Determinantes de la actividad innovadora en la industria manufacturera colombiana

Andrés Langebaek R.[1]
Diego M. Vásquez E.

Abstract

This paper presents a summary of the main issues regarding innovation determinants at the firm level. It also reviews the most important theoretical and empirical papers on the subject. It describes the results of a Tobit model for the Colombian manufacturing industry which is estimated by CLAD method proposed by Powell (1984). It is concluded that innovation activity is highly related with the size of the firm, the presence of foreign capital and the knowledge base of the firm.

Resumen

Se presenta una revisión de los principales trabajos que analizan, teórica y empíricamente los determinantes de la inversión de las firmas en innovación. Se describen los resultados para la industria manufacturera colombiana, de un modelo Tobit, cuya estimación se lleva a cabo por medio del método CLAD propuesto por Powell (1984). Se concluye que el tamaño de las empresas, la participación del capital extranjero y las bases de conocimiento de las firmas son las principales variables explicativas.

Keywords: Innovation, R&D, Knowledge Economy, CLAD Estimation.
Palabras clave: Innovación, Investigación y desarrollo, Economía de conocimiento, Estimación CLAD.
Clasificación JEL: D20, L60, L22.

Primera versión recibida en abril de 2007; versión final aceptada en mayo de 2007.
Coyuntura Económica volumen XXXVII, No. 1, primer semestre de 2007, pp. 67-89. Fedesarrollo, Bogotá - Colombia.

[1] nlangeru@banrep.gov.co; dvasques@banrep.gov.co. Unidad de Investigaciones y Unidad de Econometría, respectivamente, del Banco de la Republica de Colombia. Se agradecen los comentarios de José Leibovich, Mario Nigrinis y Jaime Eduardo Ortiz.

I. INTRODUCCIÓN

Schumpeter (1911) define a la innovación como la fuente más importante del crecimiento económico. Si bien la literatura reciente reconoce que hay otras fuentes de crecimiento, como la estabilidad macroeconómica, el capital social y el control a la corrupción, pocos economistas se atreverían a dudar sobre la relevancia del tema. Sin embargo, la abundancia de literatura sobre los efectos de la innovación en el crecimiento contrasta con la escasez de trabajos sobre los factores que inciden en la innovación. Con mucha frecuencia esta variable se considera un resultado del avance de la ciencia y por lo tanto, exógena.

El objetivo de este trabajo es analizar los determinantes de la inversión en innovación en la industria manufacturera colombiana de acuerdo con los resultados de la segunda Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica efectuada por DANE-DNP-COLCIENCIAS. La estimación se lleva a cabo mediante un modelo tipo Tobit cuyos parámetros se obtienen a través de estimadores de Máxima Verosimilitud. Se llega a la conclusión de que el tamaño de las empresas, su poder de mercado y la capacitación de su mano de obra son variables importantes para explicar la inversión en innovación.

El trabajo se estructura de la siguiente manera: en la sección dos se presenta el debate teórico más importante en relación con el proceso de difusión del conocimiento innovador entre empresas, en la sección tres se describen las principales formas de innovación utilizadas por las firmas, en la sección cuatro se presentan algunos resultados descriptivos de la mencionada encuesta, haciendo especial énfasis en las diferencias por tamaño. En la sección cinco se plantea un modelo heurístico de determinantes del esfuerzo innovador con base en lo señalado por la literatura disponible[2]. En la sexta se describen los datos y resultados econométricos. Por último se presentan algunas conclusiones.

II. ASPECTOS TEÓRICOS

Existe alguna confusión sobre el significado del término innovación y su relación con los términos "tecnología" e "investigación y desarrollo" (I&D). Para fines de este trabajo podemos definir innovación, como el conjunto de actividades orientadas a implementar nuevos productos o procesos o a realizar mejoramientos en los mismos[3]. El término tecnología se refiere al conjunto de *medios (instrumentos o maquinaria)* o de conocimientos para resolver un problema. Así las cosas la innovación hace uso de la tecnología y por ende del conocimiento[4]. Por ultimo definimos I&D como el conjunto de actividades orientadas a crear nuevos productos o procesos, o nuevo conocimiento para el mundo, con la esperanza de llegar a tener aplicación comercial.

El análisis de la innovación ha tenido como consecuencia la incorporación del conocimiento en la función de producción. Freeman (1994) señala al respecto: "los flujos de información y conocimiento son tan importantes para entender el comportamiento de las empresas como el análisis económico de los

---

2 Los términos esfuerzo innovador e inversión en innovación son utilizados como sinónimos en este trabajo.

3 Esta definición coincide con la Schumpeter (1947) para quien innovar es: "Hacer cosas nuevas o el hacer de una manera nueva cosas que ya se habían hecho".

4 Otro término relacionado es el de invención es una idea sobre un nuevo producto o proceso. La innovación es llevar esa idea a la práctica. Mientras que las invenciones ocurren en cualquier parte, las innovaciones se dan principalmente en las empresas y se ofrecen en el mercado. Las actividades de innovación llegan a incluir un espectro amplio de actividades como el mercadeo de invenciones.

materiales, componentes e insumos". Más adelante en esta sección se tratarán las implicaciones de esta nueva concepción.

Los diferentes supuestos en relación a cómo se difunde el conocimiento tienen importantes implicaciones sobre la teoría económica y permiten definir al menos dos escuelas de pensamiento económico. De un lado se encuentra la teoría neoclásica cuando supone información perfecta. Con este supuesto se puede construir, para cada sector económico dependiendo de sus características tecnológicas y del tamaño del mercado, una empresa representativa que describe adecuadamente el comportamiento de un colectivo de empresas. Esta tradición se fundamenta en Arrow (1959) quien postula el carácter público del conocimiento debido a problemas de apropiabilidad, la cual es resultado de la movilidad del personal entre las firmas, de la existencia de contactos informales entre ellas y de la imperfección de las patentes como mecanismo de protección a los nuevos descubrimientos. Las empresas pueden innovar haciendo uso, sin mayor costo, del acervo de conocimiento existente en la economía.

En el extremo opuesto a la teoría neoclásica se encuentran las teorías neo schumpeterianas (Dosi (1988)) para las cuales el ámbito del conocimiento al que una empresa recurre para solucionar los problemas tecnológicos (base de conocimiento) es específico a ella. Esta base está conformada tanto por conocimiento tácito como por conocimiento codificado. El primero se refiere a aquel no publicado, incorporado en las rutinas de las empresas y los individuos que hacen parte de ellas y es por lo general un tipo de conocimiento difícil de transmitir. Cada empresa tiene una proporción diferente de conocimiento tácito y codificado que define su base de conocimiento. Adicionalmente, cada empresa tiene un paradigma tecnológico diferente (perspectivas diferentes sobre los problemas relevantes, las necesidades que deben ser atendidas, los principios científicos que deben ser utilizados, las prácticas para adquirir y salvaguardar el conocimiento y las percepciones sobre el mejor momento para hacer una inversión tecnológica). Las diferentes bases de conocimiento y los paradigmas tecnológicos definen la naturaleza específica de la tecnología en las firmas[5].

Otras corrientes de pensamiento, diferentes a las neoclásicas y neo schumpeterianas explican la existencia de diferentes niveles de conocimiento tecnológico entre las empresas. Liebenstain (1969) propone que la adopción de una innovación en una empresa depende de los costos y beneficios que la innovación genere entre los grupos que constituyen la empresa y de los incentivos y compensaciones que se implementen con su introducción. Adicionalmente, las empresas pueden tener incertidumbre sobre los beneficios de adoptar una nueva tecnología lo que puede retrazar su adopción. Para Rosemberg (1976), aún en situaciones en las cuales la inversión en innovación puede reducir los costos de producción, ésta no es adoptada si el empresario tiene expectativas de un elevado ritmo de obsolescencia tecnológica. Para ciertas empresas la incertidumbre se reducirá en la medida que existan más empresas que han adoptado las nuevas tecnologías. Existe así la posibilidad de observar empresas seguidoras en materia de adopción de innovaciones.

Hall (1988) señala que en circunstancias de competencia imperfecta el concepto de innovación no

[5] El mismo Arrow (1999) acepta implícitamente el concepto de base de conocimiento. En efecto, al considerar las consecuencias de la inmovilidad de trabajadores afirma lo siguiente: "como resultado de ello, la base de información de la empresa es un activo quizá en proceso de desgaste, pero a un índice finito. La compañía, por tanto, posee un valor como negocio en marcha que puede exceder considerablemente el de sus activos físicos".

se identifica con el de productividad total de los factores[6]. De esta forma, la introducción de diferentes bases de conocimiento en las empresas tiene consecuencias significativas.

Este trabajo adopta una posición pragmática. Su propósito es cuantificar y determinar los factores que explican las diferencias en el esfuerzo innovador por parte de las empresas, sobre la base de que además de los entornos de mercado y las oportunidades tecnológicas, este esfuerzo puede depender de distintas bases de conocimiento en las empresas.

III. CARACTERIZACIÓN DEL ESFUERZO INNOVADOR

De acuerdo con la metodología de la encuesta sobre tecnología, elaborada por el DANE-DNP-COLCIENCIAS, los esfuerzos de innovación de las empresas pueden clasificarse en cinco formas[7]:

- *Inversión asociada al capital*: incorporación de conceptos, ideas y métodos a través de la compra de maquinaria y equipo con desempeño tecnológico mejorado.

- *Tecnologías de gestión*: adquisición de conocimientos orientados a ordenar, disponer, graduar o dosificar el uso de los recursos productivos. Por ejemplo: aplicación normas ISO, justo a tiempo, planeación estratégica, etc.

- *Tecnologías transversales*: introducción de conceptos, ideas y métodos como resultado de una actividad de investigación por fuera de la empresa o al interior de ésta. Ejemplo: patentes y licencias, software, asistencia a ferias, consultorías, etc.

- *Investigación y desarrollo (I & D)*: trabajo creativo emprendido sistemáticamente para incrementar el acervo de conocimientos y el uso de éste para nuevas aplicaciones.

- *Capacitación tecnológica*: aquella que está altamente relacionada con las tecnologías centrales en el proceso productivo de la empresa.

IV. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE INNOVACIÓN

El objetivo de esta sección es caracterizar y describir el proceso de inversión en innovación en la industria manufacturara colombiana. Para tal fin se enfatiza en la cuantía de innovación según tamaño[8].

A. Propensión a innovar según tamaño

El número de empresas con alguna categoría de inversión en actividades de desarrollo e innovación tecnológica[9] en el 2004 representó un 76,9% del

[6] Siguiendo a Hall (1988), el residuo de Solow en condiciones de poder de mercado se puede expresar: $\Delta q - \alpha\Delta n = (\mu - 1)\alpha\Delta n + \theta + \mu$ donde; q es la relación producto capital, α la participación del trabajo en el producto, n la razón trabajo a capital, θ el indicador de progreso técnico y μ un indicador de precio a costo marginal *(mark up)*. Sólo cuando el precio es igual al costo marginal ($\mu = 1$) el residuo de Solow es equivalente al cambio técnico y al incremento en productividad.

[7] La innovación en mercadeo, como una forma de innovar, no es tenida en cuenta en la encuesta colombiana. Sin embargo, está incluida en el Manual de Oslo (2005).

[8] Un análisis más detallado de la encuesta se encuentra en: Innovación y Desarrollo Tecnológico en la Industria Manufacturera Colombiana. 2003-2004. DANE-DNP-COLCIENCIAS (2005).

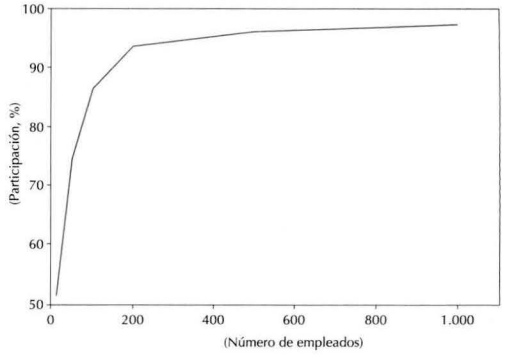
[9] La encuesta del DANE-DNP-COLCIENCIAS indaga por la inversión en innovación para los años 2003 y 2004. Sin embargo las cifras de personal ocupado se refieren exclusivamente al 2004. En la medida que las cifras de empleo pudieron variar de un año a otro, en lo que sigue se hará referencia al último año disponible.

total de empresas industriales. Como se aprecia en el gráfico 1, a mayor tamaño mayor propensión a innovar[10]: el 52% de las empresas de menos de 10 trabajadores realizó algún tipo de inversión en innovación, esta proporción alcanzó un 94% en empresas de más de 200 trabajadores y un 98% en las firmas con más de 1000.

Este resultado generalizado se obtiene, igualmente, para cada una de las formas de innovación. En efecto, en el Cuadro 1 se aprecia que la inversión en investigación y desarrollo representa el 2,9% en las empresas pequeñas y 21,4% en las de más de 500 trabajadores.

De lo anterior puede concluirse que Colombia se ajusta al patrón encontrado en otros países en desarrollo, donde existe preferencia por la adquisición de maquinaria y equipo y baja participación de la compra de licencias y obtención de patentes. La inversión en I&D se concentra en pocas empresas. En efecto, sólo 6,2% del total de empresas del sector industrial realiza este tipo de inversión. Adicionalmente, se observa que la inversión en tecnologías incorporadas al capital es más común en firmas grandes, en tanto que en empresas pequeñas es más frecuente el uso de tecnologías transversales, las cuales corresponden a contratación de invención por fuera de la empresa.

Gráfico 1. PARTICIPACIÓN DE INVERSIÓN EN INNOVACIÓN VERSUS TAMAÑO



Fuente: Encuesta DANE, DNP y Colciencias (2005).

En el Cuadro 2 se observa que las empresas más grandes diversifican más su inversión en innovación. En efecto, una alta proporción de las pequeñas concentran su inversión en una o dos formas de innovar en tanto que las grandes tienen entre tres y cinco formas de invertir.

Cuadro 1. PROPORCIÓN DE EMPRESAS QUE INVIERTE, CLASIFICADAS POR TAMAÑO Y TIPO DE INVERSIÓN, 2004 (%)

Forma/tamaño (número de ocupados)	Hasta 10	11 a 50	51 a 100	101 a 200	201 a 500	501 a 1000	Total
Tecnologías incorporadas al capital	24,0	48,4	69,5	76,3	85,7	91,8	54,1
Tecnologías de gestión	20,8	37,5	51,8	61,8	71,9	77,5	42,8
Tecnologías transversales	30,5	50,2	64,0	65,7	73,4	78,6	53,0
Investigación y desarrollo	2,9	4,8	6,6	9,4	12,0	21,4	6,2
Capacitación	25,4	45,9	61,7	71,3	79,4	84,1	50,8

Fuente: Encuesta DANE, DNP y Colciencias (2005).

[10] Siguiendo la literatura sobre el tema, la propensión a innovar se define como el número de empresas que tiene alguna inversión en innovación sobre el total de empresas encuestadas (según rango de tamaño).

Cuadro 2. NÚMERO DE FORMAS DE INNOVACIÓN SEGÚN TAMAÑO, 2004 (%)

Número de formas de innovar	Hasta 10	11 a 50	51 a 100	101 a 200	201 a 500	501 a 1000	Total
1	21,2	18,3	12,3	8,6	6,5	3,8	15,7
2	14,1	20,1	21,0	18,9	14,3	8,2	18,5
3	9,5	18,9	24,3	24,7	24,3	28,6	19,4
4	5,1	14,5	25,3	32,9	42,4	38,5	18,9
5	1,0	2,7	5,0	6,4	9,01	8,7	4,0

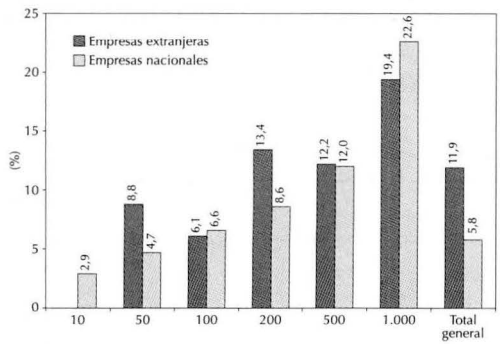
Fuente: Encuesta DANE, DNP y Colciencias (2005).

B. Origen del capital e innovación

Como se observa en el Gráfico 2 la propensión a innovar por parte de las empresas extranjeras (proporción de empresas innovadoras con capital extranjero al total de empresas extranjeras) es mayor que la propensión a innovar por parte de las empresas nacionales (92,3% frente a 75,5%). Sin embargo, este resultado no se mantiene para todos los rangos de tamaño de las empresas ni para todas las formas de innovar. La propensión a innovar en I&D es mayor para empresas nacionales con menos de 10 trabajadores y con más de 1000.

En la siguiente sección se presenta un resumen de los principales trabajos sobre esfuerzo innovador

Gráfico 2. PROPENSIÓN A INVERTIR EN I&D VERSUS TAMAÑO



Fuente: Encuesta DANE, DNP y Colciencias (2005).

elaborados, tanto para países desarrollados y en vía de desarrollo.

V. MODELO DE DETERMINANTES DEL ESFUERZO INNOVADOR

A nivel de países desarrollados, el objetivo fundamental de los trabajos a sido constatar el impacto sobre el esfuerzo innovador de la rivalidad, medida ésta a través del grado de concentración de mercado. En particular, siguiendo a Schumpeter (1947), aunque una estructura de monopolio u oligopolio puede generar ineficiencias estáticas, también es posible que existan economías de escala en la innovación, con eficiencias dinámicas, que ayudan a contrarrestar los efectos adversos de las primeras. Cohen y Levin (1989) presentan un buen resumen los trabajos existentes a nivel de los países desarrollados y sus dificultades metodológicas.

Podría decirse que el trabajo más influyente desde el punto de vista metodológico es el de Crepon, Duguet y Mairesse (1998), el cual analiza el proceso innovador como resultado de la determinación de la propensión a innovar, la intensidad de la innovación (gasto en innovación) y la modelación de los resultados de la innovación (patentes o registros de propiedad). El análisis más reciente es el de Mairesse, Mohen y Marcel (2006), donde se comparan los determinantes de la innovación en seis países europeos.

La disponibilidad de encuestas de innovación en países en desarrollo permite contar con análisis empíricos recientes que analizan los determinantes de la inversión en innovación. Entre estos se destacan los de de Benavente (2002) para Chile, Sanguinetti (2005) para la Argentina y Romo D. y Hill de Titto (2006) para México. Los trabajos para países en desarrollo dan mayor énfasis al efecto de la propiedad, nacional o extranjera de las empresas y al impacto de las condiciones macroeconómicas sobre la innovación.

La literatura sobre innovación en Colombia es escasa. Existen algunos documentos sobre los determinantes del grado de concentración de las empresas y sobre su impacto en el crecimiento y productividad de la industria manufacturera. Echavarría, Arbeláez y Rosales (2006) mencionan los principales trabajos existentes en esta área y Echavarría (1990) presenta los resultados de una encuesta aplicada a 50 empresas grandes de la industria manufacturera, donde se tiene en cuenta la utilización y disponibilidad de tecnologías. La encuesta de Desarrollo Tecnológico en el Establecimiento Industrial Colombiano (DTEIC), elaborada en 1996, permitió conocer aspectos relacionados con el proceso innovador en 885 establecimientos industriales. Los resultados descriptivos fueron publicados por Colciencias, el DNP y el Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología en el 2000[11]. El esfuerzo analítico más sistemático por analizar el tema en Colombia es el que realiza Alvarado (2000) quien con base en la DTEIC estudia los determinantes tanto de la propensión a innovar como de la intensidad de la innovación, en línea con el mencionado trabajo de Crepon, Duguet y Mairesse. Este autor incluye variables relacionadas con el empleo además de variables dicótomas según el sector industrial, el carácter exportador de la empresa, el entrenamiento a empleados en nuevas tecnologías de proceso y la introducción de prácticas de gestión modernas. Este trabajo concluye que las firmas medianas y grandes, así como aquellas que tienen capital extranjero, tienen mayor probabilidad de embarcarse en procesos de innovación. Sin embargo la intensidad de la innovación tiende a ser mayor en las empresas pequeñas y jóvenes.

Nuestro trabajo, además de incluir información actualizada de un número mayor de empresas, adopta una aproximación más parsimoniosa que el trabajo de Alvarado. En efecto, consideramos que si bien es legítimo separar los factores que determinan la propensión a innovar de aquellos que explican la intensidad de la innovación, no tenemos argumentos teóricos a priori que nos permitan hacer una diferenciación entre ellos. De otra parte, hemos preferido reducir el número de variables independientes dicótomas con el objeto de tener aproximaciones más simples y generales, pero más robustas, del fenómeno innovador.

Con base en los trabajos empíricos mencionados se puede especificar, en forma heurística, un modelo que relacione el esfuerzo innovador y sus determinantes de la siguiente forma:

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 TE + \alpha_2 GR + \alpha_3 SE + \alpha_4 PE + \alpha_5 OM +$$

$$\alpha_6 CMO + \alpha_7 GC + \alpha_8 FM + \alpha_9 GK \qquad (1)$$

Donde *Y* corresponde al esfuerzo innovador, *TE* es el tamaño de las empresas, *GR* es el grado de rivalidad de las empresas en un sector, *SE* es el sector económico, *PE* corresponde a la participación extranjera en las empresas, *OM* representa la orientación exportadora de la empresa, *CMO* es el nivel de calificación de la mano de obra, *FM* hace referencia a la situación macroeconómica, *GC* a la estructura de gobierno

[11] Durán *et al.* (1990).

corporativo y GK a la gestión de conocimiento en las empresas. Los α_i(i entre 1 a 9) miden el efecto de las mencionadas variables sobre la innovación. A continuación se describen más detalladamente estas variables y su justificación en el modelo.

A. Tamaño de las empresas (TE)

Schumpeter (1942) postula la existencia de rendimientos crecientes a escala en el proceso innovador. Así, las empresas más grandes tienen mayores niveles de inversión en innovación. Dichos rendimientos a escala se deben tanto a los elevados costos fijos de cierto tipo de infraestructura, laboratorios departamentos de mercadeo, plantas piloto, como a la presencia de externalidades pecuniarias[12]. Adicionalmente, Dosi (1988) señala que dadas las asimetrías de información y la incertidumbre en el proceso innovador el sector financiero prefiere otorgar crédito a empresas con colateral.

Otros trabajos, tales como Rowley (1973), indican que a mayor tamaño, mayor esfuerzo innovador. En efecto, según este autor, el riesgo en las actividades de innovación, hace conveniente la diversificación del portafolio de inversiones en proyectos de tal manera que el fracaso de unos proyectos se compense con el éxito de otros. Esta diversificación se facilita en las grandes empresas. Adicionalmente, Scherer y Ross (1990) señalan que las empresas grandes hacen uso fácilmente de su infraestructura. Departamentos de mercadeo, por ejemplo, permiten obtener los beneficios de la innovación en forma más rápida.

Sin embargo, es posible encontrar argumentos contrarias a lo señalado en el párrafo anterior. Por ejemplo, en el *U.S. Small Business Administration* (1986) de los Estados Unidos, se concluye que las empresas pequeñas tienen ventajas sobre las grandes. En este sentido, en una empresa grande la aprobación de desarrollo de nuevas ideas puede estar sometida a numerosos filtros que la hacen inviable o inoportuna. Adicionalmente, es posible que la estructura de incentivos que reciben los investigadores no sea la mejor[13] (en la medida que no reciben participación económica por las invenciones que realizan). En dicho trabajo se concluye que dichas firmas producen el doble de las innovaciones por trabajador que las grandes y que su propensión a generar innovaciones significativas es mayor.

Basado en evidencia para Estados Unidos, Markham (1965) postula que el esfuerzo innovador se incrementa más que proporcionalmente[14], hasta cierto tamaño de empresa y, a partir de dicho punto, éste disminuye.

B. Grado de rivalidad de las empresas del sector (GR)

Desde Schumpeter (1942) la literatura ha sugerido la idea de que el monopolio puede promover el progreso técnico. Esto se debe a que la innovación contribuye a mantener la condición de único productor que detenta el monopolista. Sin embargo, como lo

[12] Acceso que tienen las empresas más grandes a ciertos recursos e insumos a costos más bajos.

[13] Cohen y Levin, (1989) señalan cómo contra argumentos a esta tesis, que el control administrativo se pierde con el tamaño de las empresas, así como los incentivos para que los investigadores se apropien de los beneficios de los resultados de sus invenciones.

[14] Es decir, las empresas que enfrentan gran competencia (en igualdad de condiciones de costo) tienden a producir más que aquellas que ostentan poder de mercado. En estas condiciones una reducción de costos se traduce en un mayor número de unidades producidas, lo que genera un incentivo mayor a disminuir costos.

reseñan Cohen y Levin (1989) y Geroski (1990) un mayor grado de competencia genera incentivos para un mayor esfuerzo innovador, teniendo en cuenta que los productores buscan diferenciarse de sus competidores. Adicionalmente, el monopolio puede tener menos incentivos a innovar en la medida en que se "apega" a una tecnología, por considerar que ésta no ha amortizado lo suficiente para compensar las inversiones efectuadas. Scherer y Ross (1990), siguiendo a Fellner (1951), sugieren que los sectores menos concentrados tienden a ser innovadores por procesos, en tanto que los más concentrados tienen propensión a innovar por producto.

Respecto al nivel de concentración sectorial como determinante de la innovación, la literatura también reconoce una causalidad inversa a la que se supone en este trabajo. Específicamente, se afirma que son la innovación y los cambios tecnológicos los que determinan la estructura de mercado. Por ejemplo, los cambios tecnológicos, al propiciar la generación de bienes sustitutos o reducir los costos de entrada, pueden favorecer la entrada de nuevos competidores.

A pesar de lo anterior, puede pensarse que la acumulación de innovaciones y su desarrollo comercial durante un período largo de tiempo es lo que tiene efecto sobre la estructura de mercado. En el corto plazo, los argumentos que postulan una causalidad de la concentración al esfuerzo innovador son más plausibles.

C. Sector económico (SE)

Katz (2000) propone que el esfuerzo innovador depende de factores meso-económicos tales como la institucionalidad del sector, las características de la elasticidad precio de la demanda por los productos, las reglamentaciones específicas, las oportunidades tecnológicas y los diferentes grados de apropiabilidad de las innovaciones. Dorfman y Steiner (1954) postulan que el nivel óptimo de inversión para una innovación de producto depende inversamente de la elasticidad de la demanda y directamente del valor del producto marginal de la innovación[15].

Adicionalmente, con base en Stewart (1972) se puede definir el desarrollo histórico de una industria como otro factor importante, el cual está relacionado con las diferentes oportunidades tecnológicas y es directamente proporcional a éstas. En este sentido, es probable que existan pocas tecnologías disponibles respecto si se trata de un producto nuevo. Sin embargo, respecto a una industria tradicional, como la de textiles, puede existir una mayor variedad de tecnologías disponibles que implican diferentes esfuerzos innovadores (telar vertical, horizontal, manual, mecánico, etc.).

D. Participación extranjera en las empresas (PE)

Esta variable constituye un factor determinante del esfuerzo innovador en la medida en que las empresas pueden tener canales directos de transferencia de tecnología con sus casas matrices, acceso a mercados internos de capital y a un esquema de división del trabajo innovador entre la casa matriz y su subsidiaria. Bajo el supuesto de que la transmisión de tecnología aumenta, no sólo con la existencia de capital del exterior sino con el monto de su participación[16], en la siguiente sección se considera el porcentaje de capital extranjero como factor fundamental.

---

[15] Una innovación que tienda a mejorar la calidad del producto aumentará directamente la demanda por él, sin embargo, también aumentará su costo, lo que se traduce en un aumento de precios que contrarresta el efecto inicial de incremento de la demanda.

[16] En forma semejante, puede pensarse que esta transferencia se facilita entre empresas de un mismo grupo económico.

E. Factores macroeconómicos (FM)

Según Katz (2000) variables macroeconómicas tales como: las tasas de cambio y de interés y el nivel de inflación pueden tener un importante efecto tanto en la propensión a innovar como en la inversión en innovación a través de la rentabilidad esperada de la inversión.

Adicionalmente, la magnitud en que dichas variables afectan el nivel de inversión de una firma depende, en primera instancia, de las condiciones particulares de la demanda tales como: i) la durabilidad, ii) el grado de competencia de productos importados y iii) la elasticidad precio de la demanda por el bien. En segundo lugar, dicha magnitud depende de su estructura de costos determinada por factores tales como: i) el componente importado de los insumos y ii) el acceso a recursos naturales.

F. Calificación de la mano de obra (CMO)

En la tradición neo schumpeteriana, los niveles de conocimiento de las empresas se constituyen en activos que hacen que la estructura de las empresas sea difícil de imitar por parte de sus competidores. Por lo tanto, la absorción de tecnología se facilita cuando la mano de obra es calificada y esta calificación permite aprovechar en mayor medida los procesos de *learning by doing o de learning by using*.

G. Orientación externa o interna de mercado (OM)

Lall (1992) señala que los niveles de innovación son mayores a medida que las empresas están en contacto con mercados más sofisticados y dinámicos[17]. Sanguinetti (2005) incluye el nivel de arancel como variable explicativa para tener en cuenta el grado de competencia generado por la venta de productos extranjeros.

H. Calidad del Gobierno corporativo de las empresas (GC)

Huang y Xu (1999) sostienen que el monitoreo que pueden ejercer acreedores diferentes a los accionistas, en especial el sector financiero, es importante para desestimular esfuerzos de investigación improductivos por parte de administradores. Daily y Dollinger (1992) argumentan que las buenas prácticas de gobierno corporativo deben permitir la mayor atracción de capital de riesgo.

I. Eficiencia en la gestión de conocimiento de las empresas (GK)

Por último, Teece (1998) indica que la habilidad de las empresas para retener a sus buenos empleados, su capacidad para estimular la transferencia de conocimiento y el capital social (confianza) entre los trabajadores constituyen activos intangibles que pueden promover los flujos de información y la innovación.

A pesar de su importancia, estas dos ultimas variables no se consideran en este trabajo ya que, o bien son de difícil medición o no están disponibles.

VI. DESCRIPCIÓN DE DATOS Y RESULTADOS

El objetivo de esta sección es presentar una breve descripción de los datos utilizados y las condiciones que determinan la forma de medición de las variables incluidas en el modelo econométrico. Adicionalmente, se describe la técnica de estimación utilizada, los resultados y diagnóstico, tanto

[17] Como lo señalan Mairesse y Mohen (2006), es posible que esta variable no sea exógena. Se podría pensar que la orientación exportadora sea el resultado de los esfuerzos de innovación en el pasado.

para el modelo de inversión total, como para los cinco modelos que consideran las formas diferentes de innovación.

A. Descripción de datos

La información se obtiene de la mencionada encuesta innovación en Colombia para el año 2004 y por lo tanto constituye un corte transversal de 6.172 firmas[18].

1. Variable dependiente

Se considera la inversión en innovación por trabajador. Tal como se presentó en la sección 3, de acuerdo con la metodología de la encuesta que estamos analizando, la inversión en innovación puede clasificarse en las siguientes cinco formas: *inversión asociada al capital, inversión en tecnologías de gestión, tecnologías transversales, investigación y desarrollo (I & D) y Capacitación tecnológica*. En el análisis que sigue se analizará la inversión en estas cinco formas de innovación y en la inversión total[19].

Si bien la innovación puede medirse a través de indicadores producto, tales como patentes, registros de propiedad o ventas asociadas a los gastos en innovación, y a partir de indicadores de insumo, es el gasto en las diferentes formas de inversión en innovación el que se utiliza, debido principalmente a los siguientes problemas asociados a los indicadores de producto para medir la innovación:

- *Problema de apropiabilidad*: las patentes son utilizadas sólo en algunos sectores donde los productos son difíciles de imitar. Algunos de los estudios mencionados en las secciones 4 y 5 tales como Cohen, Nelson y Levinthal (2002) concluyen que las patentes son utilizadas, como mecanismos de protección de propiedad intelectual en los sectores de química y farmacéutica, principalmente. Las innovaciones, especialmente en sectores como el de electrónica, tienen menor propensión a ser patentadas debido al interés por evitar que la información crítica contenida en ellas se difunda a los competidores al momento de ser solicitada. En estos casos, las empresas encuentran otros mecanismos sustitutos de protección. Por ejemplo, la inversión en activos complementarios como el servicio al cliente se constituye en barreras a la imitación. Adicionalmente, el mercadeo se utiliza con este propósito.

- *Capacidad para reflejar el valor económico*: los registros de patentes no reflejan su verdadero valor económico, de esta manera son equivalentes las patentes que no terminan en aplicaciones comerciales a las que sí lo hacen. En algunos casos la decisión de patentar tiene como propósito incrementar la reputación de la empresa y no obtener ingresos por ellas.

- *Dificultad de registro*: el proceso de registrar una innovación es complejo. Los empresarios deben probar la novedad de sus innovaciones. De esta manera, puede existir una diferencia significativa entre el momento de la invención y su registro. Por esta misma razón, las empresas pequeñas tienden a no registrar sus innovaciones.

[18] Si bien la información de inversión se encuentra disponible para los años 2003 y 2004 infortunadamente la información de ocupados sólo se recolectó para el año 2004. Esta circunstancia imposibilita el uso de técnicas de panel en la estimación.

[19] Es importante mencionar que podría plantearse una causalidad diferente a la que hemos supuesto en este ejercicio: las empresas que mas invierten en innovación son las que crecen más y por lo tanto las que llegan a tener mayor tamaño. Infortunadamente esta hipótesis no puede ser corroborada empíricamente por la ausencia de una variable instrumental que permitiera llevar a cabo los contrastes de Hausman o Durban-Wu-Hausman.

- *Exclusividad*: una patente otorga a un innovador, por un tiempo limitado, el derecho exclusivo de impedir que sin su consentimiento terceras personas utilicen o exploten su invención en un ámbito geográfico determinado. De esta forma, las empresas extranjeras en el país pueden patentar innovaciones sin que hayan realizado ningún esfuerzo innovador en el territorio.

- *Conocimientos existentes*: la mayor parte de la inversión de las empresas corresponde a innovaciones incrementales basadas en conocimientos ya existentes. El uso de este conocimiento y el mejoramiento de productos y procesos que se deriva de éste no tienen por qué verse reflejados en nuevo conocimiento para el mundo.

2. *Variables explicativas*

- *Tamaño de las empresas (TE)*: se aproxima por el número de ocupados. La variable se toma directamente de la encuesta.

- *Grado de rivalidad (GR)*: no constituye una variable de fácil medición. Por lo tanto, en muchos casos se utiliza como *proxy* del grado de concentración calculado a partir de la participación en las ventas o mediante el porcentaje de las ventas realizado por as cuatro o cinco empresas más grandes del sector. Siguiendo a Geroski (1990), en este trabajo se aproxima el grado de rivalidad por medio del porcentaje de empresas pequeñas (menos de 50 trabajadores) respecto al total del sector. La información corresponde a la clasificación CIIU a tres dígitos (Revisión 3). Por lo tanto se cuenta con información de rivalidad para 66 sectores manufactureros.

- *Participación del capital extranjero (PE)*: esta variable es reportada directamente por la encuesta y adopta valores entre cero (empresa de capital nacional) y 100% (empresa en manos de capital extranjero).

- *Sector económico (SE)*: capturado a través de la creación de dos variables dicótomas que representan el comportamiento sectorial: i) la de bienes de consumo y ii) la de materias primas. El escenario base corresponde a la producción de bienes de capital.

- *Factores macroeconómicos (FM)*: tal como se mencionó anteriormente, las variables macroeconómicas afectan la inversión en innovación en la medida que inciden sobre su rentabilidad esperada. Debido a que no se cuenta con una serie que permita estimar los efectos de estas variables en el tiempo se toma el crecimiento de las ventas en los últimos años bajo el supuesto de presencia de expectativas adaptativas. Por razones teóricas y de disponibilidad de información, se toma como variable independiente el crecimiento promedio en el nivel de ventas en el período 2001/2003. Al igual que la variable rivalidad, se cuenta con esta información para 66 sub sectores industriales[20].

- Otras variables no consideradas: antes se había mencionado como posibles determinantes de la inversión en innovación la orientación de mercado y el gobierno corporativo de las empresas. Sin embargo, debido a que al momento de elaboración de este documento no se contaba con la información del cruce con la Encuesta Anual Manufacturera, estas variables no pudieron ser incluidas en los modelos.

[20] No es claro que las empresas basen su decisión de invertir exclusivamente con base en el desempeño de sus ventas. Por el contrario, si su nivel de ventas no es bueno pero el nivel de ventas del sector en su conjunto sí lo es, existirá un incentivo importante para realizar una inversión.

Debido a la naturaleza truncada y censurada[21] de la muestra, el modelo econométrico adopta una especificación Tobit estándar[22].

B. Modelo econométrico y metodología de estimación

El objetivo de esta sección es presentar la especificación econométrica del modelo heurístico de determinantes de la inversión en innovación, propuesto mediante la ecuación *(1)*. La notación utilizada es la misma utilizada en Amemiya (1996).

1. Especificación

Teniendo en cuenta las consideraciones presentadas en la sección anterior respecto a la disponibilidad de mediciones para las variables consideradas como determinantes desde el punto de vista teórico y, la naturaleza truncada y censurada de la variable dependiente, se define el siguiente modelo Tobit estándar[23] de la siguiente forma:

$$y_i^* = X_i' \beta + u_i, \qquad i = 1,2,\cdots, n \qquad (2)$$

$$y_i = y_i^* \quad si \quad y_i^* > 0 \qquad (3)$$
$$y_i = 0 \quad si \quad y_i^* \leq 0$$

Donde $\{u_i\}$ es un término de error que se supone que es $\sim i.i.d.N(0\sigma^2)$, $\{y_i\}$ y $\{X'\}$ son observables en $i = 1,2\cdots$, n pero $\{y^*\}$ adopta valores de cero si $y^* \leq 0$. El vector $\{x'\}$ corresponde a la *i-ésima* fila de la matriz $\underline{X}$ de dimensiones $(n \times K)$, que contiene todas las observaciones de las variables explicativas $(K = 8)$, incluida la constante. Se supone que $\{x_i\}$ es uniformemente acotado y $lim_{n\to\infty} n^{-1} \underline{X}' \underline{X}$ constituye una matriz positiva definida. Es necesario distinguir los vectores y matrices de observaciones positivas de aquellos que contienen todas las n observaciones tal como $\underline{X}$.

2. Estimación Tobit MLE

La literatura sobre el proceso de estimación de los parámetros desconocidos en *(2)* es extensa[24].En este trabajo se utiliza, inicialmente, el método de estimación Tobit de máxima verosimilitud (Tobit MLE), el cual es el adecuado para la especificación estándar del modelo descrito en *(2)* y *(3)*. Una breve descripción de este proceso de estimación se encuentra en el Anexo 1 de este trabajo.

---

[21] Disponer de una muestra censurada no significa necesariamente que ésta sea truncada. Los efectos de considerar una u otra forma se observan en el proceso de estimación debido a que la especificación de la función de verosimilitud del modelo cambia según sea el caso. Siguiendo a Maddala (1991), la diferencia entre las dos radica en que una muestra truncada es aquella en la que no existen observaciones con valores superiores o inferiores (según sea el caso) a un determinado umbral de truncamiento. A diferencia de esto, una muestra censurada es aquella en la que sí existen observaciones de la variable con valores superiores o inferiores a un determinado umbral de censura pero éstas no son tenidas en cuenta. En la práctica es posible tener muestras doblemente truncadas (es decir en un intervalo), doblemente censuradas, truncadas y al tiempo censuradas como en el caso bajo análisis ya que no hay observaciones de inversión menores a cero, etc.

[22] Aunque se tiene una muestra truncada-censurada se le da al modelo una especificación Tobit estándar tal como en todos los trabajos citados, a manera de ejemplo, por Amemiya (1996). Dicha especificación fue originalmente propuesta por Tobin en 1958 y corresponde a un modelo censurado con la diferencia de que y^* sigue una distribución normal y el umbral de censura es el mismo para todo i.

[23] Este modelo corresponde al modelo Tobit tipo 1 de los 5 que se consideran en la literatura. Una presentación detallada de las definiciones de cada modelo y su estimación de máxima verosimilitud se encuentra en Amemiya (1996).

[24] Amemiya (1996) describe las propiedades de algunos estimadores y sus supuestos, entre los que se cuentan: el de máxima verosimilitud tipo Probit (ML), el de mínimos cuadrados ordinarios (LS), el de mínimos cuadrados no lineales en 2 etapas de Heckman (NLLS), el de mínimos cuadrados no lineales ponderado (NLWLS) y los estimadores Tobit de máxima verosimilitud (Amemiya 1973) y el algoritmo EM para obtener el estimador ML. Dentro de esta última categoría, Maddala (1991) considera el método de 5 pasos iterativo de Fair (1977).

Antes de calcular dicho estimador, es importante tener en cuanta que sus propiedades de insesgamiento y consistencia se pierden si se incumplen los supuestos de homoscedasticidad y distribución normal del término de error. En caso de dicho incumplimiento, es necesario recurrir a un proceso de estimación que sea robusto a estos problemas. En consecuencia, en la siguiente sección se describe el proceso de diagnóstico acerca del cumplimiento de dicho supuesto del modelo estimado por máxima verosimilitud.

3. *Diagnóstico*

Respecto al problema heteroscedasticidad, es necesario tener en cuenta que si se cumple el supuesto de normalidad, la ecuación (A-*8)* indicaría que el modelo Tobit utilizado es en sí mismo heteroscedástico. Adicionalmente, dicho problema es más frecuente en muestras conformadas por datos de corte transversal, tal como la utilizada en este trabajo en la cual se observa una gran heterogeneidad de las firmas[25].

Respecto al incumplimiento del supuesto de distribución normal, una vez obtenido el estimador Tobit MLE de los parámetros, se llevó a cabo el contraste de normalidad citado desarrollado por Skeels y Vella (1999)[26]. Los resultados son los del Cuadro 3.

Cuadro 3. PRUEBA DE NORMALIDAD SOBRE RESIDUALES*

Variable dependiente	Estadística CM	Valores críticos 10%	5%	1%
Maquinaría y equipo	946,73	5,60	7,37	12,15
T. Transversales	511,90	5,57	7,34	14,60
T. gestión	552,72	6,23	8,46	13,46
I & D	82,25	6,65	10,08	25,17
Capacitación	808,38	6,14	8,18	11,18
Todas	792,15	4,81	6,59	10,30

* El número de replicaciones *bootstrap* utilizado es de 500.

Como puede apreciarse en el cuadro 3, en todos los casos se tiene evidencia para rechazar la hipótesis nula de normalidad en los errores. Por lo tanto, como se mencionó, es necesario recurrir a un estimador robusto en presencia de heteroscedasticidad y no normalidad, el cual se describe en la siguiente sección.

4. *Estimador de Mínimas Desviaciones Absolutas para Muestras Censuradas (CLAD) de Powell*

Teniendo en cuanta los resultados encontrados en la sección de diagnostico, el estimador Tobit MLE resulta sesgado e inconsistente. Por lo tanto, con el fin de obtener un estimador que sea robusto al incumplimiento de dichos supuestos, se recurre al método de mínimas desviaciones absolutas para modelos de regresión censurados (CLAD) propuesto por Powell (1984)[27].

[25] Pagan y Vella (1989) citan los trabajos de Chesher & Irish (1987) y Gourieroux *et al.* (1987), en los cuales se desarrolla una prueba de heteroscedasticidad para modelos Tobit, basada en la siguiente condición de momentos, la cual no se aplica en este trabajo $N^{-1} \sum_{i=j}^{n} E\{z_i[E(u_i^2 \mid y_i)\ \sigma^2]\} = 0$. Donde z_i es un vector *(q x 1)* de variables no incorrectamente excluidas del modelo.

[26] Este contraste se fundamenta, entre otros, en el trabajo de Newey (1985) y Tauchen (1985) y es implementado por Drukker (2002), quien propone la utilización de un método paramétrico *bootstrap* para corregir el tamaño de la distorsión, señalada por Skeels y Vella (1999), que surge al utilizar la distribución asintótica de esta estadística La estimación se lleva acabo en Stata versión 9.2 y mediante el código desarrollado Drukker (2002).

[27] Teniendo en cuenta que el estimador CLAD es un caso particular del método de regresión por cuantiles Powell (1986) Extiende el método CLAD al caso general de estimación por cuantiles condicionales para modelos de regresión censurados. Adicionalmente Powell (1984) demuestra que este estimador es fuertemente consistente y es asintóticamente distribuido normal bajo errores que siguen distribuciones generales diferentes a la normal y aun frente a la presencia de residuales heterocedásticos.

En un modelo de regresión censurada donde la variable dependiente se supone que es iid, el estimador CLAD tiene la ventaja de que la mediana no se ve afectada por el umbral de censura (o por una censura inferior a la mediana), en tanto que la media si se ve alterada. Rescribiendo el modelo Tobit descrito por *(2)* de la siguiente forma:

$$y_i = max\ (0,\ X_i' \beta + u_i) \quad i = 1,2,\cdots,n$$

El estimador CLAD de propuesto por Powell (1984) se define a partir de:

$$\hat{\beta}_n = Arg\ \underset{\beta}{min}\ S_n(\beta) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} | y_i - max(0,\ X_i' \beta) | \qquad (4)$$

Dado $\hat{\beta}_n$, la distribución límite de $\sqrt{n}(\hat{\beta}_n - \beta)$ es normal con media cero y matriz de varianzas y covarianzas[28]:

$$[4f(0)^2\ lim_{n\to\infty}\ n^{-1} \sum_{i=1}^{n} \chi(X_i' \beta > 0)\ X_i^a\ X_i^{-1}] \qquad (5)$$

Donde $f(0)$ es el valor de la función de densidad de probabilidad del error evaluada en la mediana y χ es una variable indicadora tal que:

$$\chi = \begin{cases} 1 & si \quad X_i' \beta > 0 \\ 0 & e.o.c \end{cases} \qquad (6)$$

Los resultados de la estimación CLAD se presentan en el Cuadro 4[29].

A partir de los resultados contenidos en el Cuadro 4 se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- Las dos variables que resultan estadísticamente significativas como determinantes de todas las categorías de inversión en innovación son: i) el tamaño de la empresa (como síntoma de la presencia de economías de escala) y ii) la calificación promedio de la mano de obra.

  Es muy sugestiva la hipótesis de Dossi (1998) en el sentido de que la ventaja de las grandes empresas, sobre las pequeñas, se origine en mayor capacidad para atraer recursos de capital. Aunque no se ha analizado en este documento, las cifras revelan que los recursos empresariales (que incluyen recursos propios, de otras empresas del grupo económico y de clientes o proveedores) constituyen la fuente predominante de financiación del esfuerzo innovador. La proporción de menos de diez trabajadores que recurre a esta fuente de financiamiento alcanza un 92,1%, en tanto que la misma proporción para las empresas más grandes se reduce a un 81,2%. El acceso al crédito de la banca privada y el proveniente del sector público es también más frecuente para las empresas más grandes. El crédito privado es la fuente de financiación para el 46,7% de estas, en tanto que sólo un 13,5% de las empresas de menos de 10 trabajadores utilizó este mecanismo.

  Aunque al acceso a fuentes de recursos distantes a las propias por parte de empresas más grandes es una explicación importante, el efecto de escalas mínimas eficientes para adelantar esfuerzos de innovación también es un factor de importancia.

- La participación del capital extranjero resulta estadísticamente relevante como variable expli-

[28] Una exposición acerca de los aspectos computacionales de este estimador se encuentra en Koenker (2005), capítulo 6.

[29] La estimación de los parámetros se lleva acabo en Stata 9.2, mediante el código (CLAD) desarrollado por D Jolliffe, A. Semykina y B. Krushelnytskyy. En la estimación de las varianzas, mediante dicho código, siguiendo a Horowitz (2001) se utilizan 100 replicaciones *bootstrap*.

Cuadro 4. ESTIMADORES CLAD DE LOS DETERMINANTES DE LA INVERSIÓN EN INNOVACIÓN*

	Módulo 1 Maquinaria y equipo	Módulo 2 T. transversales	Módulo 3 T. de gestión	Módulo 4 I&D	Módulo 5 Capacitación	Módulo 6 Total
Ocupados	0,900 **	0,211 **	0,077 **	0,029 **	0,029 **	1,583 **
	(0,241)	*(0,056)*	*(0,024)*	*(0,010)*	*(0,008)*	*(0,347)*
Capitalext	4.725 **	-0,051	0,597 **	0,200	0,200	11.041 **
	(2.300)	*(0,464)*	*(0,304)*	*(0,129)*	*(0,132)*	*(2.530)*
Dmatprim	15.656	-31.452	-14.402	-21.353 **	-21.353	3.252
	(54.291)	*(41.219)*	*(12.269)*	*(10.516)*	*(13.093)*	*(60.830)*
Dconsumo	-8.103	-0,722	-11.756	3.897	3.897	14.523
	(74.578)	*(29.605)*	*(9.762)*	*(10.107)*	*(12.767)*	*(59.788)*
Rivalidad	-3.880	-1.982	-0,298	-0,309	-0,309	-3.598
	(5.349)	*(1.700)*	*(0,400)*	*(0,273)*	*(0,345)*	*(2.329)*
Skills2	0,031 **	0,008 **	0,005 **	0,006 **	0,006 **	0,075 **
	(0,007)	*(0,002)*	*(0,002)*	*(0,001)*	*(0,001)*	*(0,009)*
Ventas	4.736	2.134	0,068	0,081	0,081	2.023
	(6.268)	*(1.478)*	*(0,267)*	*(0,256)*	*(0,326)*	*(2.068)*
Constante	-94.144	11.166	-7.106	-42.026	-42.026	-125.516
	(243.957)	*(91.507)*	*(23.794)*	*(29.461)*	*(36.628)*	*(188.675)*
Muestra inicial	6.172	6.172	6.172	6.172	6.172	6.172
Muestra final	3.633	1.917	4.321	1.802	1.802	5.921
Pseudo R^2	0,01872	0,00635	0,00830	0,04315	0,04315	0,03741

* Errores estándar entre paréntesis.
** Estadísticamente significativa al 95%.

cativa en las siguientes formas de inversión: i) en maquinaria y equipo, ii) en tecnologías de gestión y iii) en la suma de todas. Por lo tanto, podría decirse las empresas con capital extranjero invierten más que las empresas nacionales en maquinaria, en tecnologías de gestión y a nivel agregado.

Llama la atención que el capital extranjero en las empresas no explique un mayor esfuerzo innovador en investigación y desarrollo. Sin embargo, no puede descartarse la hipótesis de la existencia de spillovers a través de los cuales las empresas aumentan su capacidad de innovar sin que realicen un mayor gasto en innovación. En efecto, es posible que la transferencia de conocimiento entre casas matrices y subsidiarias ocurra sin que medie erogación monetaria alguna. Este resultado obtenido para Colombia coincide con el trabajo de Romo y Hill de Titto (2006) para México.

- La variable dicotómica de materias primas es significativa como determinante de la inversión, solamente en la categoría de investigación y desarrollo y tiene un signo negativo demostrando que los sectores productores de materias primas realizan un menor esfuerzo innovador que los sectores productores de bienes de capital y consumo. Si bien la respuesta a este hecho exige un análisis más detallado, pueden adelantarse

algunas hipótesis sobre este comportamiento: i) por la naturaleza del bien producido, este tipo de sectores tiende a necesitar menor diferenciación del producto frente a otro tipo de productores, lo cual reduce la presión a innovar, ii) las características de apropiabilidad de las innovaciones en estos sectores son más débiles que en sectores productores de bienes de capital o de consumo. Esto puede deberse a que las características propias de estos bienes los hacen menos patentables.

- El único signo obtenido no esperado (negativo) es el del parámetro asociado con la variable de participación del capital extranjero para el modelo de inversión en tecnologías transversales, el cual resulta no significativo. Los demás signos coinciden con los esperados.

- Al censurar la muestra y tomar exclusivamente los valores positivos de la inversión se puede ver que la categoría con menor número de observaciones efectivas es investigación y desarrollo, en tanto que la de mayor número de observaciones es tecnologías de gestión. Este hecho, simplemente refleja el que el número de empresas que utiliza esta forma de innovación es más frecuente que la investigación y desarrollo.

- Llama la atención que la variable rivalidad no resulta significativa. Debemos recordar que existen fuertes argumentos teóricos a favor de cada una de las opciones extremas (monopolio versus ambiente competitivo) lo que sin duda se refleja en la presencia simultánea de monopolistas innovadores y empresarios que deben innovar como forma de sobrevivir en un mercado competido. A pesar de que la rivalidad no resulta estadísticamente significativa, se observa que tiene un impacto negativo sobre la inversión en innovación. Esto podría significar que si bien existen fuerzas contrapuestas, podría dominar la hipótesis schumpeteriana. El resultado obtenido para esta variable es muy común en la literatura; coincide por ejemplo con el encontrado para la Argentina por Sanguinetti (2005).

- La no significancia de la variable ventas podría ser interpretada en el sentido que las inversiones en innovación responden más a objetivos y planes de largo plazo y a las características estructurales de las empresas, que a la coyuntura. Sin embargo, no podemos descartar que si esta variable pudiera ser medida a nivel de la empresa, y no del sector como lo hemos hecho aquí, los resultados pudiesen ser diferentes.

VII. CONCLUSIONES

Los resultados presentados en este trabajo permiten corroborar algunos de los patrones encontrados para otros países en desarrollo. Se destacan los bajos niveles de investigación y desarrollo que adelantan las empresas en el país y la importancia de la maquinaria y equipo como principal fuente de innovación. El análisis permite establecer que las empresas pequeñas son considerablemente menos sofisticadas que las empresas grandes en relación con sus estrategias de innovación (diversificación en las formas de innovación). De igual forma se observa que tanto la propensión a innovar como el esfuerzo innovador aumentan con el tamaño de la empresa, sugiriendo ventajas de las empresas grandes en acceso a recursos de financiación y economías de escala en la producción.

El trabajo también permite corroborar la tesis neo schumpeteriana en el sentido de que parecen existir diferencias en los niveles de conocimiento entre las empresas que se constituyen en activos difíciles de imitar y que explican los mayores niveles de inversión. Si bien se ha señalado que el utilizar indicadores

de insumo para medir la innovación tiene ventajas sobre los indicadores de producto, debe tenerse en cuenta que la relación entre inversión en innovación e innovación propiamente dicha está afectada, al menos por las siguientes cinco circunstancias: i) la innovación está relacionada con actividades de *learning by doing* que no necesariamente implican gasto de inversión en las empresas. ii) las empresas aprenden de otras empresas y existen *spillovers* de conocimiento que tampoco tienen una contrapartida en la inversión, iii) la innovación es una actividad sujeta a riesgo, por lo tanto, no todo gasto se traduciría realmente en creación de nuevos productos o procesos o mejoramiento de los mismos, y iv) los resultados del proceso innovador parecen estar más relacionados con el stock de capital físico y humano que con un nivel puntual de inversión.

Lo expresado en el párrafo anterior sugiere la importancia de que el Dane continúe realizando este tipo de encuestas con mayor regularidad de lo que se ha hecho hasta ahora. Sin duda, la comprensión de un fenómeno tan complejo como el que se aborda en este trabajo se facilitaría. Algunos esfuerzos son necesarios para armonizar el cuestionario colombiano con los de otros países y poder así realizar comparaciones internacionales profundas y comprensivas.

BIBLIOGRAFÍA

Alvarado A. (2000), "Dinámica de la estrategia de innovación: el caso de Colombia", *Coyuntura Económica*, Vol. XXX (3).

Amemiya, T. (1973), "Regression Analysis When the Dependent Variable is Truncated Normal", *Econometrica*. Vol 41: 997-1016.

Amemiya, T. (1996), Advanced Econometrics. Harvard University Press: 360-411.

Arrow, K. (1959), "Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention", The RAND Corporation.

Arrow, K. (1999), "Información técnica y estructura industrial en empresas, mercados y jerarquías: la perspectiva económica de los costos de transacción", Oxford: Carrol y Teece editores.

Benavente, J. M. (2002), "The Role of Research and Innovation in Promoting Productivity in Chile", Mimeo.

Chesher, A., and Irish, M. (1987), "Residual Analysis in the Grouped and Censored. Normal Linear Model", *Journal of Econometrics*, 34: 33-61.

Cohen, W. y Levin, R. (1989), "Empirical Studies of Innovation and Market Structure", in R.G. Schumalense and R. Willing (eds.), *Handbook of Industrial Organization*, Vol. II. Elsevier Science Publishers.

_____y Levinthal, D. (1989), "Innovation and Learning: The Two Faces of R & D", *Economic Journal*, 99.

_____, Nelson, R. y Walsh J. (2002), "Protecting Their Intellectual Assets: Appropriability Conditions and Why U.S. Manufacturing Industries Patent or Not", NBER *Working Paper*, 7552.

Crepon, B., Duguet, E. y Mairesse, J. (1998), "Research, Innovation, and Productivity: An Econometric Analysis at the Firm Level", Working Paper, 6696.

Daily C. M. y Dollinger M. J. (1992), "An empirical Examination of Ownership Structure in Family and Professional Managed Firms", *Family Business Review*, Vol. 5: 117-36.

DANE-DNP-Colciencias (2005), "Innovación y desarrollo tecnológico en la industria manufacturera: Colombia 2003-2004".

Dorfman R. y Steiner, P. (1954), "Optimal Advertising and Optimal Quality", *American Economic Review*, Vol. 44: 5.

Dossi, G. (1988), "Sources, Procedures and Microeconomic Effects of Innovation", *Journal of Economic Literature*. Vol. XXVI.

Drukker, D. M. (2002), "Bootstrapping a Conditional Moments Test for Normality After Tobit Estimation", *The Stata Journal*, 2 (2): 125-139.

Durán, X., Ibáñez, R., Salazar, M. y Vargas, M. (2000), "La innovación tecnológica en Colombia. Características por sector industrial y región geográfica", OCYT, Colciencias, Bogotá.

Echavarría, J. J. (1990), "Cambio técnico, inversión, y reestructuración industrial en Colombia", *Coyuntura Económica*, Vol. 2: 55-78.

_____, Arbeláez, M. A y Rosales, M. F. (2006), "La Productividad y sus Determinantes: el Caso de la Industria Colombiana", *Borradores de Economía*, 374.

Eurostat (2004), "Innovation in Europe, http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page?pageid=0; 1136250; 045572555&...

Fair, R. C. (1977), "A Note on the Computation of the Tobit Estimator", *Econometrica*, 45: 1723-1727.

Fellner, W. (1951), "The Infuence of Market Structure on Technological Progress", The Quarterly Journal of Economics, Vol. 65 (4): 556-577.

Freeman, C. (1994), "The Economics of Technical Change", *Cambridge Journal of Economics*, Vol. 18 (5).

Geroski, P. A. (1990), "Innovation, Technological Opportunity, and Market Structure", *Oxford Economic Papers*, 42.

Goldberg, A. S. (1983), "Abnormal Selection Bias", in S. Karlin, T. Amemiya, and L. A. Goodman, (eds.), *Studies in Econometrics, Time Series, and Multivariate Statistics*, New York: Academic Press: 67-84.

Gourieroux, C., Monfort, A., Renault, E., and Trognon, A. (1987), "Generalized Residuals", *Journal of Econometrics*, 34(1): 5-32.

Griliches, Z. (1986), "Productivity, I&D, and Basic Research at the Firm Level in the 1970s", *American Economic Review*, Marzo, vol. 76(l), l4l-l54.

Hall, R. (1988), "The Relation Between Price and Marginal Cost in the U.S Industry", *Journal of Political Economy*, 96.

Horowitz, J. L. (2001), "The Bootstrap. In the Handbook of Econometrics", Vol. 5. edited by James J. Heckman and Edward Leamer. Amsterdam: Elsevier.

Huang, H y Xu, C. (1999), "Financial Institutions, Financial Contagion, and Financial Crises", CID *Working Papers*, 21.

Katz, Jorge (2000), Reformas estructurales, productividad y conducta tecnológica en América Latina. CEPAL.

Koenker, R. (2005), *Quantile Regression*. Cambridge U. Press. Cap 6: 173-220.

Lall, S. (1992), "Technological Capabilities and Industrialisation", *World Development*, 20 (2): 165-186.

Liebenstain, (1969), "Organizational or Functional Equilibria, X-Efficiency and the Rate of Innovation", The quarterly Journal of Economics, Vol 83 (4): 600-623.

Maddala, G. S. (1991), *Limited-Dependent and Qualitative Variables*. in Econometrics. New York: Cambridge University Press; Capítulo 6: 149-194.

Mairesse, P., Mohen, J. M. Y Marcel., D. (2006), "Innovativity: A comparison Across Seven European Countries", *Scientiffic Series*, Centre Interuniversitaire de Recherche en Analyse des Organisations.

Manual de Oslo (2005), *The Measurement of Scientific and Technological Activities*. Tercera Edición. Mimeo.

Markham, J. W. (1965), "Market Structure, Business Conduct, and Innovation", *A. E. R. Papers and Proceedings*, 55: 323-32.

Newey, W. K. (1985), "Maximum Likelihood Specication Testing and Conditional Moment Test", *Econometrica*, Vol. 53: 1047-73.

Olsen, R. J. (1978), "Note on the Uniqueness of the Maximum Likelihood Estimator for the Tobit Model", *Econometrica*, 46: 1211-1215.

Pagan, A. y Vella, F. (1989), "Diagnostic Tests for Models Based on Individual Data: A Survey", *Journal of Applied Econometrics* 4(0): S29-S59.

Powell, J. L. (1984), "Least Absolute Deviations Estimation for the Censored Regression Model", *Journal of Econometrics* 25: 303-325.

Powell, J. L. (1986). "Censored Regression Quantiles", Journal of Econometrics, 32: 143-155.

Romo, D. y Hill de Titto, P. (2006), "Los determinantes de las actividades tecnológicas en México", Documentos de Trabajo en Ciencia y Tecnología, CIDECYT.

Rosemberg. N. (1976), On Technical Expectations, *Economic Journal*, Vol. 86: 343.

Rowley C. K. (1973), *Políticas antitrust y eficiencia económica*. MacMillan Vicens-Vives.

Sanguinetti, P. (2005), "Innovation and R&D Expenditures in Argentina: Evidence from a Firm Level Survey", Mimeo.

Schumpeter, J. A, (1911), *The Theory of Economic Development*, Oxford University Press, 1961.

_____(1942), *Capitalism, Socialism, and Democracy*, New Cork: Harper and Brothers (Harper Colophon ed. 1976).

_____(1947), "The Creative Response in Economic History", *Journal of Economic History*, Vol. 7: 149-159.

Scherer, F. M. y D. Ross (1990), *Industrial Market Structure and Economic Performance*, Houghton Mifflin, 3rd edition.

Skeels, C.L. y Vella, F. (1999), "A Monte Carlo Investigation of the Sampling Behaviour of Conditional Moment Tests in Tobit and Probit Models", *Journal of Econometrics*, 92: 275-294.

Stewart, F. (1972), "Choice of Techniques in Developing Countries", *Journal of Development Studies*, IX (1).

Tauchen, G. (1985), "Diagnostic Testing and Evaluation of Maximum Likelihood Models", *Journal of Econometrics*, 30: 415-43.

Teece, D. J. (1998), "Strategies for Making Knowledge Assets: the New Economy, Markets for Know-How and Intangible Assets", *California Management Review*. Vol. 40: 3.

U.S. Small Business Administration (1986), Office of Advocacy, Issue Alert, No. 8, julio.

Tobin, J. (1958), "Estimation of Relationships for Limited Dependent Variables", *Econometrica*, 26:24-36.

Von Hippel, E. (1986), *The Sources of Innovation*. Oxford University Press.

Con el fin de calcular el estimador de maxima verosimilitud de los parámetros desconocidos del modelo Tobit, es necesario disponer de la respectiva función de verosimilitud definida por:

$$L = \prod_{0} [1 - \Phi (X'_i \beta/\sigma)] \prod_{1} \sigma^{-1} \phi[(y_i - X'_i \beta)/\sigma] \qquad (A\text{-}1)$$

Donde Φ y ϕ corresponden a las funciones de distribución normal estándar y su respectiva densidad, $\prod_{0}$ indica la productoria sobre las *i* observaciones para las cuales $y_i^* \leq 0$ y $\prod_{1}$ el producto para aquellas *i* tales que $y_i^* > 0$[1]. Siguiendo a Maddala (1991), debido a la no linealidad de la función de verosimilitud definida en *(A-1)*, se requiere de un algoritmo numérico iterativo para calcular el estimador Tobit MLE de β y σ. Con tal fin se utiliza la reparametrización propuesta por Tobin (1958) del modelo descrito en *(2)* y *(3)*, la cual consiste en dividir ambos lados de las dos ecuaciones por σ y obtener así la nueva versión del modelo dada por:

$$hy_i = X'_i \alpha + \nu_i \qquad i = 1,2,\cdots,n \qquad (A\text{-}2)$$

$$\begin{aligned} hy_i &= hy_i^* \quad si \quad hy_i^* > 0 \\ hy_i &= 0 \quad si \quad hy_i^* \leq 0 \end{aligned} \qquad (A\text{-}3)$$

Donde, $h = 1/\sigma$, $\beta/\sigma = \alpha$ y $\nu_i = u_i/\sigma \sim iidN(0,\sigma^2)$ y la correspondiente función de verosimilitud queda definida de la siguiente forma:

$$Log\ L = \sum_{0} log[1 - \Phi (X'_i \alpha)] + n_1\ log\ h - \frac{1}{2} \sum_{1} (hy_i - X'_i \alpha)^2 \qquad (A\text{-}4)$$

Amemiya (1996) señala que la función definida en *(A-4)* cuenta con la propiedad de concavidad global[2] que se demuestra en el trabajo de Olsen (1978), la cual permite que los algoritmos numéricos recurrentemente utilizados en el proceso de maximización de dicha función de verosimilitud, tales como *Newton-Rapson* y *Scoring*, converjan siempre al máximo global de *log L*. Adicionalmente, cita el trabajo de Amemiya (1996), en donde se prueba que el estimador Tobit MLE $\hat{\theta} = (\hat{\beta}, \hat{\sigma}^2)$ obtenido bajo los supuestos establecidos en *(A-3)* es consistente y asintóticamente distribuido normal con matriz de varianzas y covarianzas dada por:

$$V(\theta) = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n} a_i X_i X'_i & \sum_{i=1}^{n} b_i X_i \\ \sum_{i=1}^{n} b_i X'_i & \sum_{i=1}^{n} c_i \end{bmatrix}^{-1} \qquad (A\text{-}5)$$

---

1 Así, las observaciones de *y* para las cuales $y_i^* \leq 0$ no afectan el valor de la función de verosimilitud.

2 Por el contrario, en el caso la versión original del modelo Tobit (sin transformar), Amemiya (1973) demuestra que la respectiva función de verosimilitud no es globalmente cóncava respecto a β y σ^2.

Donde:

$a_i = - \sigma^{-2} \{X'_i \alpha \phi_i - [\phi^2_i/(1 - \Phi_i)] - \Phi_i\}$

$b_i = (1/2)\ \sigma^{-3} \{(X'_i \alpha)^2\ \phi_i - [(X'_i \alpha)^2\ \phi^2/(1 - \Phi_i)]\}$

$c_i = -(1/4)\ \sigma^{-4} \{(X'_i \alpha)^3\ \phi_i + (X'_i \alpha)\ \phi_i - [X'_i \alpha)\ \phi^2/(1 - \Phi_i)] - 2\Phi_i\}$

Con Φ_i y ϕ_i funciones definidas $\Phi(X'_i \alpha)$ y $\phi(X'_i \alpha)$, respectivamente.

Propiedades del estimador bajo heteroscedasticidad y no normalidad

Teniendo en cuenta que el estimador Tobit MLE no es consistente si se incumple el supuesto de homoscedasticidad y de normalidad, en esta sección se presenta una breve descripción del diagnóstico sobre la presencia de estos dos problemas y se plantea una alternativa de estimación robusta a la presencia de éstos.

Como señala Amemiya (1996), al tener en cuenta que *(2)* y *(3)* sólo consideran la inclusión de los valores positivos de y_i se tiene la siguiente consecuencia: $X'_i \beta + u_i > 0$, es decir que $u_i > - X'_i \beta$ y, por lo tanto:

$$E[y_i \mid y_i > 0] = X'_i \beta + E[u_i \mid u_i > - X' \beta] \qquad (A\text{-}6)$$

Siendo el último término del lado derecho de *(A-6)* diferente de cero aún sin suponer normalidad de u_i en *(2)*, por lo cual el estimador OLS de los parámetros de *(2)* sería sesgado. Cuando se supone que u_i se distribuye normalmente, tal como en el modelo Tobit descrito en *(2)*, la ecuación *(A-3)* puede rescribirse como:

$$E[y_i \mid y_i > 0] = X'_i \beta + \sigma\lambda(X'_i \beta/\sigma) \qquad (A\text{-}7)$$

Donde $\lambda(X'_i \beta/\sigma) = \phi(X'_i \beta/\sigma)/\Phi(X'_i \beta/\sigma)$, en la explicación del estimador de 2 etapas de Heckman se rescribe *(A-7)* de la siguiente forma:

$$y_i = X'_i \beta + \sigma\lambda(X'_i \alpha) + \varepsilon_i \qquad (A\text{-}8)$$

Para *i* tal que $y_i > 0$ y $\alpha = \beta/\sigma$. Así, $\varepsilon_i = y_i - E[y_i \mid y_i > 0]$ por lo tanto:

$$E[\varepsilon_i] = 0 \qquad (A\text{-}9)$$

$$Var[\varepsilon_i] = \sigma^2 - \sigma^2\ X'\ \alpha\lambda(X'\ \beta/\sigma) - \sigma^2\lambda(X'\ \beta/\sigma)^2 \qquad (A\text{-}10)$$

La ecuación *(A-10)* indica que *(A-8)* constituye un modelo no lineal con heteroscedasticidad[3]. Adicionalmente si se incumple el supuesto de distribución normal de ε_i en *(2)*, la ecuación *(A-8)* ya no es válida, lo cual conduce a que los estimador es NLLS y Tobit MLE sean inconsistentes.

Amemiya (1996), indica que dicha inconsistencia es evidente al tener en cuenta los resultados encontrados por Hurd (1979), según los cuales en caso de heteroscedasticidad con normalidad y muestra truncada, el estimador de máxima verosimilitud de los parámetros del modelo Tobit resulta asintóticamente sesgado. Igualmente, basado en Goldberger (1983) se tiene dicho sesgo asintótico cuando los datos son generados a partir de distribuciones no normales, principalmente cuando son obtenidos de la distribución t de Student, Laplace y la Logística.

[33] Debido a que datos utilizados en este trabajo son de corte transversal, el modelo descrito por *(A-7)* y *(A-8)* no presenta problemas de autocorrelación. Sin embargo, a modo informativo y con base en Amemiya (1996), la ecuación *(A-8)* permite ver que cuando hay algún problema de autocorrelación en la variable dependiente, éste no afecta la consistencia del estimador NLLS y por ende se esperaría que no afectara la del estimador Tobit MLE.