, por ejemplo, se ha reportado que existe una correlación negativa entre las razones de apalancamiento y la inversión en I+D (Hall, 1992) y que las empresas intensivas en I+D reportan una menor razón de deuda que las demás firmas (Hall, 2002). Brown, Martinsson y Petersen(2012) reportan a su vez que la deuda juega un papel menor en las actividades de financiación de la innovación.

Sin embargo, no toda la deuda es igual para la financiación. Diversos autores identifican dos categorías principales de deuda, la relacional y la transaccional (Berger & Udell, 1995; Boot, 2000; Boot & Marinč, 2008; David, O'Brien, & Yoshikawa, 2008). Los préstamos de bancos e instituciones financieras son deudas relacionales y los bonos colocados en el mercado primario o secundario son deudas transaccionales. La deuda transaccional se enfoca en una sola transacción, por lo que quienes compren ese tipo de deuda tratarán de evitar empresas con gastos discrecionales como los de investigación y desarrollo (Majumdar, 2011). Además, como en la deuda transaccional los activos o el conocimiento de la firma no pueden ser monitoreados fácilmente, el colateral deja de ser tan efectivo (Rajan & Winton, 1995), por lo que los prestatarios prefieren la deuda relacional a la transaccional para financiar actividades de innovación.

La financiación mediante emisión de acciones es en principio la más costosa debido al *premium* del limón. Sin embargo, las firmas tienden a recurrir a la emisión de acciones por, por lo menos, tres razones (Guariglia & Liu, 2014): los accionistas obtienen grandes ganancias si el proyecto tiene éxito, los accionistas pueden reducir el riesgo moral monitoreando directamente a los administradores y la emisión de acciones en lugar de adquirir deuda no aumenta el riesgo de presentar dificultades financieras (Brown et al., 2012).

La evidencia empírica entre firmas listadas en la bolsa sugiere que la emisión de acciones tiene un efecto significativo en la financiación de la innovación (Brown, Fazzari, & Petersen, 2009; Brown et al., 2012; Brown & Petersen, 2009; Kim & Weisbach, 2008). Sin embargo, las empresas pequeñas o que no están en la bolsa pueden no tener la capacidad de emitir acciones fácilmente, ya que los inversionistas externos no las conocen. En esas circunstancias, las empresas podrían preferir la deuda. Himmelberg y Petersen (1994) hallan una correlación significativa y grande entre financiación interna y actividades de investigación y desarrollo en empresas pequeñas de alta tecnología.

De acuerdo con lo anterior, el tamaño y la edad son variables importantes en la financiación de la innovación. En general, las empresas más pequeñas y más jóvenes tienden a tener restricciones financieras mayores (Berger & Udell, 2002; Czarnitzki, 2006; Czarnitzki & Hottenrott, 2011; Himmelberg & Petersen, 1994; Petersen & Rajan, 1995; Ughetto, 2008). Crepón, Duguet, y Mairessec (1998) hallan un efecto positivo significativo entre tamaño y la probabilidad de innovar. La edad es un factor importante en la financiación de la innovación porque, además de estar correlacionada con el tamaño, las empresas jóvenes no han forjado relaciones sólidas con los bancos lo que agrava los problemas de asimetría de la información (Berger & Udell, 2002; Petersen & Rajan, 1995) y porque las empresas jóvenes no tienen proyectos anteriores con los cuales financiar los nuevos proyectos, entre otras razones.

La industria también ha sido identificada como un importante factor que influye en la financiación de la innovación debido probablemente a diferencias entre la rentabilidad y el riesgo de los sectores. Empresas en sectores más riesgosos pueden tener más dificultades para financiarse externamente, mientras que, dado un mismo nivel de riesgo, empresas en sectores más rentables podrían financiarse internamente más fácilmente (Canepa & Stoneman, 2002). Diversos estudios han establecido la correlación que existe entre el desarrollo de actividades de innovación en las empresas y el desarrollo de sectores e industria (Ayyagari & Maksimovic, 2007; Brown et al., 2009; Brown et al., 2012; Hsu, Tian, & Xu, 2014; Leiponen & Poczter, 2014; Mazzucato, 2013; Xiao & Zhao, 2012).

Otras opciones de financiación externa también han cobrado relevancia en la financiación de la innovación, tales como el capital de riesgo (Cochrane, 2005; Gompers, 1995) o la inversión extranjera directa (Girma, Gong, & Görg, 2008; Li, Chen, & Shapiro, 2010).

Algunos hitos de la literatura empírica de los últimos años que se enfoca en la financiación de la innovación en pymes y en mercados emergenetes son Maiti y Singh (2011), Hsu, Tian y Xu (Hsu et al., 2014), Gorodnichenko y Schinitzer (2013), García, Barona y Madrid (2013), Leiponen y Poczter (2014); y en Colombia, Rivera y Ruíz (2009), Rivera y Ruíz (2011) y Rivera y Alarcón (2012).

## Discusión de la propuesta

La dificultad para financiar proyectos de innovación es ubicua, de acuerdo con la literatura, y es mayor en las pymes que en las empresas grandes (Berger & Udell, 2002; Czarnitzki, 2006; Czarnitzki & Hottenrott, 2011; Himmelberg & Petersen, 1994; Petersen & Rajan, 1995; Ughetto, 2008). Facilitar la financiación de la innovación en las pymes es una meta necesaria de la política pública de una nación, si ésta desea fomentar su crecimiento económico (Aghion, 2004; Goldsmith, 1955; Levine, 1997; Merton, 1992).

Desafortunadamente, hay un vacío en la literatura sobre el cuáles son las variables asociadas a la financiación más importantes. Colombia, en su condición de mercado emergente con restricciones a la financiación de la innovación, es uno de los países que más podría beneficiarse de un modelo robusto de predicción de la presencia y de la intensidad de la innovación a partir de las variables asociadas a la financiación.

El propósito de la presente investigación es establecer cuáles variables asociadas a la financiación son las más importantes al momento de predecir la presencia y la intensidad de innovación, para seleccionar mejor las variables asociadas a la financiación a las que una política pública podría dirigirse eventualmente. La pregunta de investigación, acorde con este propósito, es: ¿cuál es la importancia de cada variable asociada a la financiación para determinar la innovación?

De esta manera el objetivo de este proyecto es:

* Establecer el grado de importancia de cada variable asociada a la financiación en la predicción de la innovación en las pequeñas y medianas empresas de Colombia.

Para lograr este objetivo se deberá:

* Establecer la presencia y la intensidad de la innovación en las pequeñas y medianas empresas de Colombia.
* Establecer la presencia o la intensidad, según sea el caso, de las variables que determinan la innovación asociadas a la financiación (y de control) en las pequeñas y medianas empresas de Colombia.
* Proponer modelos predictivos de la presencia y la intensidad de la innovación en las pequeñas y medianas empresas de Colombia con base en las variables asociadas a la financiación y en las variables de control que las determinan.
* Ubicar en una jerarquía de variables predictivas a las variables asociadas a la financiación de acuerdo con su importancia en la predicción de la innovación en las pequeñas y medianas empresas de Colombia.

## Metodología

### 5.1. Datos y muestra

El contexto de esta investigación lo conforman las empresas pequeñas y medianas (pymes) de Colombia. El marco muestral será tomado de la base de datos de Benchmark BPR, el cual contiene 21.131 empresas con información financiera y de contacto disponible al año 2013. La muestra se seleccionó a partir de un muestreo estratificado proporcional de la raíz cuadrada acumulada de los activos, con un nivel de confianza del 95% y un error del 5% (correspondiente a $216 millones de pesos de activos). Se considera que el tamaño está correlacionado con el nivel de innovación. Se definió un tamaño de muestra de 180 empresas, de las cuales se deben tomar 95 empresas del estrato 1 (pequeñas), 53 empresas del estrato 2 (medianas 1) y 32 empresas del estrato 3 (medianas 2). Para identificar el tamaño de la empresa y seleccionar solo pymes, se tendrán en cuenta los parámetros establecidos en el artículo 2 de la Ley 905 de 2004 sobre el valor de los activos, utilizando el valor del salario mínimo mensual legal vigente del año en que se obtiene la población de empresas según la disponibilidad de los datos.

## 5.2. Métodos

### 5.2.1. Métodos para cumplir el primer objetivo

Para el desarrollo de la investigación, este trabajo se enfocará en el estudio de la innovación de productos y procesos en las pymes de los sectores manufacturero y de servicios, ya que según un informe del BID, las empresas colombianas invierten más en innovación de procesos a lo que sigue la inversión en innovación de productos (Banco Interamericano de Desarrollo, 2010).

La definición de innovación que se usará en este proyecto de investigación será “la introducción de un nuevo, o significativamente mejorado, producto (bien o servicio) o proceso […] en las prácticas internas de la empresa” (Organization for Economic Co-operation and Development, 2005). La innovación de producto se medirá con una variable dicotómica en respuesta a la pregunta: “Durante los últimos tres años, ¿su unidad de negocio ha introducido en el mercado productos (o servicios) nuevos o significativamente mejorados?” y la innovación de proceso se medirá con una variable dicotómica en respuesta a la pregunta: “Durante los últimos tres años, ¿su unidad de negocio ha implementado procesos nuevos o significativamente mejorados?” (cf. Becheikh et al., 2006). Para medir cuánto innovan las empresas se calculará la dimensión de desempeño innovador del índice compuesto de innovación desarrollado por Carayannis y Provance (2008), el cuál es uno de los índices más completos que se halló en la revisión de la literatura.

### 5.2.2. Métodos para cumplir el segundo objetivo

Los factores específicamente financieros que se incluirán se derivan de los elementos teóricos ya considerados (Sección 3.2.1). Los demás factores que determinan la innovación que se seleccionarán para el cuestionario final serán un subconjunto de los factores identificados en Becheikh et al. (2006), el cual es el artículo sobre determinantes de la innovación que cubre un espectro mayor de factores determinantes hallado en la literatura.

### 5.2.3. Métodos para cumplir el tercer objetivo

A continuación se presentan los modelos que se utilizarán para el logro de los objetivos planteados en el proyecto de investigación:

### 5.2.3.1. Métodos de clasificación

Los modelos de clasificación permiten predecir si una empresa va a innovar o no. Se desarrollarán tres modelos de clasificación.

**5.2.3.1.1. Un modelo de clasificación lineal - Regresión logística:** El modelo de regresión logística es uno de los métodos más básicos para la solución de problemas de clasificación. El modelo permite una primera aproximación en cuanto que permite predecir la probabilidad de que una empresa innove o no innove.

**5.2.3.1.2. Un modelo de clasificación no lineal - Máquinas de vectores de soporte:** las máquinas de vectores de soporte clasifica un conjunto mediante hiperplanos. Un hiperplano es la generalización de un plano a varias dimensiones. La idea que se persigue al usar las máquinas de vectores de soporte es la de hallar un hiperplano que divida el conjunto total de empresas entre las empresas que innovan y las que no innovan. Sin embargo, si la frontera entre los datos es fundamentalmente no lineal, las máquinas de vectores de soporte utiliza el truco de añadir más dimensiones al problema.

**5.2.3.1.3. Un modelo de clasificación basado en reglas y árboles - C5.0:** El algoritmo C5.0 es uno de los modelos más avanzados basados en reglas y árboles. Un modelo de clasificación basado en un árbol de decisión es un modelo que intenta aprender dividiendo los datos de entrada en conjuntos homogéneos por medio del criterio de división que más discrimine los conjuntos. El proceso de entrenamiento se detiene cuando no es posible lograr una mayor ganancia en la homogeneidad de los conjuntos después de subdividir más el árbol. Los miembros de cada conjunto en un nodo final sirven para tomar las decisiones de clasificación de nuevos datos. La salida de la categoría de cada regla se establece por la categoría más común en el nodo.

**5.2.3.2. Modelos de regresión**

Los modelos de regresión permiten predecir cuánto va a innovar una empresa. Se utilizarán tres modelos de regresión.

**5.2.3.2.1. Un modelo de regresión lineal – Mínimos cuadrados ordinarios:** La regresión lineal es el modelo de regresión más antiguo y mejor comprendido en estadística. El modelo de regresión lineal estima una relación entre una variable dependiente métrica y unas variables independientes métricas o no. Su objetivo será evaluar la dependencia estadística lineal entre la intensidad de la innovación y las variables de financiación.

**5.2.3.2.2. Un modelo de regresión no lineal - Redes neuronales**: Una red neuronal intenta emular una red de neuronas del cerebro. Las neuronas están organizadas en múltiples capas. El resultado final está modelado por variables intermedias (las variables o unidades ocultas), es decir, las neuronas que sirven de intermediarias. Este modelo puede lidiar con relaciones altamente no lineales.

**5.2.3.2.3. Un modelo de regresión basado en reglas – Cubist**: Cubist es un algoritmo basado en reglas el cual construye árboles y utiliza un procedimiento similar al boosting llamado comités (committees) que genera reglas que son fáciles de interpretar sobre cuánto van a innovar las empresas.

### 5.2.4. Método para cumplir el cuarto objetivo

Para ubicar en una jerarquía de factores predictivos a los factores asociados a la financiación, para el caso de la regresión logística y de la regresión lineal es posible correr un test estadístico (para la regresión logística, se puede usar el test Z (Dobson, 2002); y para la regresión lineal, el test t (Gujarati, 2003)) para establecer cuáles son las pendientes asociadas a estos factores que son estadísticamente más significativas.

Para construir una jerarquía de acuerdo con la importancia de las variables asociadas a la financiación en los demás métodos, se puede calcular directamente la “importancia de las variables”, una técnica que permite ordenar las variables predictoras de la más a la menos importante en el modelo. Esta técnica está descrita, para cada tipo de modelo, en la documentación del paquete *caret* de *R*. Para las redes neuronales, la importancia de las variables se implementará con el algoritmo de Garson (1991) y Goh (1995).

## Hallazgos esperados

La respuesta a la pregunta de investigación formulada permitirá aumentar el conocimiento que se tiene a nivel mundial sobre la relevancia que tiene cada variable asociada a la financiación en la predicción de la presencia y la intensidad de la innovación en pequeñas y medianas empresas. Éste es uno de los pocos estudios en mercados emergentes, en empresas pequeñas y medianas, y que tiene como parte de su objetivo planteado ser temáticamente comprensivo y a gran escala.

Se prevén dos grandes impactos principales de la presente investigación, una vez se lleve a cabo. En primer lugar, los gerentes de las pymes de los países emergentes podrán identificar los puntos clave para potenciar la probabilidad y aumentar la intensidad de la innovación y podrán diagnosticar sus propias organizaciones con base en esos puntos clave. Igualmente, los gerentes contarán con una mayor comprensión del efecto de la financiación de sus proyectos sobre la innovación.

En segundo lugar, los responsables de políticas públicas podrán utilizar los modelos predictivos para obtener discernimientos profundos sobre el deber ser de sus políticas, si desean que éstas estén basadas en la evidencia. Tales modelos les permitirán evaluar de manera cuantitativa la pertinencia de las políticas, y hasta cierto punto, sus posibles efectos.

Como otros resultados concretos de esta investigación, se tienen:

* En el área de la generación de conocimiento o nuevos desarrollos tecnológicos, se dispondrá, al finalizarla, de varios modelos algorítmicos funcionales para predecir la presencia e intensidad de la innovación en las pymes. También se propone como estrategia de comunicación de los resultados un artículo completo sometido a una revista indexada u homologada tipo A, debido a las implicaciones conceptuales de la presente investigación.
* En el área del fortalecimiento de la capacidad científica nacional: la formación a nivel de doctorado en las áreas de finanzas e innovación de una profesora universitaria.
* Y en el área de la apropiación social del conocimiento: una ponencia ante pares y una presentación de resultados en un evento de orden internacional.

## Referencias

Aghion, P. (2004). Growth and development: A Schumpeterian approach. Annals of Economics and Finance, 5(1), 1-25.

Aguilar, M. (2011). Innovación en la industria manufacturera colombiana Coalición para la Promoción de la Industria Colombiana (Vol. 24, pp. 1-9).

Akerlof, G. A. (1970). The Market for "Lemons": Quality Uncertainty and the Market Mechanism. The Quarterly Journal of Economics, 84(3), 488-500.

Alderson, M. J., & Betker, B. L. (1996). Liquidation costs and accounting data. Financial Management, 25(2), 25-36.

Arrow, K. (1962). Economic welfare and the allocation of resources for invention. In R. R. Nelson (Ed.), The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors (pp. 609-626). Princeton, NJ: Princeton University Press.

Ayyagari, M., & Maksimovic, V. (2007). Firm innovation in emerging markets (Vol. 4157): World Bank Publications.

Becheikh, N., Landry, R., & Amara, N. (2006). Lessons from innovation empirical studies in the manufacturing sector: A systematic review of the literature from 1993–2003. Technovation, 26(5), 644-664.

Berger, A. N., & Udell, G. F. (1990). Collateral, loan quality and bank risk. Journal of Monetary Economics, 25(1), 21-42.

Berger, A. N., & Udell, G. F. (1995). Relationship lending and lines of credit in small firm finance. Journal of Business, 68(3), 351-381.

Berger, A. N., & Udell, G. F. (2002). Small business credit availability and relationship lending: The importance of bank organisational structure. The Economic Journal, 112(477), F32-F53.

Bhattacharya, S., & Ritter, J. R. (1983). Innovation and communication: Signalling with partial disclosure. The Review of Economic Studies, 50(2), 331-346.

Boot, A. W. A. (2000). Relationship banking: What do we know? Journal of financial intermediation, 9(1), 7-25.

Boot, A. W. A., & Marinč, M. (2008). The evolving landscape of banking. Industrial and Corporate Change, 17(6), 1173-1203.

Bougheas, S., Görg, H., & Strobl, E. (2003). Is R & D financially constrained? Theory and evidence from Irish manufacturing. Review of Industrial Organization, 22(2), 159-174.

Brown, J. R., Fazzari, S. M., & Petersen, B. C. (2009). Financing innovation and growth: Cash flow, external equity, and the 1990s R&D boom. The Journal of Finance, 64(1), 151-185.

Brown, J. R., Martinsson, G., & Petersen, B. C. (2012). Do financing constraints matter for R&D? European Economic Review, 56(8), 1512-1529.

Brown, J. R., & Petersen, B. C. (2009). Why has the investment-cash flow sensitivity declined so sharply? Rising R&D and equity market developments. Journal of Banking & Finance, 33(5), 971-984.

Canepa, A., & Stoneman, P. (2002). Financial constraints on innovation: a European cross-country study. EIFC - Technology and Finance Working Papers, (11). United Nations University, Institute for New Technologies.

Carayannis, E. G., & Provance, M. (2008). Measuring firm innovativeness: Towards a composite innovation index built on firm innovative posture, propensity and performance attributes. International Journal of Innovation and Regional Development, 1(1), 90-107.

Cochrane, J. H. (2005). The risk and return of venture capital. Journal of Financial Economics, 75(1), 3-52.

Crepón, B., Duguet, E., & Mairessec, J. (1998). Research, innovation and productivity: An econometric analysis at the firm level. Economics of Innovation and New Technology, 7(2), 115-158.

Czarnitzki, D. (2006). Research and development in small and medium‐sized enterprises: The role of financial constraints and public funding. Scottish Journal of Political Economy, 53(3), 335-357.

Czarnitzki, D., & Hottenrott, H. (2010). Financing constraints for industrial innovation: What do we know? FBE Research Report MSI\_1004, 1-23.

Czarnitzki, D., & Hottenrott, H. (2011). R&D investment and financing constraints of small and medium-sized firms. Small Business Economics, 36(1), 65-83.

DANE. (2011). Documento Metodológico Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica en la industria Manufacturera – EDIT. Bogotá.

David, P., O'Brien, J. P., & Yoshikawa, T. (2008). The implications of debt heterogeneity for R&D investment and firm performance. Academy of Management Journal, 51(1), 165-181.

Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. The Journal of Finance, 25(2), 383-417.

Farlex Financial Dictionary. (2012). Adjustment costs. Farlex Financial Dictionary. Consultado el 13 de Julio, 2014, de http://financial-dictionary.thefreedictionary.com/Adjustment+Costs

García, D., Barona, B. B., & Madrid, A. M. (2013). Financiación de la innovación en las mipyme Iberoamericanas. Estudios Gerenciales, 29(126), 12-16.

Garson, G. D. (1991). Interpreting neural-network connection weights. AI expert, 6(4), 46-51.

Girma, S., Gong, Y., & Görg, H. (2008). Foreign direct investment, access to finance, and innovation activity in Chinese enterprises. The World Bank Economic Review, 22(2), 367-382.

Goh, A. T. C. (1995). Back-propagation neural networks for modeling complex systems. Artificial Intelligence in Engineering, 9(3), 143-151.

Goldsmith, R. W. (1955). Financial structure and economic growth in advanced countries: An experiment in comparative financial morphology Capital formation and economic growth (pp. 112-167): Princeton University Press.

Gompers, P. A. (1995). Optimal investment, monitoring, and the staging of venture capital. The journal of finance, 50(5), 1461-1489.

Goodacre, A., & Tonks, I. (1995). Finance and technological change Handbook of the Economics of Technological Change (pp. 298-341). Oxford: Basil Blackwell.

Gorodnichenko, Y., & Schnitzer, M. (2013). Financial constraints and innovation: Why poor countries don't catch up. Journal of the European Economic Association, 11(5), 1115-1152.

Griliches, Z. (1995). R&D and productivity: Econometric results and measurement issues. In I. P. Stoneman (Ed.), Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change (pp. 52-89). Oxford: Blackwell.

Guariglia, A., & Liu, P. (2014). To what extent do financing constraints affect Chinese firms' innovation activities? International Review of Financial Analysis, In Press.

Hall, B. (1990). The impact of corporate restructuring on industrial research and development. Brookings Papers on Economic Activity. Microeconomics., 1990(1990), 85-136.

Hall, B. (1992). Research and development at the firm level: Does the source of financing matter? NBER Working Paper No.4096 (1992).

Hall, B. (2002). The financing of research and development. Oxford review of economic policy, 18(1), 35-51.

Hall, B., & Lerner, J. (2009). The financing of R&D and innovation. In B. H. H. a. N. Rosenberg (Ed.), Handbook of the Economics of Innovation. Amsterdam: Elsevier North Holland.

Himmelberg, C. P., & Petersen, B. C. (1994). R & D and internal finance: A panel study of small firms in high-tech industries. The Review of Economics and Statistics, 76(1), 38-51.

Hottenrott, H., & Peters, B. (2012). Innovative capability and financing constraints for innovation: more money, more innovation? Review of Economics and Statistics, 94(4), 1126-1142.

Hsu, P.-H., Tian, X., & Xu, Y. (2014). Financial development and innovation: Cross-country evidence. Journal of Financial Economics, 112(1), 116-135.

Jiménez, L. F. (2008). Capital de riesgo e innovación en América Latina. Revista de la CEPAL, 96, 173-187.

Kim, W., & Weisbach, M. S. (2008). Motivations for public equity offers: An international perspective. Journal of Financial Economics, 87(2), 281-307.

Leiponen, A. E., & Poczter, S. (2014). Financing of innovation strategies in emerging economies. SSRN Electronic Journal.

Leland, H., & Pyle, D. (1977). Informational asymmetries, financial structure, and financial intermediation. The Journal of Finance, 32(2), 371-387.

Levine, R. (1997). Financial development and economic growth: Views and agenda. Journal of Economic Literature, 35(2), 688-726.

Li, J., Chen, D., & Shapiro, D. M. (2010). Product innovations in emerging economies: The role of foreign knowledge access channels and internal efforts in Chinese firms. Management and Organization Review, 6(2), 243-266.

Love, J. H., & Roper, S. (1999). The determinants of innovation: R & D, technology transfer and networking effects. Review of Industrial Organization, 15(1), 43-64.

Maiti, D., & Singh, P. (2011). Firm size, finance and innovation: Country level study. University of Delhi.

Majumdar, S. K. (2011). Retentions, relations and innovation: The financing of R&D in India. Economics of Innovation and New Technology, 20(3), 233-257.

Mazzucato, M. (2013). Financing innovation: creative destruction vs. destructive creation. Industrial and Corporate Change, 22(4), 851-867.

Merton, R. C. (1992). Financial innovation and economic performance. Journal of Applied Corporate Finance, 4(4), 12-22.

Modigliani, F., & Miller, M. H. (1958). The cost of capital, corporation finance and the theory of investment. The American Economic Review, 48(3), 261-297.

Monroy, S., Cortés, C., Rey, C., & Rodriguez, W. (2011). Evolución del premio Innova. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Neely, A., & Hii, J. (1998). Innovation and business performance: a literature review The Judge Institute of Management Studies, University of Cambridge (pp. 0-65).

Nelson, R. R. (1959). The simple economics of basic scientific research. Journal of Political Economy, 67(3), 297-306.

OECD. (2003a). Complete market. Glossary of statistical terms. Consultado el 13 de Julio, 2014, de http://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=5900

OECD. (2003b). Transaction costs. Glossary of statistical terms. Consultado el 30 Junio, 2014, de http://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=3324

Organization for Economic Co-operation and Development. (2005). Manual de Oslo: guía para la recogida e intepretación de datos sobre innovación (3a ed.): OECD publishing.

Petersen, M. A., & Rajan, R. G. (1995). The effect of credit market competition on lending relationships. The Quarterly Journal of Economics, 110(2), 407-443.

Rajan, R. G., & Winton, A. (1995). Covenants and collateral as incentives to monitor. The Journal of Finance, 50(4), 1113-1146.

Rivera, J. A., & Alarcón, D. S. (2012). El cargo de capital en la evaluación del desempeño financiero de empresas innovadoras de confecciones de Cali. Estudios Gerenciales, 28(123), 85-99.

Rivera, J. A., & Ruíz, D. (2009). El desempeño financiero de las empresas innovadoras en Colombia. Memorias del encuentro de investigadores en prospectiva, innovación y gestión del conocimiento, 128-144.

Rivera, J. A., & Ruíz, D. (2011). Análisis del desempeño financiero de empresas innovadoras del sector alimentos y bebidas en Colombia. Pensamiento y Gestión, 31, 109-136.

Rogers, M. (1998). The definition and measurement of innovation. Melbourne, Australia: Melbourne Institute of Applied Economic and Social Research Parkville, VIC.

Romijn, H., & Albaladejo, M. (2002). Determinants of innovation capability in small electronics and software firms in southeast England. Research Policy, 31(7), 1053-1067.

Takalo, T., & Tanayama, T. (2010). Adverse selection and financing of innovation: Is there a need for R&D subsidies? The Journal of Technology Transfer, 35(1), 16-41.

Ughetto, E. (2008). Does internal finance matter for R&D? New evidence from a panel of Italian firms. Cambridge Journal of Economics, 32(6), 907-925.

Usher, D. (1964). The welfare economics of invention. Economica, 31(123), 279-287.

Williamson, O. E. (1988). Corporate finance and corporate governance. The Journal of Finance, 43(3), 567-591.

Xiao, S., & Zhao, S. (2012). Financial development, government ownership of banks and firm innovation. Journal of International Money and Finance, 31(4), 880-906.

1. Un activo es reasignable (*redeployable*) si su valor en un uso alterno es casi tan alto como su valor en el proyecto actual. [↑](#footnote-ref-1)