

Capital humano e innovación en el sector industrial en Colombia, 2007-2020

Brayan Sebastián Rueda Barajas y Jeison Jair Rodríguez Arguello

Director

Rafael Viana Barceló

PhD en Análisis Económico

Codirector

Juan Ricardo Perilla

PhD en Economía

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias Económicas

Escuela de Economía y Administración

Bucaramanga

2026

Tabla de contenido

Introducción	11
1. El problema de investigación.....	13
1.1. Planteamiento del problema.....	15
1.2. Pregunta de investigación	16
1.3. Objetivos de la investigación.....	17
1.3.1. Objetivo general.....	17
1.3.2. Objetivos específicos	17
1.4. Justificación de la investigación	17
1.5. Delimitación de la investigación.....	18
2. Marco Referencial.....	19
2.1. Marco teórico	19
2.1.1. Base teórica innovación como motor de desarrollo.....	20
2.1.2. Base teórica recursos internos.....	21
2.1.3. Base teórica modelo y ecosistema de innovación.....	22
2.1.4. Capacidades dinámicas	25
2.2. Antecedentes de la investigación	26
3. Marco metodológico	31
3.1. Tipo de investigación	31
3.2. Alcance de la investigación.....	31
3.3. Fuentes de información y tratamiento de datos	32
3.4. Metodología estadística	35

4. Resultados.....	38
4.1 Estadísticas descriptivas.....	38
4.1.1. Innovación en productos	38
4.1.2. Innovación en Procesos.....	41
4.1.3. Inversión tecnológica	44
4.1.4. Capital humano	48
4.1.5 Actividades de Ciencia, Tecnología e innovación (ACTI)	54
4.1.6. Fuentes externas.....	56
4.2. Estimación de los modelos econométricos	58
4.2.1. Técnica estadística	58
4.2.2. Criterios de información y elección del modelo	59
4.2.3. Resultados de los modelos econométricos estimados.....	60
4.2.4. Efectos marginales y evaluación del modelo.....	68
5. Discusión de resultados.....	78
5.1. El aprovechamiento del recurso humano como facilitador del proceso innovador	78
5.2. El papel de la inversión tecnológica	79
5.3. Tamaño de empresa y acceso a recursos	80
5.4. Entorno y fuentes externas.....	81
5.5. Dinámica temporal y contexto macroeconómico	81
6. Conclusiones	82
7. Recomendaciones	83
Referencias bibliográficas.....	85
Apéndices.....	96

Lista de tablas

Tabla 1. Variables de interés en el estudio	33
Tabla 2. Proporción de empresas innovadoras en productos por periodo: valores absolutos y proporciones relativas	38
Tabla 3. Distribución de empresas innovadoras en productos, por sector de actividad económica (CIIU): valores absolutos y proporciones relativas	39
Tabla 4. Distribución de empresas innovadoras en procesos por periodo: valores absolutos y proporciones relativas	41
Tabla 5. Distribución de empresas innovadoras en procesos por sector de actividad económica (CIIU): valores absolutos y proporciones relativas	42
Tabla 6. Relación general entre el tipo de inversión y el desempeño innovador en productos y procesos.....	47
Tabla 7. Composición del capital humano por tamaño de empresa (%).....	48
Tabla 8. Criterios de información AIC y BIC innovación en productos y servicios	60
Tabla 9. Criterios de información AIC y BIC innovación en procesos	60
Tabla 10. Resultados del modelo para la variable dependiente Innovación en Productos.....	61
Tabla 11. Resultados del modelo para la variable dependiente Innovación en Procesos	65
Tabla 12. Efectos marginales promedio, variable Innovación en productos y servicios	69
Tabla 13. Efectos marginales promedio, variable Innovación en procesos	72
Tabla 14. Efecto marginal de cada nivel educativo sobre su predecesor (Innovación en Productos y servicios e Innovación en Procesos)	75

Tabla 15. Tasa de éxitos reales vs. predicción de los modelos (Innovación en Productos e Innovación en Procesos)	76
--	----

Lista de figuras

Figura 1. Elementos del “modelo en cadena” para las relaciones entre investigación, invención, innovación y producción.....	22
Figura 2. Ecosistema de innovación de Teece (2010).....	24
Figura 3. Proporción de empresas innovadoras en productos por tamaño de empresas.....	40
Figura 4. Proporción de empresas innovadoras en procesos según tamaño y división CIIU3	43
Figura 5. Distribución porcentual de la inversión tecnológica por sector económico.....	44
Figura 6. Distribución porcentual media de la inversión tecnológica por tamaño de empresa	45
Figura 7. Composición del capital humano por sector económico (CIIU 3).....	48
Figura 8. Evolución de la participación del capital humano por tamaño de empresa en el periodo 2007-2008 a 2019-2020	50
Figura 9. Evolución del capital humano en presencia de inversión I+D por tamaño de empresa (2007-2020).....	51
Figura 10. Evolución del capital humano y en presencia de inversión en Maquinaria y Equipo por tamaño de empresa (2007-2020).....	52
Figura 11. Evolución del capital humano en presencia de inversión en TIC por tamaño de empresa (2007-2020).....	53
Figura 12. Evolución del capital humano en presencia de participación en ACTI por tamaño de empresa (2007-2020)	54

Figura 13. Participación del capital humano en ACTI por tamaño de empresa y niveles de educación	55
Figura 14. Importancia de las fuentes externas de información según el tamaño de la empresa (Submuestra de empresas que innovaron)	56
Figura 15. Fuentes externas importantes al innovar, por tamaño de empresa.	57

Lista de apéndices

Apéndice A. Distribución de la muestra por sector industrial (CIIU 3) y periodo	96
Apéndice B. Transformación de variables relevantes	97
Apéndice C. Empresas innovadoras según tipo de inversión en innovación (I+D, maquinaria y equipo, y TIC), por división industrial.....	100
Apéndice D. Inflación de la varianza (VIF).....	106
Apéndice E. Conteo de empresas por sector industrial y tipo de inversión en innovación	107

Resumen

Título: Capital humano e innovación en el sector industrial en Colombia, 2007-2020*

Autor: Brayan Sebastián Rueda Barajas y Jeison Jair Rodríguez Arguello**

Palabras clave: Innovación de producto, innovación de proceso, capital humano, sector manufacturero, modelo Logit, Colombia.

Descripción:

La presente investigación analiza el efecto del capital humano en la innovación empresarial de productos (bienes y servicios nuevos y mejorados) y procesos, para el periodo de 2007 a 2020 mediante una base de datos a partir de la combinación independiente de cortes transversales usando la Encuesta de Desarrollo e innovación tecnológica (EDIT) del DANE obteniendo 42.656 observaciones, agrupadas en divisiones industriales de CIIU 3 a dos dígitos. Para determinar las relaciones entre variables se estimaron modelos de regresión logística estándar y modelos generalizados mixtos (GLMM). La innovación industrial es un fenómeno estructuralmente heterogéneo, débilmente influenciado por el entorno tecnológico y caracterizado por una alta concentración donde 5 divisiones CIIU aglutinan el 35% en productos y el 45% en procesos. Los resultados indican que los niveles más altos de formación presentan mayor participación en presencia de inversión tecnológica y han aumentado su participación durante el periodo. Además, profesionalizar la plantilla de trabajadores en una empresa con títulos de pregrado y posgrado tiene un efecto pequeño sobre la probabilidad de innovar en productos, y no significativo en procesos. El efecto del factor humano se percibe cuando al menos un trabajador ha realizado ACTI, aumentando la probabilidad de innovar en 5% en productos y en un 16.7% en procesos. Se identifica una pequeña diferencia positiva y significativa en los diferentes niveles de educación que participan en ACTI mediante un contraste de efectos marginales adyacentes, Asimismo, la inversión tecnológica y las fuentes externas exhiben un efecto positivo y significativo en ambas dimensiones.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ciencias Económicas. Escuela de Economía y Administración. Director Rafael Viana Barceló. Codirector Juan Ricardo Perilla.

Abstract

Title: Human Capital and Innovation in Colombia's Industrial Sector, 2007-2020*

Author: Brayan Sebastián Rueda Barajas y Jeison Jair Rodríguez Arguello**

Key Words: Human capital, business innovation, product innovation, process innovation, technological investment, manufacturing sector, Colombia.

Description:

This research analyzes the effect of human capital on business innovation in products (new and improved goods and services) and processes during the period from 2007 to 2020. A database was constructed by independently combining repeated cross-sectional data from the Technological Development and Innovation Survey (EDIT) conducted by the National Administrative Department of Statistics (DANE), resulting in 42,656 observations grouped into two-digit industrial divisions according to CIIU Revision 3. To determine the relationships between the variables, standard logistic regression models and generalized linear mixed models (GLMMs) were estimated. Industrial innovation is a structurally heterogeneous phenomenon, weakly influenced by the technological environment and characterized by a high degree of concentration, with five CIIU divisions accounting for 35% of product innovation and 45% of process innovation. The results indicate that higher levels of education have a greater presence in firms with technological investment and that their participation increased throughout the study period. Furthermore, increasing the educational qualifications of a firm's workforce through undergraduate and postgraduate degrees has a small effect on the probability of product innovation, while its effect on process innovation is not statistically significant. The effect of human capital becomes evident when at least one employee has participated in Science, Technology and Innovation Activities (ACTI), increasing the probability of innovating by 5% for products and 16.7% for processes. A small but positive and statistically significant difference was identified across the different educational levels participating in ACTI through a contrast of adjacent marginal effects. Likewise, technological investment and external sources have a positive and statistically significant effect on both dimensions of innovation.

* Bachelor Thesis.

** Facultad de Ciencias Económicas. Escuela de Economía y Administración. Director Rafael Viana Barceló. Codirector Juan Ricardo Perilla.

Introducción

En la actualidad, es común la división organizacional de las empresas en diferentes departamentos y áreas con tareas bien definidas y claras, pues la asignación de tareas y roles específicos permite optimizar el trabajo y por tanto la productividad empresarial (Smith, 1994). Por este motivo, tener en cuenta dicha división y los diferentes impactos que pueden ejercer algunos departamentos en la innovación resulta crucial para la toma de decisiones que favorezcan el desarrollo empresarial y sectorial en general.

En este sentido, resulta importante entender el impacto que ejercen recursos como el capital humano, la inversión en I+D, el gasto en TIC y la cooperación con fuentes externas en la capacidad innovadora de las empresas, pues el desarrollo y mejora de productos y procesos permite enfrentar con éxito los desafíos de mercados globalizados y altamente competitivos. De este modo, el capital humano juega un papel crucial en la capacidad de innovar dado que posibilita explotar los recursos de la empresa en la creación e introducción de productos y procesos totalmente nuevos e innovadores o existentes con mejoras significativas. Como lo menciona Hodara (1997) “El encuentro íntimo entre ingenieros, empresarios y las demandas del mercado acelera los procesos innovadores. No es el único determinante del éxito; tampoco lo garantiza. Pero crea, en cualquier caso, un clima adecuado para el progreso industrial” (p. 586).

En el caso colombiano, la innovación presenta retos particulares y pequeños avances. Según el Índice Mundial de Innovación de la Propiedad Intelectual (2011, 2013, 2024), el cual analiza el rendimiento del ecosistema de innovación¹ de 133 economías y se estudian las

¹ Un ecosistema de innovación se refiere al conjunto de actores, instituciones, políticas y relaciones que interactúan para fomentar y facilitar la creación, difusión y uso del conocimiento y la tecnología en un territorio determinado (OECD, 2015).

tendencias más recientes de la innovación en todo el mundo, Colombia ha presentado avances progresivos durante el periodo de estudio. En la clasificación global del índice, subió de la posición 90 en el 2010 a 61 en 2024, mientras que en la clasificación regional ascendió del puesto 7 al 4 en el mismo periodo, situándose por debajo de Brasil, Chile y México. Del mismo modo, el país ha mejorado su puntuación entre 20 y 30 puntos, en escala de 1 a 100, en los pilares que evalúan las condiciones en cuanto a instituciones, capital humano, infraestructura, sofisticación de los mercados, producción científica y producción creativa, aunque únicamente 7 puntos en sofisticación empresarial. Además, según datos del Banco Mundial, Colombia ha invertido anualmente en promedio el 0,3% del PIB en I+D en los últimos 10 años, una cifra algo similar a países como México (0.28%) y Chile (0.35%), y por debajo de Argentina (0.58%) y Brasil (1,2%), siendo este último el país de Latinoamérica con mayor inversión en dicha área. Estas cifras contrastan con la inversión promedio del 3% del PIB en los países desarrollados como EE. UU., Japón y China, lo cual refleja una brecha importante en la inversión en I+D.

En este contexto, la educación terciaria juega un papel importante en la acumulación de capital humano, innovación y aumentos en la productividad. Esto se debe a que en los programas de posgrado se ofrece formación especializada y actualizada, que se orienta al desarrollo de habilidades claves en tecnologías emergentes, como las que conforman la industria 4.0. Según Humanez Díaz et al. (2021).

Desde esta perspectiva, el objetivo central de la investigación es analizar el efecto de la educación terciaria² en la generación de innovación en productos y servicios (nuevos o mejorados) y en procesos. Para alcanzar este propósito, se hace uso de herramientas estadísticas que permiten

² Educación terciaria hace referencia a todos los títulos obtenidos a partir de la educación secundaria o títulos en estudios superiores: SENA, técnico, tecnología, especialización, maestría y doctorado.

determinar la existencia de relaciones causales entre las variables de estudio, ofreciendo así un panorama de las dinámicas sectoriales que permita desarrollar medidas que promuevan la innovación y competitividad sectorial.

Para lograr los objetivos planteados, se utilizan datos del DANE, específicamente la Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica (EDIT), con la cual construye un panel combinado de cortes transversales mediante la agrupación de los datos de empresas a partir de la división CIIU3 a dos dígitos a la cual pertenece para los periodos disponibles, logrando de esta manera trazabilidad de las divisiones industriales a lo largo del tiempo, así como la evaluación de las relaciones planteadas mediante técnicas estadísticas.

1. El problema de investigación

El sector industrial representa un pilar fundamental para la economía colombiana. Según datos del Banco Mundial, el valor agregado de la industria como porcentaje del PIB para el año 2024 fue del 23,1%, lo cual resalta su importancia en la estructura del aparato productivo. Además, este sector ha empleado, en promedio, al 11,03% de la población ocupada en periodo de 2015-2024³, consolidándose como el tercer sector que más genera empleo en el país, después del sector de Servicios; y Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca; los cuales han empleado al 64% y 16%, respectivamente. Y por encima de Construcción y Suministro de electricidad, gas, agua y gestión de desechos; los cuales emplearon al 7% y 2%⁴.

³ Cálculos propios a partir de datos del DANE, CUENTAS NACIONALES ANUALES 2024.

⁴ Engloba los sectores de Comercio y reparación de vehículos; Alojamiento y servicios de comida; Transporte y almacenamiento; Información y comunicaciones; Actividades financieras y de seguros; Actividades inmobiliarias; Actividades profesionales, científicas, técnicas y servicios administrativos; Administración pública y defensa, educación y atención de la salud humana; y Actividades artísticas, entretenimiento recreación y otras actividades de servicios

También se destaca la magnitud de la producción, es el tercer sector con mayor participación en la producción nacional, pues aportó en el mismo periodo el 12% del producto interno bruto, aunque con una participación inferior al sector Servicios con el 60% y Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca, Explotación de minas y canteras; y Construcción, pues estos participaron 6% en promedio cada uno. Además, según datos de la encuesta anual manufacturera 2023, las empresas industriales de producción a gran escala (establecimientos que generan un valor de producción superior a 164.572 millones de pesos) concentran el 74,3% de la producción bruta y el 67,9% del valor agregado del sector, en contraste con las micro, pequeñas y medianas empresas que representan en promedio el 91.3% del total de establecimientos, aportan el 25.6% de la producción bruta y el 32.1% del valor agregado del sector. Del mismo modo, estas desigualdades también se manifiestan en el ámbito regional, como lo señala un informe de la Asociación Nacional de Entidades Financieras (2024) “Bogotá, Antioquia y Valle del Cauca han concentrado históricamente cerca de la mitad de la producción económica nacional. Esto evidencia la gran heterogeneidad regional en la capacidad productiva de esos departamentos y de las demás regiones del país” (párr. 3).

Por otro lado, los resultados del Índice Departamental de Competitividad (IDC) 2023 evidencian las desigualdades en otras dimensiones. Este índice mide dimensiones como la eficiencia de los mercados, la calidad institucional, el capital humano y la infraestructura en una escala de 1 a 10, siendo Bogotá, D.C. (8,47), Antioquia (6,72), Atlántico (6,31), Risaralda (6,22), Valle del Cauca (6,22) y Santander (5,99) las regiones que lideran los resultados. En contraste, departamentos como Vaupés, Amazonas, Chocó, Putumayo, La Guajira, Caquetá, Arauca y Sucre, presentan un puntaje entre 2,85 y 4. Dicho fenómeno está asociado, entre otros factores, a la concentración en las capacidades de mano de obra calificada, producción e innovación en ciertas

ciudades. Así lo muestran Guerra, Zambrano y Zuleta (2023), quienes señalan que la cobertura y la competitividad muestran diferencias significativas entre regiones.

1.1. Planteamiento del problema

En el contexto global actual, caracterizado por libre competencia, apertura comercial y libre flujo de capitales de inversión; los países y empresas que se esfuerzan en innovar no solo logran mayores niveles de eficiencia en sus procesos y/o productos, sino que también desarrollan mayor capacidad de adaptación a los shocks económicos globales y ventajas competitivas sostenibles en el tiempo⁵, lo cual resulta clave para el desarrollo económico, puesto que permite a las empresas sobrevivir a entornos cambiantes, liderar sectores económicos y crear empleos de calidad. Por lo cual, innovar resulta necesario dado que posibilita el éxito empresarial, como lo menciona Teece (2007, p. 1346). “El éxito requiere la creación de nuevos productos y procesos y la implementación de nuevas formas organizacionales y modelos de negocio, impulsados por un género de gestión intensamente emprendedor que perfeccione constantemente la aptitud evolutiva y empresarial de la empresa”.

En este contexto, la educación terciaria juega un papel importante en la acumulación de capital humano, innovación y aumentos en la productividad. Según Humanez Díaz et al. (2021), los currículos de los programas de posgrado incorporan de forma más sólida contenidos relacionados con digitalización, automatización, análisis de datos e inteligencia artificial, todos ellos esenciales para modernizar los procesos industriales en Colombia. Además, las empresas

⁵ Según Barney et al. (1989), una ventaja competitiva sostenible es aquella que surge de la explotación de los recursos internos que son únicos y no replicables por otras firmas, los cuales la diferencian del resto y por tanto pueden ser explotadas para crear dicha ventaja (bienes raíces, patentes, marcas, reputación, personal y cultura corporativa.)

perciben a los egresados de posgrado como mejor preparados para enfrentar los desafíos tecnológicos actuales y futuros, lo que aumenta su empleabilidad y su impacto en la transformación productiva. Así lo argumenta el informe del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) titulado "Transformación digital en la educación superior: América Latina y el Caribe", este estudio abarca a casi 100 instituciones en 14 países y muestra como la educación superior juega un papel crucial en la capacitación de profesionales en áreas claves de tecnología, lo cual es beneficioso para las empresas al facilitar la adopción de nuevas tecnologías y mejorar sus procesos.

Para mejorar la situación, en donde se fomente un entorno más propicio para la innovación y el crecimiento económico, resultará esencial la colaboración entre el sector público, el privado y las universidades. Su articulación debe orientarse al desarrollo de capacidades y habilidades orientadas al aprendizaje, capacitación continua y creatividad, promoviendo el desarrollo de un ecosistema de innovación que facilite a la economía en general descubrir sus fortalezas, con el fin de explotar su potencial económico al mejorar la capacidad creativa, contribuyendo al progreso y elevando la competitividad nacional en el ámbito global.

1.2. Pregunta de investigación

En este marco, se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿cuál es el efecto del capital humano sobre la innovación empresarial en las divisiones industriales del sector manufacturero en Colombia?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar el efecto del capital humano en la innovación de productos (bienes y servicios nuevos o mejorados) y de procesos del sector industrial manufacturero de Colombia, detallado según las divisiones CIIU3 a dos dígitos, para el periodo 2007-2020.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar la evolución del capital humano diferenciado por educación primaria, secundaria y terciaria, en el sector industrial manufacturero, para identificar tendencias y patrones de crecimiento o disminución en la composición de la fuerza laboral calificada en el periodo estudiado.
- Analizar la dinámica de la innovación, buscando identificar posibles patrones de comportamiento o concentración sectorial de la actividad innovadora en el sector industrial manufacturero.
- Evaluar el impacto del gasto en áreas internas de inversión tecnológica (I+D, TIC, Maquinaria y Equipo).
- Identificar la existencia de diferentes patrones de innovación, concentración de capital humano e inversión por tamaño de empresa.

1.4. Justificación de la investigación

La intención de llevar a cabo la investigación se fundamenta en la necesidad de contribuir al conocimiento disponible sobre la dinámica de innovación y el papel del capital humano calificado en la producción de innovación en Colombia, pues diversas teorías plantean un impacto positivo del capital humano en la mejora en la productividad (Romer, 1986; Lucas, 1988).

Esta investigación pretende enriquecer el cuerpo de conocimiento en la investigación económica sectorial al proporcionar información actualizada sobre el papel del capital humano en la innovación, e identificar los factores clave como la inversión tecnológica o efectos temporales que hayan afectado estas relaciones, así como potenciales áreas de oportunidad para el fortalecimiento de la cultura innovadora en el sector.

Los resultados obtenidos a través de la realización de este documento aspiran a realizar un aporte significativo en el ámbito académico y socioeconómico, así como lograr ser de utilidad para la toma de decisiones del sector público y privado, aportando información actualizada para la elaboración de políticas y estrategias informadas que fomenten el crecimiento y desarrollo económico integral del país.

1.5. Delimitación de la investigación

Para lograr un estudio preciso y relevante, se han establecido algunas limitaciones clave. En primer lugar, en cuanto al aspecto temporal, la investigación abarcará el periodo 2007 a 2020. En dicho periodo se examinará la cultura innovadora de las divisiones que componen el sector industrial, considerando los cambios económicos y tecnológicos más significativos que podrían haber impactado al fenómeno estudiado durante este periodo.

Dentro de este contexto se tendrá presente la existencia de diferencias en la estructura productiva y el tamaño de las empresas que componen los grupos industriales. Según Schumpeter (1942, p. 149) “la empresa en gran escala o unidad de dominio económico tiene que ser aceptada como un mal necesario, inseparable del proceso económico... ha llegado a ser el motor más potente de este progreso y especialmente de la expansión a largo plazo de la producción total”. El tamaño de la empresa influye en la capacidad o tendencia a innovar, así como a perdurar en el mercado. La empresa grande, dado su lugar estratégico en el mercado, puede asumir el riesgo de incurrir en

gasto en investigación y desarrollo, capacitación de empleados, contratación de servicios de asistencia y consultoría, etc. Además, tiene mayor posibilidad en el cumplimiento de requisitos para exenciones de impuestos, líneas crédito públicas y privadas, programas de relacionados al Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, etc. Lo descrito anteriormente sustenta la intención de valorar estas diferencias entre grupos al momento de proponer y estimar alguna técnica o modelo estadístico.

2. Marco referencial

2.1. Marco teórico

La innovación se ha consolidado como un motor fundamental en el desarrollo económico contemporáneo. Los nuevos inventos, tecnologías y formas de organización introducidos en las diferentes etapas del proceso productivo influyen en la productividad y la creación de valor de las empresas. Diversas teorías económicas destacan la importancia del cambio técnico, así como de la generación, acumulación y aplicación del conocimiento como factor decisivo en la creación de nuevas tecnologías, procesos y productos innovadores, los cuales contribuyen a elevar la productividad y la competitividad de las economías. En este contexto, comprender el papel de la innovación resulta esencial para analizar el desarrollo industrial del país.

En este trabajo, se asumirá la definición de innovación según el manual de Oslo OECD/Eurostat (2018, p. 20). El cual define la innovación como: “un producto o proceso nuevo o mejorado (o una combinación de estos) que difiere significativamente de los productos o procesos anteriores de la unidad y que se ha puesto a disposición de los usuarios potenciales (producto) o se ha introducido en el uso por parte de la unidad (proceso)”

2.1.1. Base teórica innovación como motor de desarrollo

Respecto a la literatura económica sobre el papel de la innovación en el desarrollo económico, Schumpeter, J. (1934, 1942) reconoce el papel de la competencia capitalista como la fuerza que impulsa el desarrollo económico, y a la innovación como el medio por el cual se manifiesta. En su análisis, concibe el capitalismo como un proceso evolutivo, dinámico y transformador, cuyo motor de desarrollo consiste en la competencia, la cual se refleja en la evolución continua de las empresas en cuanto a la creación y transformación de procesos, productos y servicios, así como la incertidumbre persistente de perder el dominio de un mercado dada la naturaleza de lo que denominó “destrucción creativa”.

El concepto de la destrucción creativa se define como el proceso mediante el cual las nuevas innovaciones reemplazan estructuras económicas existentes. Estas innovaciones pueden surgir de diferentes formas, como nuevos productos, nuevos métodos de producción, nuevos mercados e incluso nuevas formas de organización empresarial. Schumpeter contempla el desarrollo como un proceso cíclico y dinámico, el cual requiere de una continua evolución de las empresas con el fin mantener o ampliar su posición en el mercado. Dado que el mercado se caracteriza por la incertidumbre y la competencia, ya que las innovaciones no solo crean valor, sino que también reemplazan productos, técnicas de producción y formas de organización ineficientes. En pocas palabras, es un proceso persistente de empresas que pierden su dominio o cuota de mercado y son reemplazadas por otras más eficientes; o empresas que transforman sus estructuras internas y modelos de negocio a fin de mantener su posición en el mercado. Este proceso resulta inevitable para el crecimiento sostenido del capitalismo.

Así mismo, Schumpeter (1934) identificó cinco tipos de innovación. La primera es un nuevo bien o servicio, el cual es la introducción de un nuevo producto o servicio en el mercado. El segundo es un nuevo método de producción, que son nuevas implementaciones en técnicas o

procesos para fabricar bienes o prestar servicios. El tercer tipo es la explotación de una nueva fuente de materias primas, que es la explotación de recursos o insumos de fuentes inexploradas. El cuarto, la apertura a un nuevo mercado, es la expansión a un nuevo segmento de clientes o a nuevos territorios geográficos. Y, por último, la reorganización de la industria, el cual se basa en cambios estructurales en la organización de las empresas. No obstante, para fines de este estudio, se destacan particularmente dos formas de innovación: De productos (nuevos o mejorados) y de procesos (nuevas o mejoradas técnicas de producción).

2.1.2. Base teórica recursos internos

En la visión de la firma basada en los recursos, Kor et al., (2016) realiza una revisión del trabajo sobre fuentes internas⁶ de la firma de Penrose (1959). En esta revisión se sintetizan las principales ideas de Penrose, enfatizando que las empresas son instituciones creadas por las personas que sirven a los propósitos de la sociedad, las cuales cuentan con una serie de recursos productivos, unos de naturaleza física y otros de naturaleza intangible y que el uso de dichos insumos determina su crecimiento. Argumenta que lo fundamental no es la propiedad en si lo que puede generar ventajas, sino la forma en que se utilizan estos recursos. Si los recursos son inadecuados o se infrautilizan, el crecimiento puede ser limitado, por lo que resulta fundamental un manejo empresarial basado en el aprendizaje y la consecución de objetivos, dirigidos a la explotación de estos activos estratégicos a una amplia gama de productos, servicios y actividades. Asimismo, la perspectiva de Mansfield (1968) subraya que el éxito de la innovación no solo depende del descubrimiento científico. El autor enfatiza que la transformación de una idea en una ventaja productiva es un proceso económico que depende de la dotación de recursos de la firma;

⁶ Se refiere a los activos, conocimientos y procesos desarrollados dentro de la empresa, los cuales sirven como motor de crecimiento y diferenciación sin depender exclusivamente de factores externos del mercado.

específicamente, la capacidad de financiar la transición y la habilidad organizacional para gestionar el conocimiento son los determinantes que permiten capitalizar los esfuerzos en investigación y desarrollo.

2.1.3. Base teórica modelo y ecosistema de innovación

En palabras de Kline y Rosenberg (2009), la innovación es compleja, incierta, algo desordenada y sujeta a cambios de diversidad. Además, es difícil de medir y exige una estrecha coordinación de conocimientos técnicos adecuados y un excelente criterio de mercado para satisfacer las limitaciones económicas, tecnológicas y de otro tipo, todo ello simultáneamente. El proceso de innovación debe considerarse como una serie de cambios en un sistema completo que abarca no solo el hardware, sino también el entorno de mercado, las instalaciones de producción, el conocimiento y los contextos sociales de la organización innovadora. Entendiéndose, por tanto, que la innovación puede surgir de dos maneras: desde una oportunidad de mercado percibida y una oportunidad técnica, estas oportunidades pueden surgir de manera implícita o mediante el estudio explícito del mercado o de mejora de procesos internos.

Los esfuerzos por entender el fenómeno de innovación resultan en el desarrollo de diferentes modelos que intentan explicar las complejas interacciones que suceden en diferentes niveles dentro de la empresa durante los procesos inventivos. Kline (1985) introduce el modelo de enlaces en cadena donde intenta representar la complejidad e incertidumbre que implica un proceso de innovación.

Figura 1

Elementos del “modelo en cadena” para las relaciones entre investigación, invención, innovación y producción



Nota. Tomado de "Innovation is not a linear process" (p. 37), por Kline, S. J. (1985). Innovation is not a linear process. Research Management, 28(4), 36–45.

Según el modelo, el origen de la innovación parte del grupo de conocimiento científico y técnico en el "hallazgo del mercado", es decir, con una evaluación de cómo mejorar o proporcionar un producto, sistema o proceso determinado que satisfaga una necesidad de mercado o procesos insatisfechos. Una vez detectada la oportunidad se procede al área de invención y diseño analítico. En esta fase interviene principalmente el factor humano pues según Kline (p.37, 1985) “El proceso de diseño es inherentemente inductivo y creativo: (i) comienza en la mente humana; (ii) utiliza una selección, crea nuevas piezas o elige un proceso entre ideas conocidas componentes y piezas disponibles; y (iii) alcanza una síntesis que satisface un conjunto de criterios (u objetivos) conocidos y actuales”. Además, la I+D suele ser complementaria al proceso de invención y diseño analítico en la medida que ayuda a identificar hechos y resolver problemas cuando el conocimiento existente resulta insuficiente.

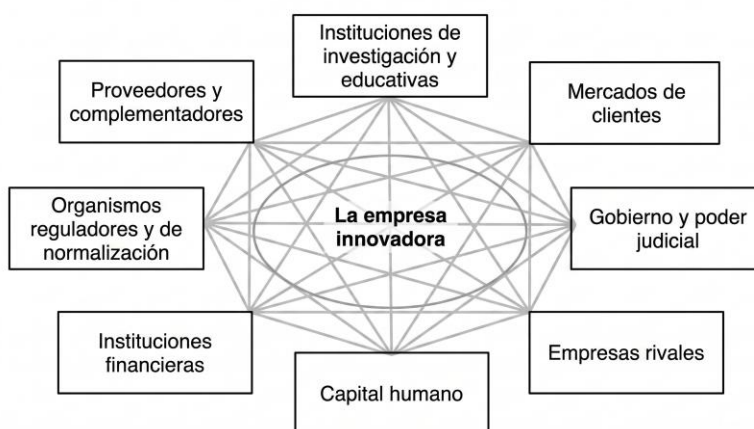
Una vez determinado un diseño de producto o proceso, a partir del esfuerzo del cuerpo de conocimiento disponible y que tenga en cuenta las necesidades de mercado o las oportunidades de

técnica, el éxito dependerá de un complejo proceso de interacción y retroalimentación, de las actividades heterogéneas e interdependientes, tales como: investigación y desarrollo, ingeniería, estudio de mercados y perfil de usuarios, planificación financiera, canales de distribución, características de los proveedores de equipos y materias primas, opiniones de los clientes, etc.

Como complemento y siguiendo a Teece (2010) “la capacidad innovadora de una empresa está condicionada por un ecosistema complejo donde convergen tanto fuentes internas como externas”. En este sentido, la innovación es un fenómeno sistémico que emerge de la interacción entre las empresas y su entorno.

Figura 2

Ecosistema de innovación de Teece (2010)



Nota. Tomado de "Technological Innovation and the Theory of the Firm" (p. 687), por D. J. Teece, 2010, en B. H. Hall y N. Rosenberg (Eds.), *Handbook of the Economics of Innovation* (Vol. 1). North-Holland.

Desde este marco de análisis, el éxito tecnológico de la firma innovadora también depende de la articulación del capital humano y agentes externos clave. Esta red de dependencias subraya que la empresa innovadora actúa como un nodo central que procesa información proveniente de mercados de clientes, instituciones de investigación, organismos reguladores e incluso de firmas rivales, para transformar ideas en bienes o procesos con valor agregado.

De esta manera, partiendo de las ideas de Klin (1985), la innovación se trata de una compleja interacción de factores que mantienen fuertes enlaces entre el conocimiento disponible (lo que se sabe), la capacidad de diseñar e inventar del factor humano (el cómo se aprovecha), la maquinaria, tecnología y el acceso a I+D cuando es necesario (lo que se tiene) y los consumidores en cuanto a necesidades de mercado e innovación productos y servicios; o los objetivos de mejora u optimización en innovación en procesos. Por lo tanto, Teece reconoce la importancia tanto de fuentes internas como externas respecto a factores que afecta/condicionan la innovación.

Entonces, se hace uso de este marco conceptual para reconocer que el fenómeno estudiado surge de la empresa y la identificación de oportunidades de mercado o técnicas, así como de un proceso complejo de interacción y disponibilidad en el uso de recursos internos, junto con el acceso a redes externas.

2.1.4. Capacidades dinámicas

Mientras que el enfoque de ecosistemas de innovación muestra como los factores internos y externos son necesarios para innovar, la teoría de las capacidades dinámicas responde a como las empresas enfrentan un entorno cambiante mediante la integración y construcción de sus competencias. Según Teece (2010), la innovación no es un recurso estático que las empresas poseen, sino una capacidad organizativa que depende de la orquestación estratégica de sus activos.

En este sentido, la gestión del capital humano adquiere un rol relevante. Teece sostiene que la sola presencia de personal altamente calificado no constituye una capacidad dinámica, esta surge cuando las competencias de estos trabajadores interactúan o se retroalimentan con combinaciones productivas. Bajo esta lógica, las capacidades dinámicas se manifiestan a través de tres funciones importantes que el capital humano debe ejecutar. En primer lugar, la detección, la cual se refiere a la capacidad que tiene una empresa para identificar y dar una forma a las oportunidades

tecnológicas, es decir, se debe escanear el entorno y analizar necesidades de los clientes. En segundo lugar, el aprovechamiento implica la utilización de recursos y un diseño de negocios que logre materializar las oportunidades previamente detectadas. Por último, la transformación consiste en la renovación continua de activos y estructuras de la empresa, esta función permite que la empresa no quede estancada, sino que se reconfigure y aprenda nuevas competencias a medida que el mercado vaya evolucionando.

2.2. Antecedentes de la investigación

Varios estudios han coincidido en que el conocimiento especializado y la inversión en I+D han sido factores claves para el desarrollo tecnológico y económico de un país. En este sentido Griffith, Redding y Van Reenen (2004) demostraron con ayuda de datos panel de industrias de 12 países de la OECD, para el periodo de 1974-1990, que el capital humano es determinante en la transformación del gasto en I+D en resultados tecnológicos concretos. Otro hallazgo es que la I+D no solo impulsa la innovación interna, sino que también fortalece la capacidad de absorción tecnológica, permitiendo a los países rezagados reducir la brecha con la frontera tecnológica mediante la adopción y adaptación de conocimientos desarrollados en el exterior.

En el mismo sentido Crépon et al. (1998) con datos de empresas manufactureras francesas, establece un marco analítico fundamental para comprender cómo la inversión en Investigación y Desarrollo (I+D) se traduce en mejoras tangibles de la productividad a través de la generación de innovaciones. En esta estructura, el efecto del tamaño de la empresa actúa como un determinante crítico en la etapa inicial de decisión, donde las firmas de mayor escala exhiben una propensión superior a participar, aunque no en mayor intensidad, en actividades de I+D debido a su capacidad para absorber costos fijos y gestionar el riesgo tecnológico. No obstante, la transformación de este esfuerzo financiero en resultados de innovación también depende de la configuración interna de

sus recursos; en este sentido, la composición de habilidades dentro de la firma —capturada a través de las proporciones (shares) de ingenieros y personal administrativo— es significativa y se correlaciona de manera positiva con mayor valor agregado e intensidad innovadora. Desde esta perspectiva, la innovación no es solo una función del gasto monetario, sino también de la intensidad de capital humano calificado que permite convertir los insumos de investigación en ventajas competitivas.

Un estudio más reciente es el de Proaño (2024), quien examinó la relación entre innovación y crecimiento económico, pero para países en vía de desarrollo basado en estudios de 2019 y 2023. Hace uso de una revisión sistemática basada en el método prisma, en donde se centra en ciertos criterios y realiza una selección de estudios cuantitativos y cualitativos. Al analizar dicha literatura, encuentra los siguientes hallazgos: La innovación es un factor clave para el crecimiento, en el cual existe una relación recíproca, donde la innovación fomenta el crecimiento económico y este a su vez, genera más recursos para invertir en I+D. Por lo tanto, para lograr crecimiento económico sostenible, se recomienda aumentar la inversión en I+D, así como fortalecer los marcos legales en cuanto a protección intelectual y mejorar la formación o vínculos dirigidos a fortalecer la adopción de tecnologías avanzadas por parte de las firmas.

Por otra parte, Laursen y Salter (2006) analizan el papel de la apertura externa en el desempeño innovador de las empresas del Reino Unido. Introducen dos conceptos: amplitud, que se refiere al número de fuentes externas que una empresa usa en su proceso de innovación, por ejemplo, clientes, proveedores universidades, centros de investigación, etc. Y el concepto de profundidad, el cual se refiere a la intensidad o grado de uso de cada una de estas fuentes externas. Los autores concluyen que a un mayor nivel de amplitud se suele asociar a una mayor generación de innovación, sin embargo, existe un punto de saturación, en donde si se llega a cierto nivel de

intensidad, se puede llegar a generar costos e incluso disminuir la efectividad del proceso de innovación.

En esta misma línea Díaz, Fajardo y Romero (2026), en su trabajo Determinantes de la innovación empresarial: una investigación empírica para la India, analizan los determinantes tanto internos como externos de la innovación empresarial de la India. Con datos de la Encuesta Empresarial del Banco Mundial para 4.132 empresas del año 2022 y mediante modelos de regresión logística se encontró que la innovación en productos es estimulada de manera positiva por las exportaciones, la investigación y desarrollo, la capacitación de empleados y el acceso a préstamos. Por otro lado, la innovación en procesos se ve impulsada por la propiedad privada, la investigación y desarrollo y el acceso a financiamiento.

En el caso de América Latina, el estudio realizado por Moreno y Ruiz (2010), tiene como objetivo analizar el impacto económico de las universidades de América Latina, analizando el papel de las instituciones y su contribución a la innovación tecnológica y a la formación de capital humano, hallan que el desarrollo económico de América Latina requiere de instituciones educativas fuertes que impulse la formación de investigadores para fomentar la innovación en ciencia y tecnología. Sin embargo, Latinoamérica cuenta con desafíos estructurales por superar, ya que existe cierta falta de infraestructura, recursos humanos y vínculos en el sector productivo. Así lo menciona el informe del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2013), en donde señala como en América Latina se tiene una baja inversión en I+D, una limitada infraestructura científica que resulta insuficiente y escasos vínculos entre universidades y empresas. Estos factores en conjunto generan dificultades en la formación de capital humano y la adopción o creación de tecnología para la región. Se necesita aún mucho trabajo para superar estas limitaciones, enfocarse

en la inversión a la educación, así como coordinar los esfuerzos políticos, gubernamentales y del sector privado.

Para el caso específico de Colombia, Molina (2022) realiza un artículo el cual tiene como propósito analizar el papel de la innovación y el emprendimiento en el crecimiento económico del país desde una perspectiva cualitativa. En este, hace una selección bibliográfica de informes públicos y artículos de investigación como fuentes primarias y como datos secundarios se apoya en información de trabajos existentes sobre el tema. Con esta recolección de información el autor concluye que el emprendimiento es un motor clave para el desarrollo económico y este debe ser promovido por el gobierno en el fortalecimiento en investigación e innovación. Por lo tanto, la inversión juega un papel crucial para que se pueda lograr mayores tasas de crecimiento económico. Aun así, Colombia es un país que tiene cierta dependencia de la explotación de recursos naturales y cuenta con una baja inversión en ciencia y tecnología, lo cual limita su capacidad de innovar y de posicionarse competitivamente a nivel global.

En similitud, Pinzón et al. (2024), en su trabajo “Género e innovación empresarial en Colombia”, analizan la relación entre el género de los directivos y la propiedad femenina de las empresas con la innovación empresarial en Colombia. Para esto hacen uso de una muestra de 993 empresas de sectores no agrícolas y mediante modelos de regresión logística evaluaron variables como el género del gerente, la experiencia del gerente, la capacitación de los empleados, el gasto en I+D y la participación en actividades exportadoras, etc. Concluyendo que las empresas que invierten en i+D y son dirigidas por mujeres duplican la probabilidad de innovar en productos, y para la innovación en procesos no se encontró una significancia estadística con el género del gerente.

El estudio de Villarreal et al. (2014), quienes analizan los determinantes de la innovación y su efecto sobre la productividad en la industria manufacturera colombiana, diferenciado por tamaño de la empresa. Para esto, hicieron uso de datos de la Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica (EDIT) y la Encuesta Anual Manufacturera (EAM) del DANE, sacando variables claves como el tamaño de la firma, la inversión en capital humano, los convenios con centros de investigación, la capacidad de financiamiento interno y la intensidad tecnológica del sector. Estimando un modelo CDM, mostraron los siguientes hallazgos: el esfuerzo innovador de las empresas tiende a favorecer a la innovación tanto en productos como en procesos, aunque con diferencias según el tamaño de la empresa. Sin embargo, únicamente la innovación en productos es la que genera un impacto positivo y significativo en la productividad, siendo más notorio cuando es vinculado con actividades I+D. Adicionalmente, las barreras financieras, la disponibilidad de recursos humanos calificados y la cooperación en la cadena productiva resultaron ser factores determinantes del comportamiento innovador de las empresas manufactureras colombianas.

En consonancia con esto, Pineda (2024) en un análisis de la innovación en el contexto colombiano. Con datos panel de empresas en dos periodos (2013-2014 y 2017-2018) y utilizando variables de control relacionadas con el entorno institucional y empresarial, demostró que la inversión en I+D y los resultados en innovación, medidos por certificaciones, patentes, métodos de producción y comercialización, tienen una relación positiva con la productividad de las empresas industriales de Colombia. Destaca la necesidad de complementar el análisis cuantitativo con estudios cualitativos, para lograr una mejor comprensión en la articulación de políticas industriales y de innovación.

3. Marco metodológico

Este capítulo describe la metodología empleada para analizar la relación del capital humano y la probabilidad de innovar. Se detalla el tipo y alcance de la investigación, la técnica estadística utilizada, así como las fuentes de información y el procesamiento de los datos, estableciendo así el marco metodológico que guiará el estudio para alcanzar los objetivos planteados.

3.1. Tipo de investigación

La investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo. Según Sampieri et al. (2014) este enfoque se caracteriza por examinar relaciones entre variables que son medidas numéricamente y analizadas utilizando una variedad de técnicas estadísticas con el fin de explorar fenómenos, describirlos, vincularlos y determinar la existencia de causalidad. Este tipo de investigación se enfoca en la medición objetiva y el análisis estadístico, matemático o numérico de los datos recopilados, basándose en un marco conceptual adecuado al problema analizado y en una serie de postulados que expresen, de manera deductiva, las relaciones entre las variables estudiadas. En este caso, se analiza la relación entre la innovación y la educación terciaria en el sector industrial en Colombia, mediante la recopilación y análisis de datos numéricos que permiten establecer patrones de comportamiento y comprobar hipótesis.

3.2. Alcance de la investigación

La investigación tiene un alcance de carácter explicativo, como señala Hernández et al. (2018), los estudios explicativos van más allá del establecimiento de relaciones entre conceptos, busca responder el porqué de las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. El interés principal se centra en explicar las razones por las cuales ocurre un fenómeno y en qué condiciones

se manifiesta, así como el por qué se relacionan dos o más variables. En este estudio no solo se busca describir la relación entre el capital humano y la innovación, sino que se pretende explicar el comportamiento de los individuos y fenómenos que se estudian, estableciendo las condiciones en que se manifiesta la relación entre estas variables.

Este enfoque explicativo permitirá profundizar en las razones por las cuales los recursos internos y externos pueden ser importantes en la innovación sectorial, proporcionando una comprensión más completa de los mecanismos que subyacen a esta relación. El enfoque cuantitativo y el alcance explicativo son particularmente apropiados para este estudio, ya que permitirán describir el fenómeno, determinar relaciones causales entre las variables y generar conocimientos que puedan ser útiles para el desarrollo de políticas y estrategias que fomenten mayor competitividad nacional.

3.3. Fuentes de información y tratamiento de datos

Basados en la información disponible de la Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica (EDIT) se construyó una base de datos a partir de la combinación independiente de cortes transversales de información de empresas pertenecientes al sector industrial para el periodo 2007 a 2020, obteniendo una muestra final de 42.656 observaciones con un rango de entre 5.185 y 6.809 registros en cada periodo (Apéndice A). La estructura de datos elegida resulta importante debido al aprovechamiento de datos disponibles y a la robustez que aporta, “Al combinar muestras aleatorias extraídas de la misma población, pero en distintos puntos del tiempo, se obtienen estimadores más precisos y estadísticos con mayor potencia de prueba” (Wooldridge, 2020, Capítulo 13, p. 444).

Los datos originales se presentan de forma bianual para cada periodo y las empresas no son las mismas en cada registro, además algunas variables cambian de nombre, por lo que se requirió

la homogenización (crear las variables de interés con un mismo nombre en cada periodo individual) para luego juntar todos los periodos, por lo que se tienen en total 7, que adicionalmente requirió un proceso de reclasificación de las divisiones industriales de CIIU4 a CIIU3 para los periodos 2015-2016, 2017-2018, y 2019-2020. Este procedimiento se llevó a cabo utilizando tablas oficiales de correspondencia entre ambas clasificaciones proporcionadas por el DANE, asignando cada división de CIIU 4 su sector equivalente en CIIU 3 (división 33 en CIIU4 es descartadas por falta de correspondencia directa en CIIU3).

Respecto a las variables de innovación y sus efectos u obstáculos, se presenta un registro por periodo (1 si innova y 0 en caso contrario), mientras que para las demás variables el dato está disponible para los dos años.

A continuación, se presentan las variables para tener en cuenta en el estudio y su resultado final.

Tabla 1

Variables de interés en el estudio

Variable	Tratamiento aplicado	Resultado
Innovación en bienes y servicios nuevos o mejorados	Creación de variable binaria, 1 si innova en BB o SS nuevos o mejorados en cualquier mercado, 0 en caso contrario.	Binaria
Innovación en procesos	Creación de variable binaria, 1 si innova en procesos, 0 en caso contrario.	Binaria
Inversión tecnológica (ID TIC y, Maquinaria y equipo)	Binaria, 1 si la inversión ha sido > 0, 0 en caso contrario. Valores deflactados, Base 2014.	Binarias Continuas
Capital humano (discriminado por nivel educativo)	Promedio en los dos años, agregación del personal por nivel educativo en categorías: - Doctores y Maestros (M&D) - Especialistas, Profesionales y Tecnólogos (E&P&T) - Técnicos y SENA (T&S) - Primaria, secundaria y otros (P&S&P) Se divide cada categoría en el personal total de la empresa, se eliminan valores = 1 y cola 5% superior.	Participaciones
Realización de ACTI	Creación de variable multinomial: - 0 para ningún trabajador ha participado en ACTI	Multinomial

Variable	Tratamiento aplicado	Resultado
	- 1 si al menos 1 trabajador con Primaria, Secundaria u otros ha participado en ACTI. - 2 si al menos 1 trabajador con Técnico o Sena ha participado en ACTI - 3 si al menos 1 trabajador Especialista, Profesional o Tecnólogo ha participado en ACTI. - 4 si al menos 1 trabajador con Maestría o Doctorado ha participado en ACTI	
Tamaño de empresa	Creación de variable categórica: - 0 para empresas pequeñas (0-49 empleados) - 1 para empresas medianas (50-250 empleados) - 2 para empresas grandes (> 250 empleados) Clasificación de la OECD (s.f.)	Multinomial
Intensidad tecnológica (iT)	Creación de variable categórica: - 0 para sectores de baja iT. - 1 para sectores de media baja iT - 2 para sectores de media alta iT	Multinomial
Importancia de fuentes externas al innovar	Recodificación de escala ordinal a variable binaria, 1 si fue importante, 0 en caso contrario o no registró respuesta.	Binaria

Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020).

Las transformaciones presentadas en la tabla anterior se realizan debido a la asimetría en la distribución de variables y presencia de valores atípicos en la mayoría de las variables. Para una descripción complementaria y detallada de la transformación de variables, ver Apéndice B.

Finalmente, teniendo en cuenta las posibles diferencias entre grupos en cuanto al tamaño empresarial, la clasificación se construye mediante el número total de trabajadores siguiendo la OECD. (s.f), la cual es el estándar en comparación a nivel internacional: empresas pequeñas (menos de 50 empleados), medianas (entre 50 y 250 empleados) y grandes (más de 250 empleados). Esto resulta importante dado que el comportamiento de los individuos analizados (divisiones industriales CIIU3 a dos dígitos) es representado a partir de empresas que pertenecen a su respectiva división CIIU3, por lo cual se considera necesario tener en cuenta las diferencias con el fin de lograr un análisis consistente y riguroso.

3.4. Metodología estadística

En primera instancia y partiendo de la estructura de los datos obtenidos, se emplea un Modelo Lineal Generalizado Mixto (GLMM) con efectos aleatorios en el intercepto, siguiendo los planteamientos de Wooldridge (2010) y Goldstein (2011). El GLMM permite modelar explícitamente la heterogeneidad no observada proveniente de la estructura jerárquica de los datos, donde las empresas (i) se encuentran anidadas en sectores industriales (j), logrando separar el porcentaje de la varianza que es explicada por los individuos (efecto fijo) y por la división industrial a la que pertenece (efecto aleatorio).

Al estudiar el caso en específico de las empresas que componen el sector industrial, las cuales constituyen la base de datos analizada, resulta evidente que las empresas operan dentro de diversos marcos contextuales. Estos contextos abarcan facetas tanto a nivel interno como externo, tales como distintos enfoques de producción de bienes (dirigidos a la producción de otros bienes o dirigidos a consumo particular), diferentes necesidades en la demanda de habilidades, diferencias en la estructura tecnológica de producción, etc. Al tener en cuenta estas diferencias se reconoce que la innovación puede comportarse diferente entre divisiones industriales, lo que implica que las empresas dentro de cada división pueden compartir características similares, pero ser muy diferentes entre sí (Fabricación de productos de papel y Fabricación de vehículos de transporte, por ejemplo).

La especificación formal de la probabilidad de innovación para la empresa i en la división j durante el periodo t para la estructura multinivel, se define como:

$$P(Y_{ijt} = 1 \mid X_{ijt}) = \Lambda(\beta_0 + X_{ijt}\beta + u_j)$$

Donde:

- Λ representa la distribución logística acumulada.

- β_0 es el intercepto (término constante).
- $X_{ijt}\beta$ representa los predictores lineales.
- $\beta_0 + u_j$ representan el intercepto para cada sector j .

Para evaluar la estructura multinivel se hace uso del LR Test (Likelihood-Ratio Test o Prueba de Razón de Verosimilitud) en este contexto es la prueba estadística utilizada para determinar si un modelo complejo (como el Logit Multinivel) es preferible sobre un modelo más sencillo, sigue las siguientes hipótesis:

Hipótesis Nula H_0 : no hay varianza entre los grupos y un modelo Logit estándar es suficiente.

Hipótesis alternativa H_1 : existe una estructura jerárquica significativa y el modelo multinivel es necesario para evitar sesgos en los errores estándar.

El estadístico para el LR-Test sigue una distribución χ^2 y se calcula de la siguiente manera:

$$LR = -2(LL_{restringido} - LL_{completo})$$

Donde:

- LL restringido: Es la log-verosimilitud del modelo Logit estándar (sin efectos aleatorios).
- LL completo: Es la log-verosimilitud del modelo Logit Multinivel

Los resultados de la estimación del modelo se presentan más adelante en la tabla 10. Además, la prueba de Razón de Verosimilitud – LR Test permite determinar la existencia de un efecto significativo en el nivel 2, es decir, si la división industrial ejerce un efecto sobre la probabilidad de innovar. Para cuantificar el efecto de la división industrial CIIU3 sobre la

probabilidad de que el evento sea positivo ($Y=1$), se calcula el Coeficiente de Correlación Intraclass (ICC) siguiendo la formula:

$$ICC = \frac{\sigma_j^2}{\sigma_j^2 + \frac{\pi^2}{3}}$$

Donde:

- σ_j^2 Representa la varianza de los efectos aleatorios
- $\frac{\pi^2}{3}$ representa la varianza asumida para el nivel individual bajo la regresión logística.

En segunda instancia, se propone la estimación un modelo logístico estándar teniendo en cuenta el tamaño de muestra empleado así como la simplicidad del modelo estándar.

Especificación del modelo logístico:

$$P(Y_{ijt} = 1 \mid X_{ijt}) = \Lambda(\beta_0 + X_{ijt}\beta)$$

Donde:

β_0 es el intercepto (término constante).

$X_{ijt}\beta$ representa los predictores lineales.

Λ representa la función logística

Dada la naturaleza del fenómeno estudiado, donde la ocurrencia de eventos de innovación presenta un desbalance respecto a las empresas no innovadoras, se emplea el Puntaje F1 (F1-Score) como el indicador principal de robustez.

El Puntaje F1 se define como la media armónica entre la precisión y la sensibilidad. A diferencia de la media aritmética, la media armónica es extremadamente sensible a los valores bajos, lo que obliga al modelo a mantener un equilibrio real entre ambas dimensiones para obtener un puntaje alto.

La expresión matemática para calcular el puntaje F1 es:

$$F1 = 2 \cdot \frac{\text{precision} \cdot \text{sensibilidad}}{\text{precision} + \text{sensibilidad}}$$

4. Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de técnicas estadísticas que permiten describir las variables de interés del estudio. Así mismo, se exponen los resultados de los modelos econométricos utilizados que serán de utilidad para alcanzar los objetivos propuestos de la investigación. En adelante, innovación en productos se refiere a innovación en nuevos o mejorados bienes y servicios (radical e incremental). La otra dimensión analizada se mantiene como innovación en procesos.

4.1 Estadísticas descriptivas

4.1.1. Innovación en productos

Tabla 2

Proporción de empresas innovadoras en productos por periodo: valores absolutos y proporciones relativas

Periodo	Empresas innovadoras	Empresas totales	Proporción innovadoras
2007-2008	783	5739	13,64
2009-2010	467	6485	7,20
2011-2012	571	6809	8,39
2013-2014	82	6710	1,22
2015-2016	103	5979	1,72

2017-2018	61	5749	1,06
2019-2020	39	5185	0,75
Total	2106	42656	4,94

Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020).

El análisis de la variable de innovación de productos evidencia una disminución a partir del periodo 2013-2014, tanto en la participación de empresas encuestadas, como en la actividad innovadora, pues cae significativamente en comparación al primer periodo 2007-2008, que registra la mayor prevalencia de casos positivos.

Tabla 3

Distribución de empresas innovadoras en productos, por sector de actividad económica (CIU): valores absolutos y proporciones relativas

Sector CIU 3	Empresas innovadoras	Total empresas	Proporción (%)	Sector por Intensidad tecnológica
15	376	7892	4,76	Baja
17	86	1743	4,93	Baja
18	95	4715	2,01	Baja
19	46	1846	2,49	Baja
20	27	937	2,88	Baja
21	49	834	5,88	Baja
22	99	2814	3,52	Baja
23	3	184	1,63	Baja-media
24	386	4058	9,51	Media-alta
25	209	3779	5,53	Baja-media
26	117	2138	5,47	Baja-media
27	23	766	3,00	Baja-media
28	158	3437	4,60	Baja-media
29	149	2576	5,78	Media-alta
31	91	1032	8,82	Media-alta
34	42	963	4,36	Media-alta
36	154	2942	5,23	Baja
Total	2110	42656	5%	

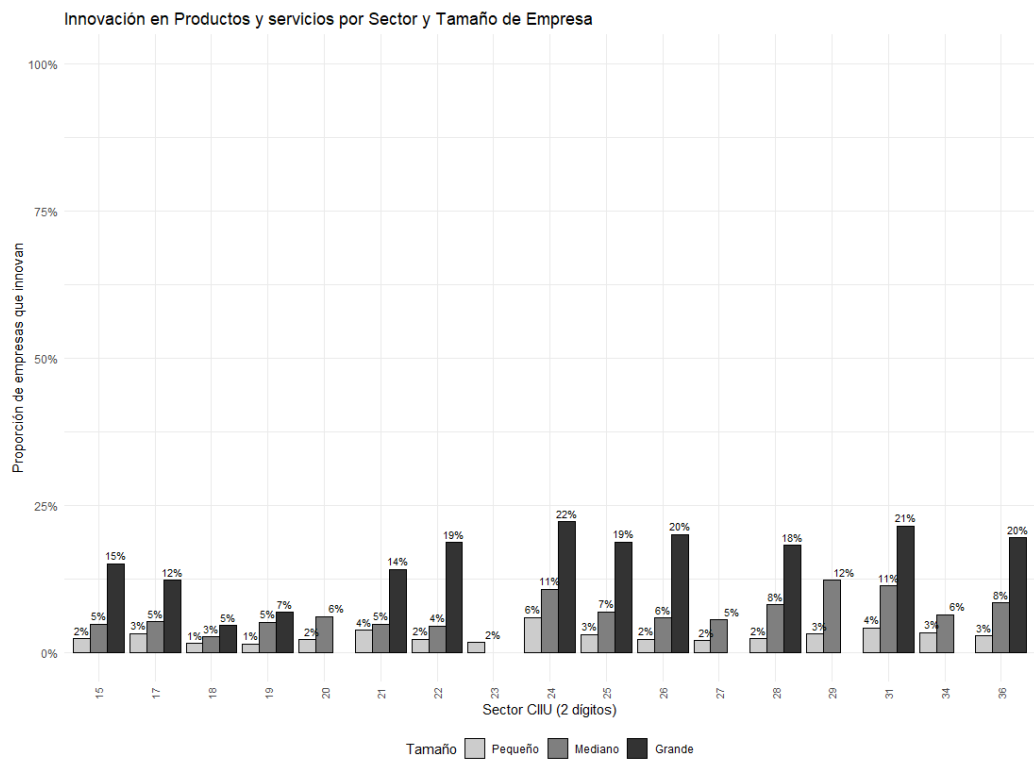
Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020)⁷.

⁷ La categorización por intensidad tecnológica se elaboró con base en la clasificación propuesta por Hatzichronoglou (1997), quien distingue cuatro grupos de industrias según su nivel de intensidad tecnológica medido por la ratio entre gasto en I+D y valor añadido, incluyendo la tecnología incorporada en bienes intermedios y de capital.

En la tabla 3 se presenta la proporción de empresas innovadoras bajo la clasificación de CIIU 3 a dos dígitos. Se puede observar que hay una marcada disparidad en la innovación de nuevos y mejorados bienes y servicios entre las distintas divisiones económicas, así como una baja proporción de empresas que innovan en general (5%). Se destaca el sector 24 “Fabricación de productos químicos, sustancias químicas y productos de fibra sintética”, el cual presenta el mayor número de empresas que innovan (n=386) junto, con la proporción a innovar más elevada (9,51%). De igual manera, el sector 31 “Fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos” cuenta con una proporción alta en innovación (8,82%). En contraste, se tiene sectores como el 23 “coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear” y 18 “fabricación de prendas de vestir; preparado y teñido de pieles” los cuales presentan una actividad innovadora más baja, siendo del 1,63% y 2,01% respectivamente. Esto refleja que la innovación en los sectores económicos no es un fenómeno homogéneo, sino que podría depender de la estructura productiva, la competencia y de las capacidades tecnológicas que se puedan requerir en cada industria.

Figura 3

Proporción de empresas innovadoras en productos por tamaño de empresas



Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020).

En la figura 3 se muestra una relación positiva entre el tamaño de la empresa y su actividad innovadora en esta dimensión. Se observa que a medida que aumenta la escala de tamaño de la empresa, estas reportan una mayor proporción de innovación, se observa que para las empresas pequeñas solo entre el 1% y 6% logra innovar, la cifra asciende en las empresas medianas, pasando a un 4% y 12% y en las empresas grandes alcanza un 5% y 21%.

4.1.2. Innovación en Procesos

Tabla 4

Distribución de empresas innovadoras en procesos por periodo: valores absolutos y proporciones relativas

Periodo	Empresas innovadoras	Empresas totales	Proporción innovadoras
2007-2008	1183	5739	20,61
2009-2010	1557	6485	24,01
2011-2012	918	6809	13,48
2013-2014	785	6710	11,70
2015-2016	790	5979	13,21
2017-2018	745	5749	12,96
2019-2020	655	5185	12,63
Total	6633	42656	15,55

Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020).

A excepción de los dos primeros periodos (2007-2008 y 2009-2010), donde se observa una alta tasa de innovación (20% y 24%), el resto de la serie presenta proporciones similares. Entre los periodos del 2013-2014 al 2019-2020, la proporción de empresas innovadoras en procesos se mantiene en un rango entre 11,8% y 13,5%. Al comparar con la dimensión en productos, se tiene que la proporción de empresas que innovan en procesos es de entre 3 y 12 veces la proporción en comparación con la otra.

Tabla 5

Distribución de empresas innovadoras en procesos por sector de actividad económica (CIU): valores absolutos y proporciones relativas

Sector CIU 3	Empresas innovadoras	Total, empresas	Proporción (%)	Sector por Intensidad tecnológica
15	1437	7892	18,21	Baja tecnología
17	287	1743	16,47	Baja tecnología
18	497	4715	10,54	Baja tecnología
19	222	1846	12,03	Baja tecnología
20	113	937	12,06	Baja tecnología
21	181	834	21,70	Baja tecnología
22	413	2814	14,68	Baja tecnología

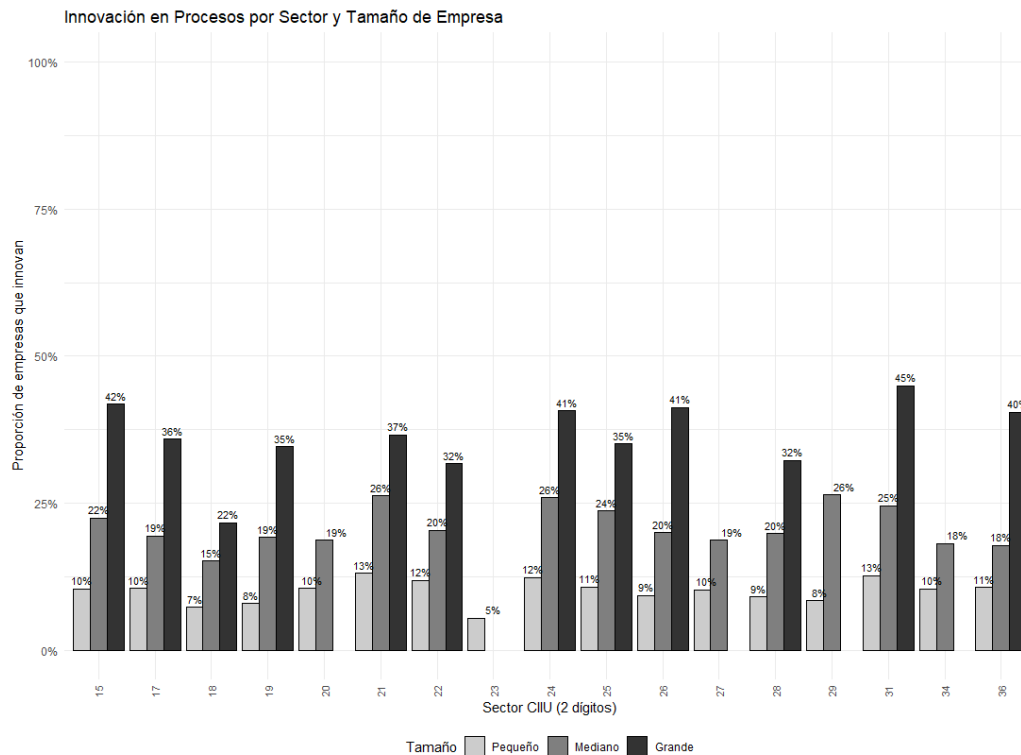
23	10	184	5,43	Baja-media
24	826	4028	20,51	Media-alta
25	629	3779	16,64	Baja-media
26	357	2138	16,70	Baja-media
27	97	766	12,66	Baja-media
28	447	3437	13,01	Baja-media
29	352	2576	13,66	Media-alta
31	216	1032	20,93	Media-alta
34	126	963	13,08	Media-alta
36	423	2942	14,38	Baja
Total	6633	42626	16%	

Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020).

En la tabla 5, al igual que en la 2, se muestra que la innovación en procesos no está distribuida de manera uniforme entre los sectores, se observan diferencias en las proporciones, así como una baja proporción de innovación en general (16%). Se destacan los sectores 31 “Fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos”, el sector 24 “Fabricación de sustancias y productos químicos” y el sector 21 “fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón” en donde muestran una proporción de innovadores cercana al 20%. Por otro lado, sectores como el 23 “Fabricación de coque, productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear” cuenta con una proporción de innovación más baja (5,43%).

Figura 4

Proporción de empresas innovadoras en procesos según tamaño y división CIIU3



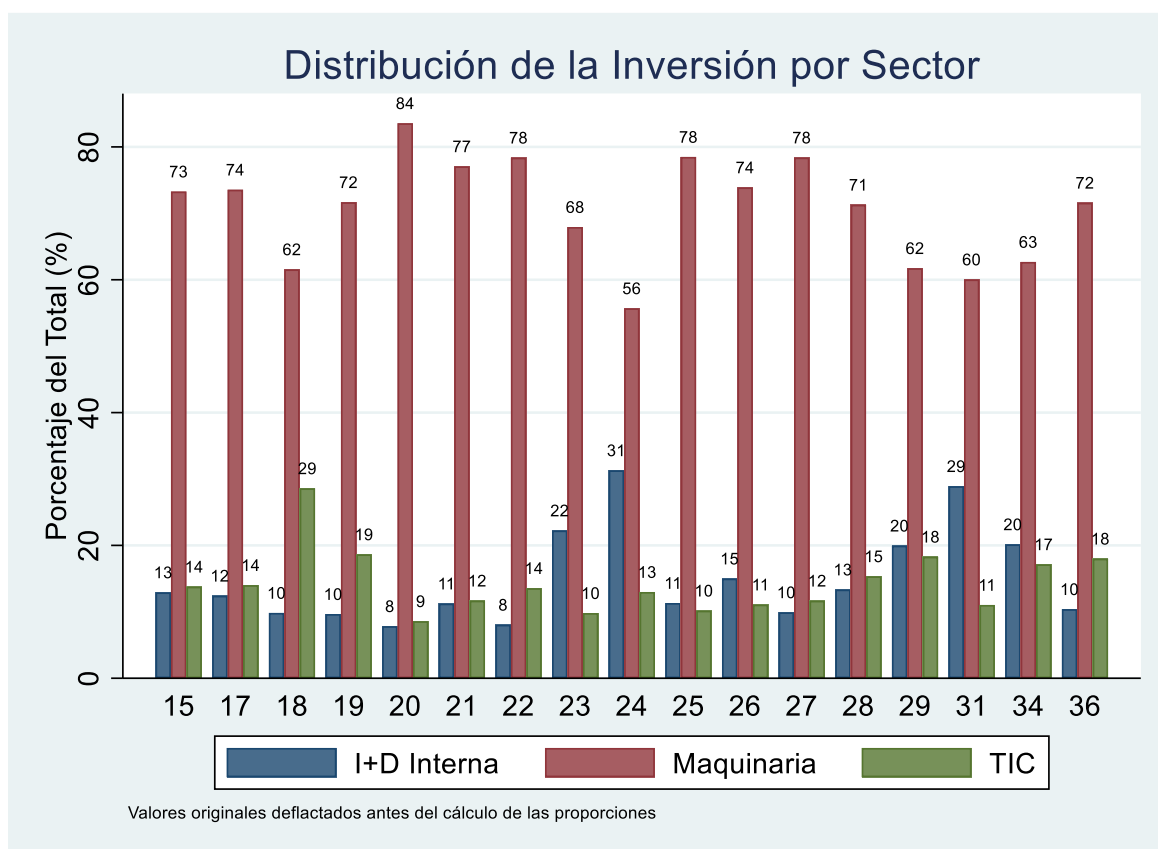
Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020).

En la figura 4 se evidencia una relación positiva entre el tamaño de la empresa y su propensión a innovar en procesos. Mientras que las empresas pequeñas muestran una proporción de innovación entre un 5% y 13%, en las empresas grandes esta cifra se triplica pasando a entre 32% y 45%. Este comportamiento sugiere posibles diferencias en la cultura empresarial o la existencia de barreras estructurales para las empresas de menor tamaño, en donde la escasez de activos financieros y de capacidades técnicas especializadas, podría limitar la probabilidad de innovar en procesos.

4.1.3. Inversión tecnológica

Figura 5

Distribución porcentual de la inversión tecnológica por sector económico

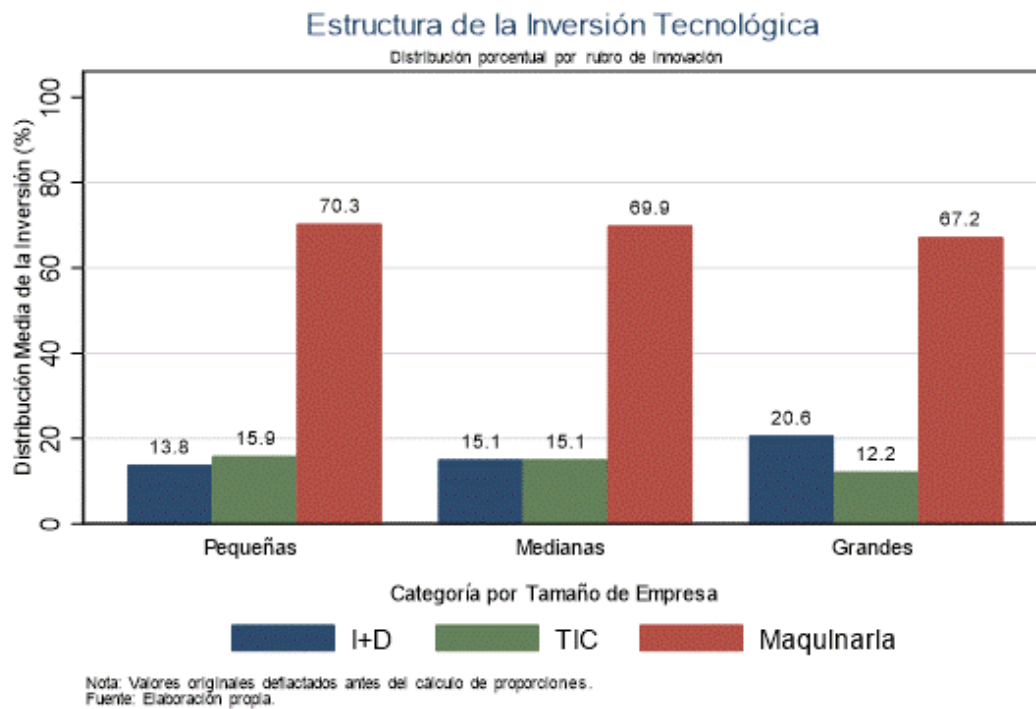


Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020).

En la figura 5 se puede observar que la adquisición de activos físicos (Maquinaria y equipos) domina la inversión. Los sectores 24 “Fabricación de sustancias y productos químicos” y 31 “fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos” presentan los porcentajes más altos en I+D, mientras que la división 18 “fabricación de prendas de vestir; preparado y teñido de pieles” muestra una mayor apuesta por la digitalización (TIC) en comparación con los demás sectores.

Figura 6

Distribución porcentual media de la inversión tecnológica por tamaño de empresa



Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020).

En la figura 6 se presenta la distribución porcentual media de la inversión tecnológica, desglosada en investigación y desarrollo (I+D), tecnologías de la información y comunicación (TIC) y maquinaria y equipo. Esta representación permite observar la importancia relativa que cada rubro representa dentro del presupuesto de las empresas en cuanto al tamaño, independientemente de la capacidad financiera total.

Se observa que la inversión en maquinaria y equipo es la que predomina, consolidándose como la principal área de inversión independientemente del tamaño de empresa, puesto que la media de inversión está entre 67.2% y 70.3%. Esto sugiere que la industria mantiene una fuerte dependencia a la acumulación de capital físico como principal motor de su capacidad productiva. En cuanto a los rubros intangibles se observa diferencias según el tamaño de empresa, se tiene que para las empresas pequeñas y medianas la inversión en TIC es de 15,9% y 15,1% respectivamente, y en las empresas grandes hay una caída hasta el 12.2%. Para el caso de la inversión en I+D las

empresas grandes invierten una proporción mayor de su presupuesto (20,6%) en comparación a las pequeñas (13,8%) y medianas (15,1%). Esto podría indicar que las empresas grandes cuentan con una mayor especialización en la generación de conocimiento.

Tabla 6

Relación general entre el tipo de inversión y el desempeño innovador en productos y procesos

Inversión	Total, empresas	Innova en productos	Proporción (%)	Innova en procesos	Proporción (%)	Total de empresas que innovan
ID	4283	1171	27.34%	2364	55.19%	2817 (65.77%)
MAQ	9233	1726	18.69%	5807	62.89%	6432 (69.66%)
TIC	5468	1261	23.06%	3071	56.16%	3510 (64.19%)
No invierte	31698	155	0.49%	359	1.13%	465 (1.47%)
Total muestra	42656	2106	4.94%	6,633	15.55%	7520 (17.63%)

Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020)⁸.

En la tabla 6 se presenta la distribución de las empresas según su enfoque de inversión. Los datos reflejan una marcada correlación entre la inversión y los resultados de innovación. Se destaca que las empresas que invirtieron en I+D presentan una proporción de innovación en productos de 27.34% (73% de empresas que invierten en I+D no innovan), mientras que solo el 0.49% de las empresas que no realizaron ningún tipo de inversión realizan innovación en productos. Por otro lado, se observa que en presencia de inversión tecnológica un gran porcentaje de empresas innovan en procesos, en contraste las empresas que no invierten solo lograron un innovar un 1.13%. Esto refuerza la idea de que la inversión es un habilitador crítico. El análisis grafico desagregado por

⁸ La unidad de observación corresponde a la empresa (NIT) y no al establecimiento individual. Esto con el fin de capturar la estrategia de inversión y el desempeño innovador a nivel de la firma, consolidando la actividad de todas sus sedes productivas.

división industrial, refuerza la existencia de heterogeneidad sectorial en cuanto a inversión tecnológica y desempeño innovador, véanse las Figuras C1 a C6 del Apéndice C.

4.1.4. Capital humano

Tabla 7

Composición del capital humano por tamaño de empresa (%)

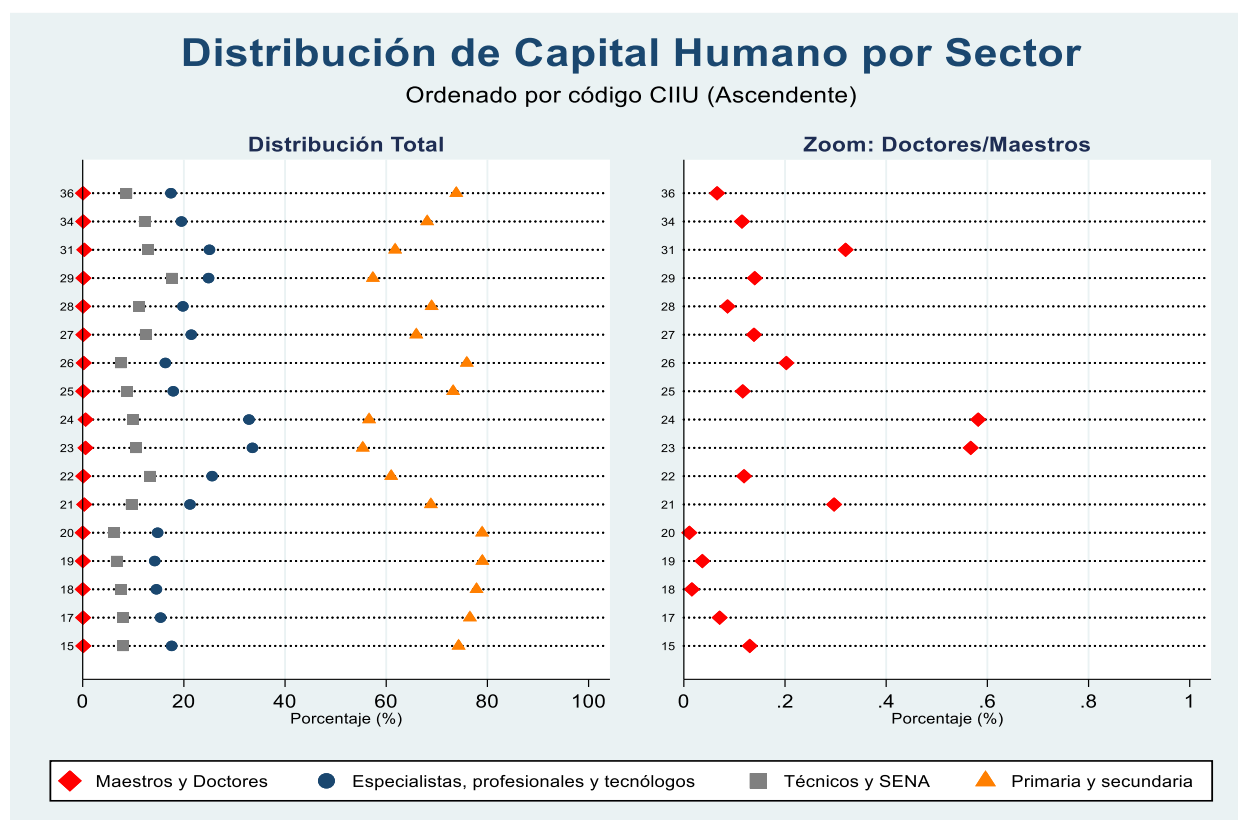
Tamaño	Maestros, Doctores (%)	Especialistas, Profesionales, Tecnólogos (%)	Técnicos, Sena (%)	Primaria, Secundaria (%)
Pequeñas	0.05	20.13	8.82	71.0
Medianas	0.25	18.61	10.53	70.60
Grandes	0.61	22.85	12.78	63.76
Total	0.16	19.95	9.64	70.25

Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020).

En la tabla 7 se presenta la composición del capital humano por tamaño de empresa, se observa que el personal con educación primaria y secundaria constituye la mayor proporción del capital humano en los tres grupos, aunque el porcentaje disminuye según el tamaño de la empresa. En contraste, el capital humano mejor calificado, maestros y doctores, tiene la menor participación, alcanzando en promedio solo el 0,16% del total. No obstante, se evidencia que la participación del personal con maestría y doctorados, especialistas, profesionales, tecnólogos y técnicos, SENA tiende a incrementarse a medida que aumenta el tamaño de la empresa. Estos resultados permiten apreciar que a medida que el tamaño de la empresa sea mayor tenderá a presentar una estructura de capital humano más especializada.

Figura 7

Composición del capital humano por sector económico (CIU 3)



Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020).

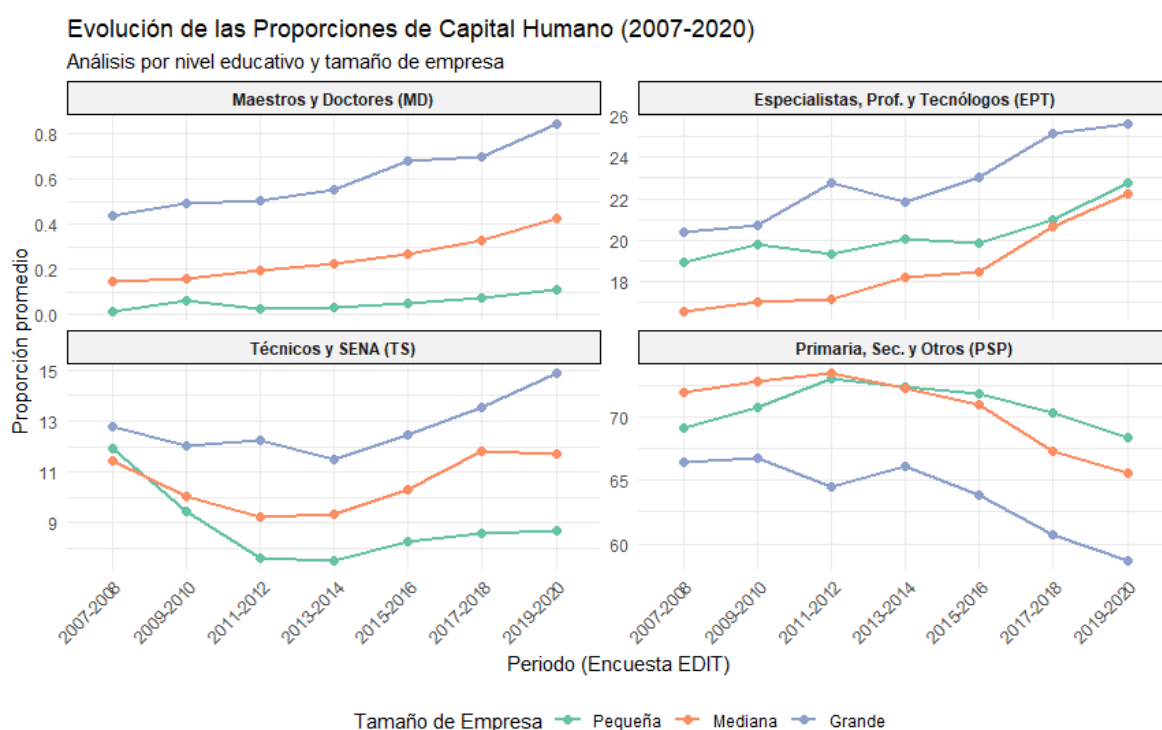
En la figura 7 se refleja las diferencias en la composición del personal ocupado según la división CIIU3. Se observa predominancia en los niveles educativos bajos en la totalidad de los sectores, el grupo de primaria/secundaria representa la mayor proporción del personal, siendo mayoritariamente por encima del 60% de participación., evidenciando una estructura productiva basada en alta concentración de mano de obra de nivel básicos de formación.

En cuanto al capital humano mejor calificado, la categoría de Doctores/Maestros presenta una participación marginal con niveles cercanos a 0% y 1% en todos los sectores, lo que señala una baja inserción de personal con estudios de posgrado de alto nivel en las actividades productivas de la muestra. En la categoría de Especialistas/pregrado/tecnólogo se observa una mayor participación con leve dispersión, las divisiones relacionadas con los petroquímicos, 23 y 24, alcanzan un porcentaje de participación cercanos al 35%, en comparación a otros sectores, la

participación es notablemente inferior, sugiriendo que diferencias en la composición y de demanda de capital humano calificado.

Figura 8

Evolución de la participación del capital humano por tamaño de empresa en el periodo 2007-2008 a 2019-2020



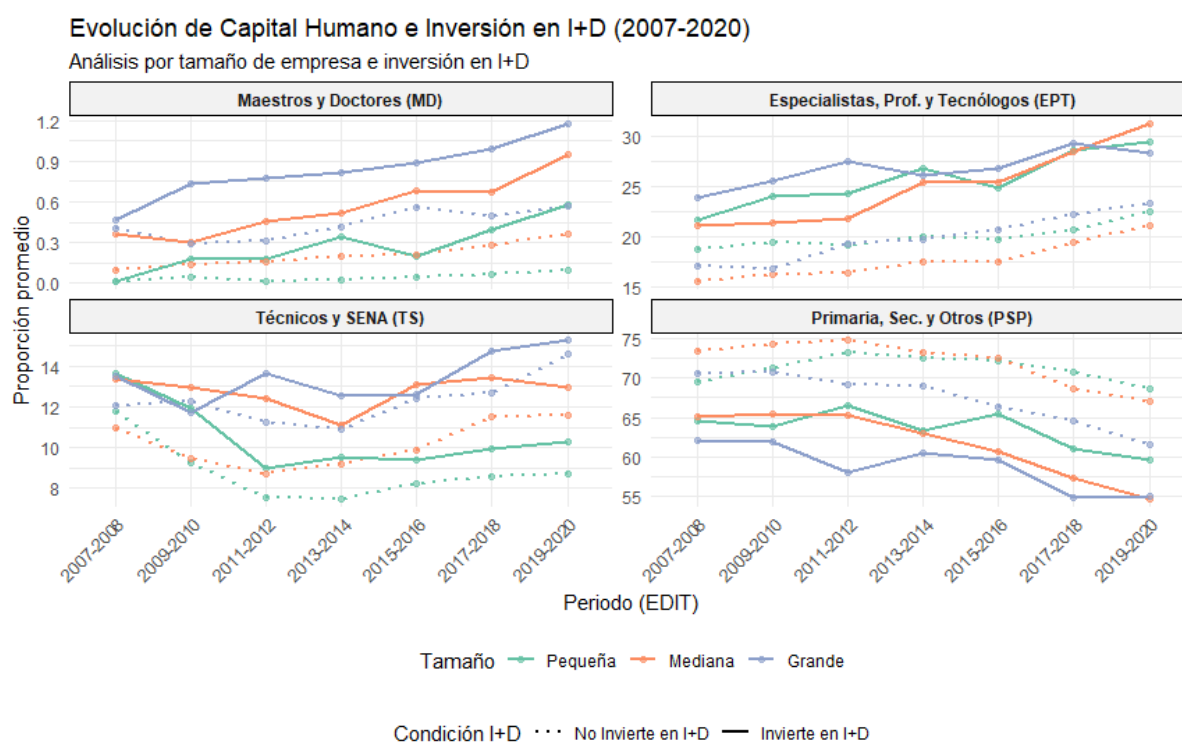
Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020).

En la figura 8 se presenta la evolución de las proporciones de capital humano según tamaño de la empresa. La información sugiere una tendencia a reemplazar mano de obra relacionada con tareas operativas o de producción por capital humano mejor calificado, siendo de doctores y maestros; y especialistas, profesionales y tecnólogos las participaciones que lideran el aumento en la plantilla de las empresas que componen la muestra, en detrimento de la mano de obra no calificada (primaria, secundaria y otros). En el caso de la categoría de técnicos y Sena, las empresas

grandes parecen haber aumentado dicha participación, mientras que las medianas y pequeñas presentan una caída al inicio con respectiva recuperación durante el periodo.

Figura 9

Evolución del capital humano en presencia de inversión I+D por tamaño de empresa (2007-2020)



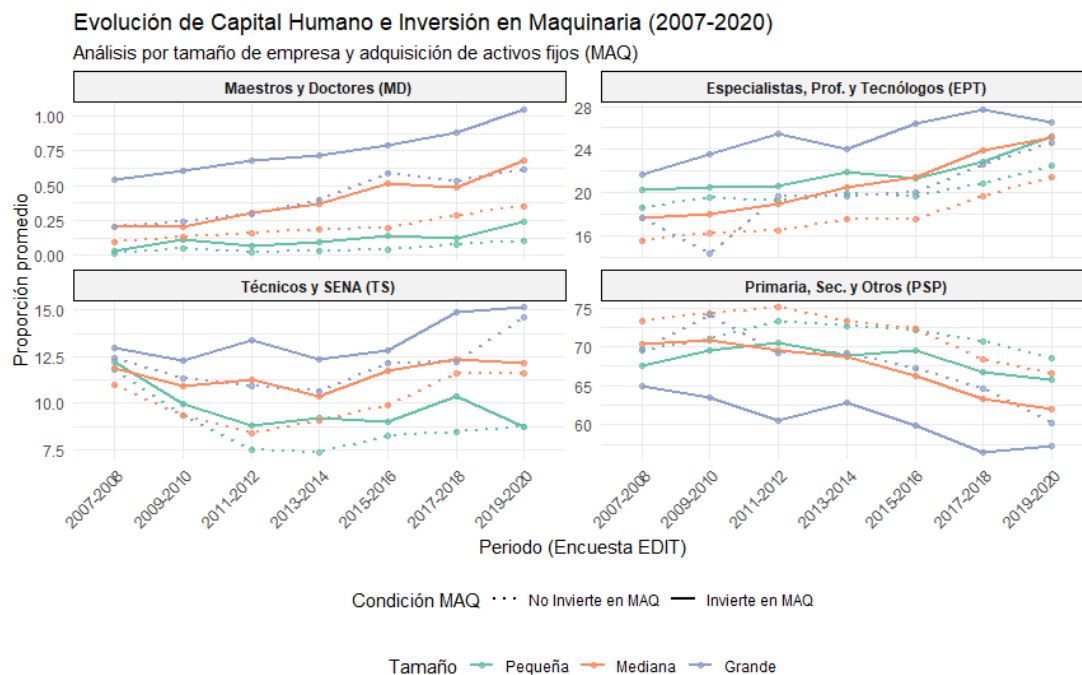
Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020).

En la figura 9 se presenta la evolución del capital humano en las empresas con presencia de inversión en I+D y por tamaño de la empresa. Se observa que el grupo de Maestros y Doctores cuenta con la menor proporción. En general se observa un crecimiento sostenido junto al grupo de Especialistas, Profesionales y Tecnólogos, también se destaca que las empresas que con presencia de inversión en I+D mantienen proporciones más altas de capital humano calificado, comportamiento que se ve más pronunciada en las empresas de mayor tamaño. Por otro lado, se

destaca la tendencia decreciente en la proporción de trabajadores de Primaria y Secundaria, en todos los tamaños de empresa e independientemente de si invierte o no en I+D.

Figura 10

Evolución del capital humano y en presencia de inversión en Maquinaria y Equipo por tamaño de empresa (2007-2020)

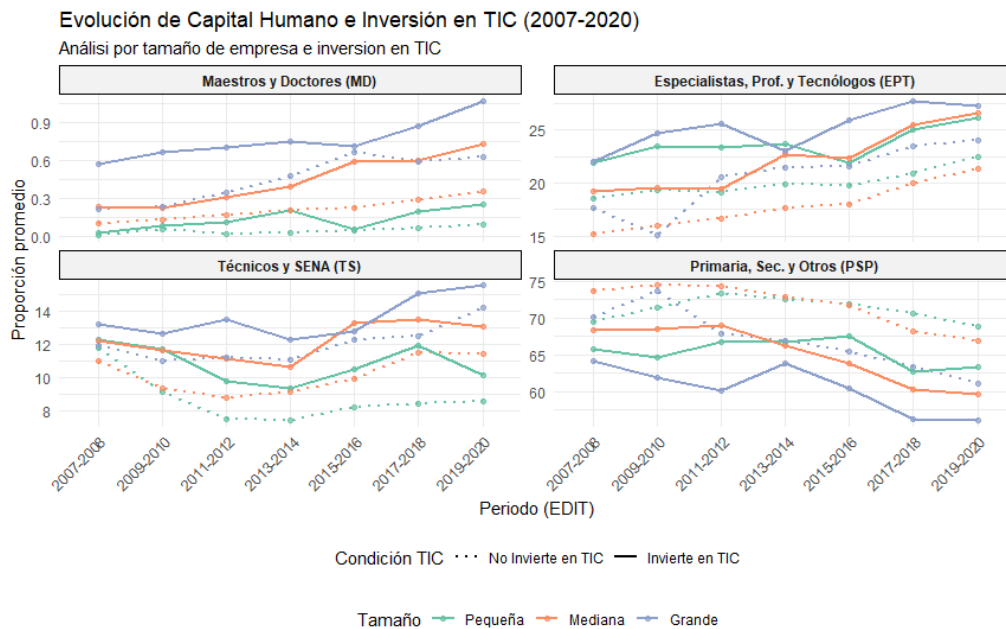


Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020).

En la figura 10 se presenta la evolución del capital humano e inversión en maquinaria y equipo y por tamaño de empresa. Refleja un comportamiento similar a la figura anterior de inversión en I+D. La inversión en maquinaria y equipo representa una tendencia positiva en la proporción de capital humano calificado. Y en cuanto a educación básica y otros (primaria y secundaria), se observa tendencia a disminuir a lo largo del periodo, en donde se destaca un mayor pronunciamiento en las empresas grandes y en las que invierten en maquinaria y equipo.

Figura 11

Evolución del capital humano en presencia de inversión en TIC por tamaño de empresa (2007-2020)



Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020).

En la figura 11 se presenta la evolución del capital humano e inversión en TIC y por tamaño de la empresa. En general, se observa que las empresas que invierten en TIC tienden a presentar una mayor proporción de trabajadores altamente calificados, con una tendencia más pronunciada en las empresas grandes. En contraste, la participación de trabajadores con menor nivel educativo tiende a disminuir en el tiempo, particularmente en las empresas que invierten en TIC. Por el lado de los técnicos y egresados del SENA, se muestran patrones más estables con unas diferencias menos marcadas entre grupos.

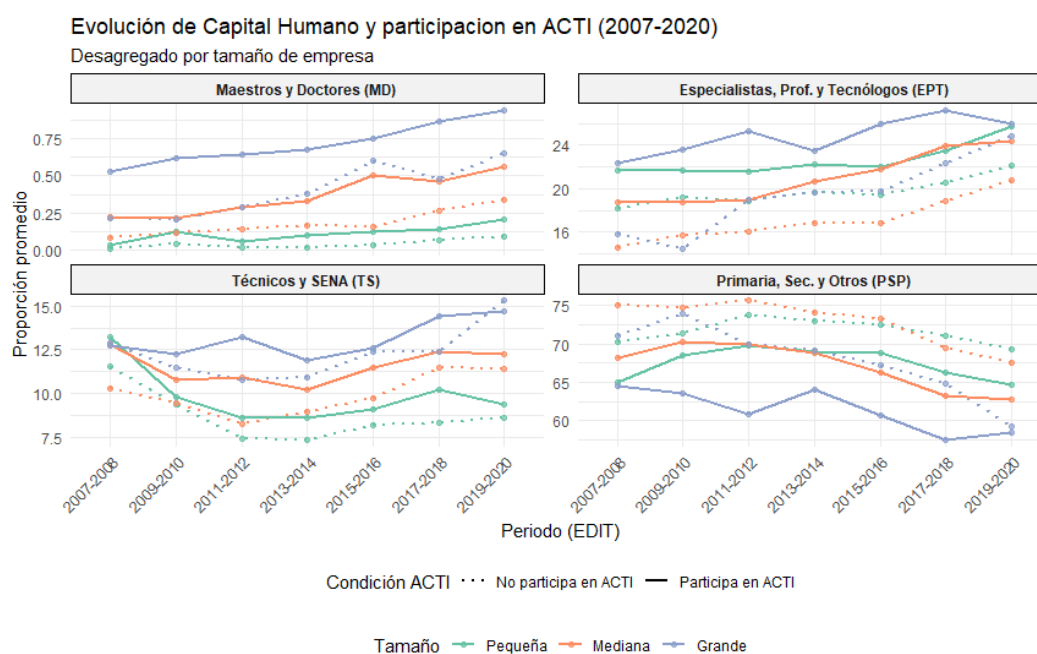
En conjunto, se observa que los tres componentes de inversión se asocian a una mayor demanda de capital humano calificado y se observa que es más pronunciado en las empresas de mayor tamaño.

4.1.5 Actividades de Ciencia, Tecnología e Innovación (ACTI)

Se aborda el análisis de las Actividades de Ciencia, Tecnología e Innovación (ACTI) en el sector manufacturero colombiano, poniendo especial énfasis en la configuración de su fuerza laboral, con el fin de ver la intensidad de capacitación de los trabajadores disponibles en las empresas.

Figura 12

Evolución del capital humano en presencia de participación en ACTI⁹ por tamaño de empresa (2007-2020)



Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020).

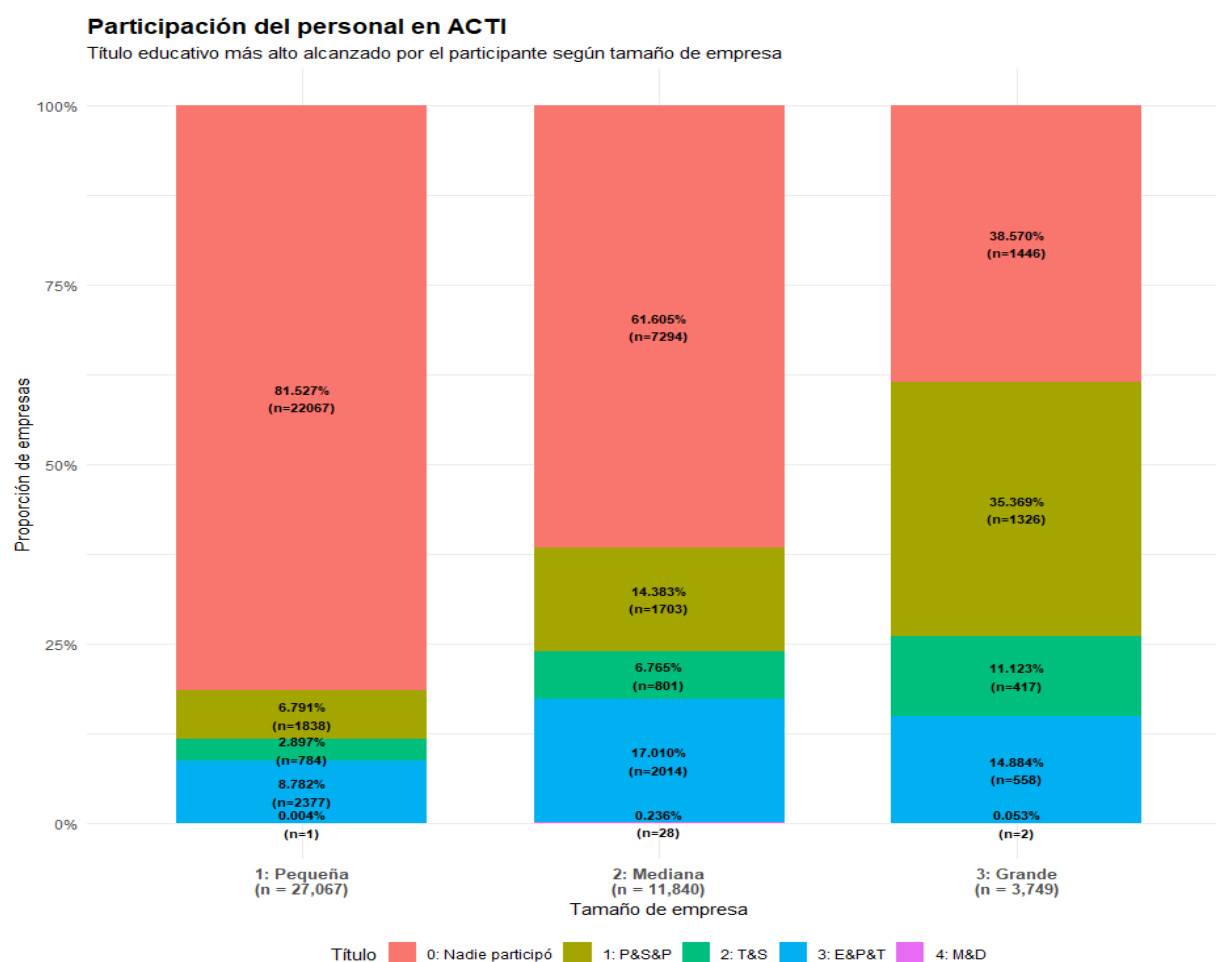
En la figura 12 se muestra la evolución del capital humano comparando la participación en ACTI según nivel educativo y tamaño de empresa. Se observa un aumento sostenido en la

⁹ Actividades de Ciencia, Tecnología e Innovación (ACTI): Comprenden las actividades sistemáticas que están estrechamente relacionadas con la producción, promoción, difusión y aplicación de los conocimientos científicos y técnicos en los campos de la ciencia, la tecnología y la innovación. (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2019, p. 1)

proporción de trabajadores con mayor nivel educativo, especialmente en las categorías de maestros y doctores, y especialistas, profesionales y tecnólogos. Por otro lado, la proporción de trabajadores con menor nivel educativo (Primaria, secundaria y otros) muestra una disminución progresiva, por su parte, el grupo de técnicos y SENA presenta fluctuaciones a lo largo del tiempo, pero con una leve recuperación en los últimos años. Por último, se destaca una relación positiva entre la participación en ACTI y la acumulación de capital humano más calificado.

Figura 13

Participación del capital humano en ACTI por tamaño de empresa y niveles de educación



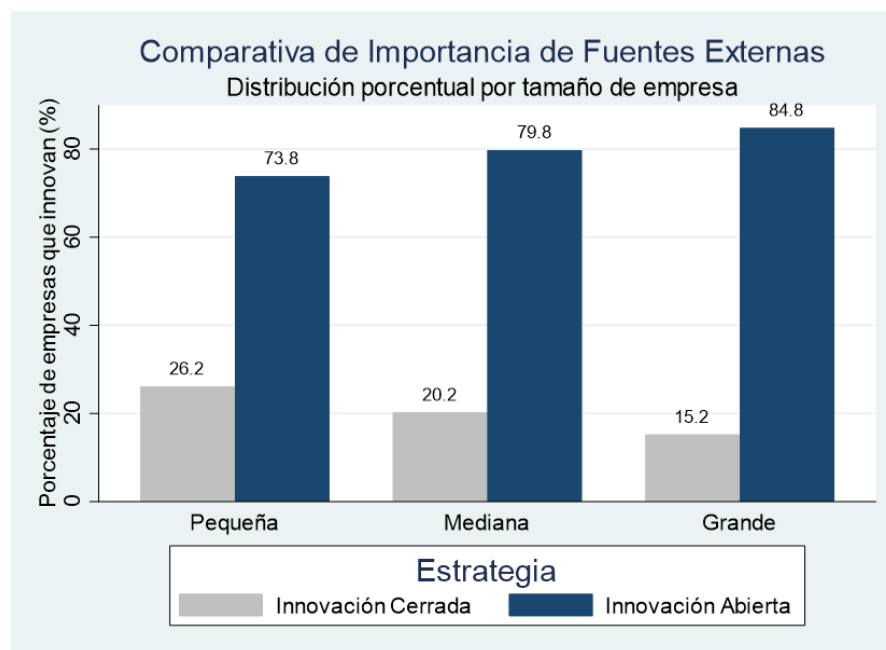
Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020). n=tamaño del grupo.

En la figura 13 se presenta la distribución de la participación del capital humano en ACTI, según el tamaño de empresa y título más alto alcanzado por el participante. Se observa que en el 81,5% y el 61,6% de empresas pequeñas y medianas, nadie de la plantilla participa, es decir, apenas el 20% y 40% del total de empresas en estos dos grupos participa en ACTI, mientras que en el grupo de empresas grande poco más del 60% participa. En cuanto a los grupos que si participan, E&P&T presenta el porcentaje más alto en los tres grupos de tamaño, seguido de P&S&P y T&S. M&D es apenas existente con un tamaño de muestra muy pequeño, lo cual indicaría baja representatividad. La grafica sugiere que el tamaño de empresarial esta positivamente relacionado con una mayor incorporación de capital humano en ACTI.

4.1.6. Fuentes externas

Figura 14

Importancia de las fuentes externas de información según el tamaño de la empresa (Submuestra de empresas que innovaron)

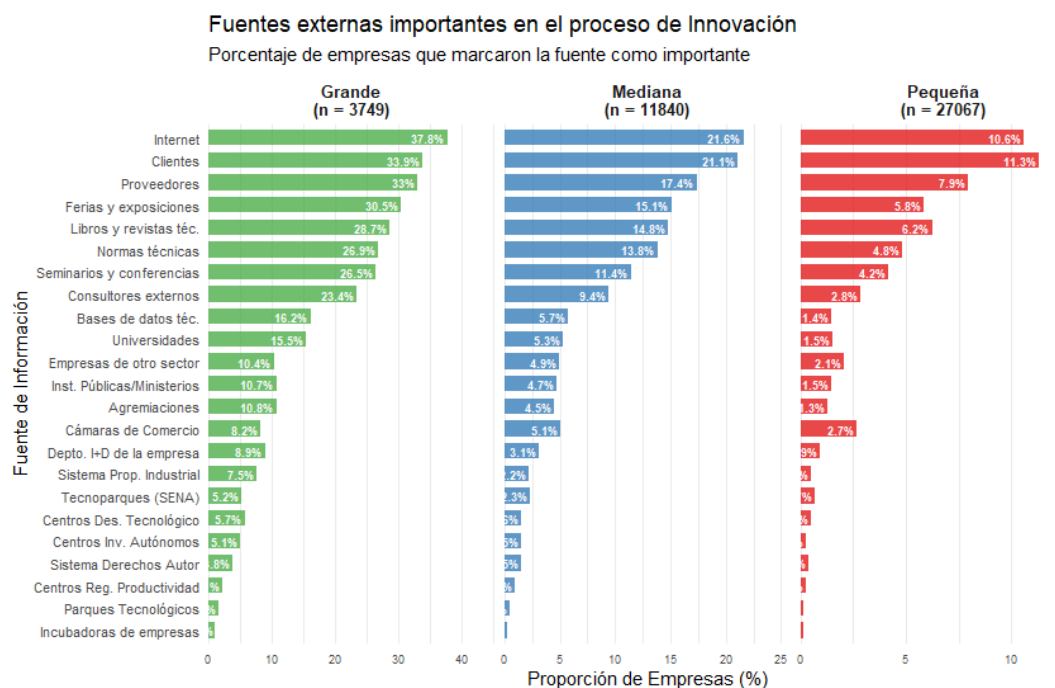


Nota: Elaboración propia a partir de datos de la EDIT (2007-2020).

En la figura 14 se muestra la importancia que las empresas innovadoras en productos y procesos les otorgan a las fuentes externas. Para este caso la "Innovación Abierta" identifica a las firmas que califican como "importante" el flujo de información proveniente de fuentes externas. Estas abarcan actores de mercado (clientes, proveedores y competidores), instituciones de conocimiento (universidades y centros de investigación) y fuentes de infraestructura técnica como bancos de patentes o normas técnicas. Por el contrario, la "Innovación Cerrada" define a las empresas que no asignan importancia a estos agentes externos, fundamentando su proceso innovador exclusivamente en capacidades internas. En general se logra observar que la mayoría de las empresas innovadoras independientemente del tamaño marcaron que el uso de fuentes externas fue relevante al momento de innovar. Así mismo, se presenta mayor innovación abierta, a medida que va aumentando el tamaño de la empresa, pasando de un 73.8% para las pequeñas a un 84.8% en las grandes. Por otro lado, las empresas que afirman que las fuentes externas no son relevantes al momento de innovar (innovación cerrada), las cuales dependen en mayor medida de sus capacidades internas o una posible limitación en sus redes de cooperación, muestran que a medida que aumenta el tamaño de la empresa, tiende a disminuir la innovación cerrada, pasando de un 26.2% para las empresas pequeñas a un 15.2% en las empresas grandes. Esto permite inferir una mejor red de cooperación por parte de las empresas medianas y grandes, en comparación con las pequeñas, lo cual les permitiría aprovechar mejor las ventajas o efectos que estas ejercen.

Figura 15

Fuentes externas importantes al innovar, por tamaño de empresa



Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020).

En la figura 15 se presenta las fuentes externas marcadas como importantes al momento de innovar. Internet, clientes y proveedores son las principales fuentes externas en los tres grupos presentados. En el caso de las empresas grandes, presentan mayores proporciones en todas las fuentes, en comparación con las medianas y pequeñas, lo cual confirma mayor interacción de estas empresas con su entorno externo.

4.2. Estimación de los modelos econométricos

4.2.1. Técnica estadística

Para analizar los determinantes de la innovación en el sector industrial se emplea el uso de modelos de elección discreta (logit). Dado que los datos presentan una estructura jerárquica en dos niveles—donde las empresas (nivel 1) se encuentran anidadas en divisiones industriales (nivel 2) a lo largo de varios periodos de tiempo (t)— la estimación se aborda de la siguiente manera:

Primero, se realiza la estimación de los modelos con los predictores presentados y descritos anteriormente el análisis inicia en los resultados de la estructura multinivel. Se evalúa el efecto de la división CIIU3 (proporción de la varianza que es explicada por la división industrial), encontrando un valor menor al 1% (0.0092 y 0.0032 en productos y en procesos, respectivamente) y en ambas dimensiones de innovación, evidenciando heterogeneidad no observada entre sectores estadísticamente significativa pero cercana a cero, sugiriendo el uso de un logit simple sobre la estructura multinivel.

Segundo, al agrupar los sectores industriales en cuanto a su nivel de intensidad tecnológica (baja=0, media baja=1, media alta=2), las cuales se asocian a una serie de características definidas en la taxonomía desarrollada por la OECD (2011) y se controla dicha característica en el modelo econométrico multinivel para ambas variables dependientes, el LR-Test vs. Logit simple rechaza la existencia de correlación intraclase, lo cual permite inferir que la heterogeneidad no observada que logra capturar y controlar dicho modelo se explica por las diferencias en las características referentes a intensidad tecnológica de cada división CIIU3, pues los coeficientes estimados de intensidad tecnológica son positivos y significativos al 1%.

En tercer lugar y una vez controlado el efecto multinivel, la evidencia sugiere el uso de un modelo logístico simple. La elección de este se refuerza al calcular los criterios de información AIC y BIC.

4.2.2. Criterios de información y elección del modelo

Para determinar la elección óptima del modelo, se compararon los criterios de información de Akaike (AIC), Akaike (1974) y Bayesiano (BIC), Schwarz (1978); entre una especificación Logit estándar y modelos de efectos mixtos (GLMM), priorizando aquel que presentara los valores más bajos en ambas pruebas. Como se observa en las tablas 8 y 9, el modelo Logit presenta los

valores más bajos en ambos criterios y en ambas dimensiones de innovación (excepto el GLMM sin controlar intensidad tecnológica en la dimensión de procesos), superando a las versiones multinivel. Siguiendo el principio de parsimonia, estos resultados confirman que el modelo Logit estándar es más adecuado para representar los determinantes de la innovación en la muestra, evitando una sobre parametrización innecesaria del fenómeno estudiado.

Tabla 8

Criterios de información AIC y BIC innovación en productos y servicios

Innovación en productos y servicios	AIC	BIC
GLMM	9716.541	9898.421
GLMM con iT	9703.267	9902.468
Logit	9701.268	9891.808

Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020).

Tabla 9

Criterios de información AIC y BIC innovación en procesos

Innovación en procesos	AIC	BIC
GLMM	17918.14	18100.02
GLMM con iT	17909.77	18100.31
Logit	17909.77	18100.31

Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020).

4.2.3. Resultados de los modelos econométricos estimados

Se presentan los resultados de los modelos de regresión logística estándar y multinivel, así como la interpretación de los coeficientes y diferentes estadísticos. Los coeficientes se presentan

en odds ratio, un valor mayor a 1 indica una relación positiva con la probabilidad de innovar, mientras que un valor menor a 1 indica una relación negativa (Long y Freese, 2001).

La prueba de Wald Chi-cuadrado es un estadístico utilizado para evaluar la significancia conjunta de los coeficientes del modelo, si este estadístico presenta un valor elevado y un p-valor bajo ($\text{Prob} > \chi^2 < 0.05$) indican que el modelo es significativo y que al menos un coeficiente es diferente de 0. En este caso, los modelos que evalúan la probabilidad de innovar en las dos dimensiones analizadas resultan significativos.

El Pseudo R cuadrado, disponible únicamente para el logit estándar, es una medida de bondad de ajuste que mide que tan bien se adapta un modelo a un conjunto de datos observados, valores altos (0.20-0.40) se asociarían con mejor predicción. Los valores obtenidos para los modelos estimados arrojaron valores de 0.42 y 0.51 para productos y servicios y procesos, respectivamente, lo cual indica una bondad de ajuste excelente. Los valores del área bajo la curva (AUC) de 0.9457 y 0.9446, evidencian una capacidad discriminatoria sobresaliente de los modelos propuestos. En caso de las pruebas LR-Test vs logistic model e ICC, estos se relacionan y evalúan la estructura multinivel como se abordó y explicó anteriormente.

Antes de la estimación se verificó la independencia de los regresores para asegurar que la varianza de los coeficientes de capital humano no estuviera inflada artificialmente. Dado que el Factor de Inflación de la Varianza (VIF) es una relación entre las variables independientes, se calculó mediante una regresión lineal proxy. Los resultados (ver Apéndice D) arrojaron un VIF promedio de 1.52. Al situarse todos los valores significativamente por debajo del umbral crítico de 5 (o 10), se descartan problemas de multicolinealidad.

Tabla 10

Resultados del modelo para la variable dependiente Innovación en Productos

Variable	GLMM	GLMM (iT)	Logit
Capital Humano			
Share M & D	1.085** (0.040)	1.074** (0.040)	1.074** (0.039)
Share E & P & T	1.010*** (0.002)	1.009*** (0.002)	1.009*** (0.002)
Share T & S	0.999 (0.002)	0.998 (0.002)	0.998 (0.002)
Participa en ACTI			
P&S&P	4.434*** (0.481)	4.441*** (0.481)	4.441*** (0.481)
T&S	5.305*** (0.619)	5.301*** (0.619)	5.302*** (0.619)
E&P&T	4.606*** 0.480	4.698*** 0.479	4.698*** 0.479
M&D	6.726*** (3.919)	6.845*** (4.001)	6.849*** (4.002)
Inversión Tecnológica			
Maquinaria	2.024*** (0.155)	2.036*** (0.156)	2.036*** (0.155)
I+D	2.636*** (0.165)	2.625*** (0.164)	2.625*** (0.164)
TIC	1.517*** (0.094)	1.519*** (0.094)	1.529*** (0.094)
Tamaño de empresa			
Mediana	1.293*** (0.078)	1.194*** (0.077)	1.194*** (0.077)
Grande	1.505*** (0.124)	1.533*** (0.126)	1.534*** (0.126)
Variables Control			
Fuentes Externas	3.336*** (0.268)	3.328*** (0.0.267)	3.328*** (0.267)
Intensidad tecnológica			
Media baja	-	1.281*** (0.089)	1.280*** (0.087)
Media alta	-	1.479*** (0.108)	1.478*** (0.103)
Tiempo			
2009-2010	0.376*** (0.027)	0.3474*** (0.027)	0.374*** (0.027)
2011-2012	0.720*** (0.052)	0.717** (0.052)	0.717** (0.052)

Variable	GLMM	GLMM (iT)	Logit
2013-2014	0.082*** (0.010)	0.081*** (0.010)	0.081*** (0.010)
2015-2016	0.092*** (0.010)	0.092*** (0.010)	0.092*** (0.010)
2017-2018	0.051*** (0.007)	0.051*** (0.007)	0.051*** (0.007)
2019-2020	0.030*** (0.005)	0.031*** (0.005)	0.031*** (0.005)
Intercepto	0.009 (0.001)	0.008 (0.000)	0.008 (0.000)
Wald Chi2 (P-valor)	3102.01 (0.000)	3524.46 (0.000)	7120.29 (0.000)
Pseudo R2	-	-	0.4244
LR test vs. logistic model	17.36 (p=0.000)	0.0013 (p=0.4858)	-
ICC	0.0092	.0000	-

Nota. Adaptado de la base de datos de EDIT (2007-2020) Observaciones = 46656 Significancia estadística: *** $p < 0.001$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$.

Se resalta la significancia estadística de los tres modelos presentados (p -valor < 0 en la prueba de Wald chi2)¹⁰ y de todas las variables a nivel individual incluidas y que explicarían la probabilidad de innovar en productos.

Los coeficientes que representan el efecto base o presencia del capital humano especializado, en el caso a doctores y maestros; así como a profesionales, especialistas y tecnólogos son significativos y odds-ratio mayor a 1. Es decir, aumentar en un 1% la participación de “M&D” o “E&P&T” representa tecnificar o “profesionalizar” la plantilla de trabajadores (teniendo en cuenta la categoría base Primaria, secundaria y otros), se asocia de manera positiva con la innovación, aumentando los odds ratio en 1.085 y 1.01, respectivamente. El coeficiente que

¹⁰ La prueba de Wald Chi-cuadrado es un estadístico utilizado para evaluar la significancia conjunta de los coeficientes del modelo. Contrasta la hipótesis nula de que todos los coeficientes (sin contar la constante) son simultáneamente iguales a cero. Si este estadístico tiene un valor elevado y un p -valor bajo ($\text{Prob} > \chi^2 < 0.05$) indican que el modelo es significativo y que al menos un coeficiente es diferente de 0.

representa la participación de técnicos y Sena no resulta significativo, posiblemente esta categoría posea un papel principalmente operativo en las empresas.

Los coeficientes referentes a participación en ACTI de las diferentes categorías de capital humano presentan los odds-ratio más altos y significancia al 1%, indicando una fuerte relación positiva entre la probabilidad de innovar y cuando al menos un trabajador de cualquier nivel de educación ha participado en ACTI, en comparación cuando ninguno lo ha hecho.

En cuanto a los coeficientes de las variables de inversión, estos resultan significativos al 1% y presentan odds-ratio elevados, permitiendo inferir que la inversión tecnológica se relaciona positivamente con la probabilidad de innovar. Esto resulta interesante cuando se tiene en cuenta las diferencias en el comportamiento de la proporción promedio de las variables de capital humano presentadas en la descripción de datos, así como el comportamiento de la innovación en presencia de inversión tecnológica presentado en el apéndice C. Parece ser que la inversión tecnológica no solo se asocia a disponibilidad de recursos para incurrir en los costos de llevarla a cabo, sino también está presente en empresas con proporciones promedio mayores de capital humano especializado.

Los resultados referentes al tamaño de la empresa, siendo los coeficientes significativos y positivos, permiten comprobar que la empresa mediana y grande tienen mayor probabilidad de innovar respecto a la empresa pequeña. Como se presentó anteriormente, las empresas pequeñas, aunque representaron la mayor proporción en la muestra, también presentaron menores proporciones de inversión en I+D, TIC y maquinaria y equipo, así como menor proporciones de innovadores.

Las variables de intensidad tecnológica y fuentes externas resultan con signo positivo y significativas, permitiendo relacionar positivamente al entorno tecnológico y el efecto de las

fuentes externas sobre la probabilidad de innovar. Es decir, la probabilidad de que suceda innovación es mayor en divisiones industriales con entornos tecnológicos medio bajos o medio altos en comparación con las divisiones de baja intensidad tecnológica, así como en empresas abiertas o expuestas a colaboración o fuentes externas.

Adicionalmente, existe un efecto temporal negativo y significativo en todos los periodos. Estos coeficientes permiten especular sobre la posibilidad de que posibles shocks macroeconómicos hayan dificultado a las empresas innovar conforme pasaba el tiempo, pues el odds-ratio de los coeficientes de los periodos se alejan de 1 conforme avanzan, indicando menor probabilidad de innovar conforme pasaron los años, en comparación con el primer periodo 2007-2008. Del mismo modo, es importante recordar el comportamiento de la proporción de empresas que innovaron en esta dimensión en cada periodo, la cual disminuye considerablemente a partir del periodo 2013-2014 (Tabla 2).

Tabla 11

Resultados del modelo para la variable dependiente Innovación en Procesos

Variable	GLMM	GLMM (iT)	Logit
Capital Humano			
Share M & D	0.939** (0.028)	0.943** (0.028)	0.943** (0.028)
Share E & P & T	0.997* (0.002)	0.998 (0.002)	0.997 (0.002)
Share T & S	1.000 (0.002)	1.001 (0.002)	1.001 (0.002)
Participa en ACTI			
P&S&P	8.290*** (0.568)	8.272*** (0.566)	8.272*** (0.566)
T&S	8.228*** (0.644)	8.244*** (0.645)	8.244*** (0.645)
E&P&T	7.386*** (4.644)	7.396*** 0.479	7.396*** (0.479)
M&D	10.174*** (6.726)	10.177*** (4.615)	10.177*** (4.615)
Inversión Tecnológica			

Variable	GLMM	GLMM (iT)	Logit
Maquinaria	12.667*** (0.650)	12.607*** (0.645)	12.608*** (0.645)
I+D	0.918* (0.046)	0.925 (0.046)	0.925 (0.046)
TIC	1.238*** (0.057)	1.232*** (0.056)	1.232*** (0.056)
Tamaño de empresa			
Mediana	0.995 (0.899)	1.003 (0.057)	1.003 (0.045)
Grande	0.899* (0.578)	0.901* (0.057)	0.901* (0.057)
Variables Control			
Fuentes Externas	1.887*** (0.087)	1.889*** (0.87)	1.889*** (0.087)
Intensidad tecnológica			
Media baja	-	0.849*** (0.041)	0.849*** (0.041)
Media alta	-	0.813*** (0.043)	0.813*** (0.43)
Tiempo			
2009-2010	0.376*** (0.027)	0.167*** (0.107)	1.674*** (0.108)
2011-2012	0.720*** (0.052)	0.835*** (0.057)	0.835*** (0.057)
2013-2014	0.082 (0.010)	0.892 (0.065)	0.892 (0.065)
2015-2016	0.092 (0.010)	0.953 (0.069)	0.953 (0.069)
2017-2018	0.051 (0.007)	1.021 (0.076)	1.020 (0.076)
2019-2020	0.030* (0.005)	0.859** (0.065)	0.859** (0.065)
Intercepto	0.012 (0.001)	0.013 0.001	0.013 (0.001)
Wald Chi2 (P-valor)	8927.23 (0.000)	9053.37 (0.000)	7099.73 (0.000)
Pseudo R2	-	-	0.5154
LR test vs. logistic model	10.36 (p=0.001)	0.000	-
ICC	0.00354	0.000	-

Nota. Adaptado de la base de datos de EDIT (2007-2020) Observaciones = 46656 Significancia estadística: *** $p < 0.001$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$.

Nuevamente se resalta la significancia estadística de los tres modelos presentados (p -valor < 0 en la prueba de Wald χ^2) y de todas las variables a nivel individual incluidas y que explicarían la probabilidad de innovar en productos.

En cuanto a los resultados en innovación en procesos, los coeficientes de capital humano, M&D es significativo al 5%, pero E&P&T lo es al 10% en la estructura multinivel. Ambos presentan odds-ratio menor que 1, por tanto, se asociaría con menor probabilidad de innovar. Esto no indica necesariamente que aumentar la presencia del capital humano especializado disminuya la probabilidad de innovar si se analiza desde un punto de vista inverso teniendo en cuenta a la categoría base, entonces la probabilidad de innovar en procesos sería mayor en composiciones de capital humano menos especializadas o con menor presencia de los niveles más altos de formación, lo que sugiere que es un tipo de innovación de menor complejidad, requiere menor especialización o es más accesible. En cuanto a T&S no resulta significativo.

En el caso de las variables de participación en ACTI resultan significativas, seguidos de inversión en maquinaria y equipo quienes, presentan los coeficientes más elevados, indicando que cuando algún trabajador con un nivel de estudio determinado participa en ACTI aumenta la probabilidad de innovar cuando se compara con empresas con nula participación, reforzando la idea de que diferentes niveles de educación expuestos ACTI afectan diferente a la probabilidad de innovar.

Del mismo modo, la inversión en Maquinaria y equipo y Tecnologías de la información y comunicación presentan coeficientes positivos y significativos. La inversión en Maquinaria presenta un coeficiente alto, posiblemente explicado por la necesidad de invertir en capital físico para mejorar, optimizar o implementar un proceso de producción. El efecto del coeficiente TIC se podría explicar dado que innovar en procesos también incluye desarrollar un nuevo método de

distribución, entrega o sistemas logísticos y que pudiesen requerir una interfaz digital para su funcionamiento (monitoreo en tiempo real y a distancia, canales digitales de comunicación, sistemas de localización, etc.). También es posible que la inversión en TIC haya posibilitado el acceso a fuentes externas como internet y esta haya tenido algún impacto en la introducción o modernización de nueva maquinaria o un nuevo proceso. El coeficiente de I+D es significativo pero menor a 1, indicando menor probabilidad de innovar en presencia de dicha inversión. Teniendo en cuenta la categoría base, se interpreta que en ausencia de inversión en I+D la probabilidad de innovar en procesos es mayor. Es decir, innovar en procesos podría no requerir estrictamente este tipo de gastos o inversión, lo cual sugiere que sería menos costosa y más accesible en términos de recursos monetarios.

En el caso del tamaño, el coeficiente que captura el efecto de las empresas medianas no resulta significativo. Para las empresas grandes, la diferencia es significativa, pero con un coeficiente en odds-ratio menor a 1, permitiendo inferir que, en promedio, las empresas grandes tienen menor probabilidad de innovar en dicha área o, en sentido inverso, que en las pequeñas innovar en procesos sucede con mayor probabilidad en comparación con las grandes.

En cuanto al aspecto temporal, únicamente los coeficientes referentes a los periodos 2009-2010, 2011-2012 y 2019-2020 significativos pero menores a 1, indicando efectos temporales significativos y relacionados con menor probabilidad de innovar en esta dimensión conforme ha pasado el tiempo comparado con el primer periodo.

4.2.4. Efectos marginales y evaluación del modelo

A partir de las estimaciones del modelo de regresión logística estándar se obtienen los efectos marginales promedio siguiendo a Long y Freese (2001), los cuales evidencian como cambia la probabilidad de que una empresa innove en productos y servicios o en procesos, cuando

una variable independiente cambia en una unidad para variables continuas o representa cambios discretos, pasar de 0 a 1, 0 a 2, etc. Y manteniendo los demás factores constantes.

Tabla 12

Efectos marginales promedio, variable Innovación en productos y servicios

Factor	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	Limite inf.	Limite sup.
Capital humano						
M & D	0.002*	0.001	1.93	0.053	-0.0000	0.0046
E & P & T	0.000***	0.000	4.02	0.000	0.0001	0.0004
T & S	-0.000	0.000	-0.68	0.494	-0.0002	0.0001
Participa en ACTI						
P&S&P	0.042***	0.003	13.69	0.000	0.0364	0.0486
T&S	0.050***	0.004	12.55	0.000	0.0427	0.0586
E&P&T	0.044***	0.003	14.59	0.000	0.0381	0.0500
M&D	0.063**	0.031	2.00	0.045	0.0014	0.1263
Inversión						
Maquinaria	0.023***	0.002	9.30	0.000	0.0182	0.0279
I+D	0.031***	0.001	15.87	0.000	0.0274	0.0351
TIC	0.013***	0.001	6.79	0.000	0.0096	0.0174
Tamaño de empresa						
Mediana	0.005***	0.002	2.74	0.006	0.0016	0.0097
Grande	0.014***	0.002	4.97	0.000	0.0088	0.0208
Fuentes Externas						
Fuentes externas	0.039***	0.002	14.96	0.000	0.0339	0.0441
Intensidad Tecnológica						
Media baja	0.007***	0.002	3.57	0.000	0.0035	0.0122
Media alta	0.012***	0.002	5.42	0.000	0.0082	0.0176
Tiempo						
2009-2010	-0.050***	0.003	-13.49	0.000	-0.058	-0.0435
2011-2012	-0.019***	0.004	-4.57	0.000	-0.0278	-0.0111
2013-2014	-0.092***	0.003	-25.81	0.000	-0.0992	-0.8526
2015-2016	-0.090***	0.003	-25.38	0.0000	-0.0973	-0.8341
2017-2018	-0.098***	0.003	-28.96	0.000	-0.1047	-0.9146
2019-2020	-0.102***	0.003	-31.25	0.000	-0.1087	-0.0959

Nota. Adaptado de la base de datos de EDIT (2007-2020) Observaciones = 46656 Significancia estadística: *** $p < 0.001$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$.

En la dimensión de productos y servicios, el capital humano, aunque sus efectos son positivo y significativos (Excepto T & S), “profesionalizar” la plantilla de trabajadores o aumentar la participación de M&D en un 1% apenas aumenta la probabilidad de innovar en un 0.2%. Para E&P&T la probabilidad aumentaría en un valor muy cercano a 0, permitiendo inferir que la composición del capital humano en la empresa, por sí solo, no es suficiente para explicar el fenómeno analizado. Por otro lado, cuando se tiene en cuenta la participación de al menos 1 trabajador en ACTI junto con el título educativo alcanzado y se compara con empresas que presentan nula participación, se observa que el efecto de diferentes niveles educativos es significativo y varía según el título del trabajador expuesto a ACTI en comparación con empresas que no participan. Es decir, exponer a un trabajador con cualquier educativo alcanzado aumenta la probabilidad de innovar entre un 4.2% y 6.3%. El mayor efecto sobre la probabilidad promedio sucede cuando el trabajador es expuesto a ACTI y tiene un nivel educativo de Doctorado o Maestría, mientras que el menor efecto sucede cuando tiene primaria, secundaria o cualquier otro nivel educativo. En cuanto a T&S y E&P&T resultan significativos y positivos, aumentando la probabilidad promedio en un 5% y 4.4% respectivamente y comparado con las empresas sin participación. El hecho de que T&S presente un efecto mayor que E&P&T sobre la probabilidad de innovar teniendo en cuenta la categoría base plantea preguntas sobre la validez de los efectos diferenciados en cuánto al nivel educativo. Dichas preguntas se resuelven posteriormente.

Las variables de inversión presentan efectos marginales positivos y significativos, aumentando la probabilidad de innovar en 3.1%, 2.3% y 1.3% para las cualidades de, inversión en I+D, inversión en maquinaria y equipo e inversión en tecnologías de la información, respectivamente y controlando los demás factores. Estos resultados confirman la importancia de la inversión tecnológica permitiendo inferir que la innovación surge, con mayor probabilidad, en

ambientes con presencia de inversión tecnológica. Ambientes que, como se observó en las figuras 8, 9 y 10, se relacionan con presencia composiciones de capital humano promedio especializado.

En el caso del tamaño de empresa, aunque los efectos son significativos y positivos, la probabilidad de innovar para una empresa mediana o grande es de 0.5% y 1.4% mayor, respectivamente, en comparación con una empresa pequeña. Dicha diferencia no parece suponer gran diferencia en magnitud, aunque es importante recordar que las empresas grandes presentaron mayores proporciones de inversión e innovación en comparación con los grupos pequeño y mediano.

En Fuentes externas el efecto marginal promedio de 4% resulta significativo y positivo, confirmando la importancia en la colaboración e interacción externa.

Respecto a la categoría intensidad tecnológica, también presenta efectos marginales significativos y positivos, las divisiones clasificadas en intensidad tecnológica media baja y media-alta presentan una probabilidad mayor de innovar de 0.7% y 1.2% en comparación con las divisiones de baja intensidad. El bajo efecto de esta no es de extrañar teniendo en cuenta que, aunque la estructura multinivel permitió inferir la existencia de correlación intraclase en el nivel 2 (clasificación sectorial a nivel división CIIU3), esta explicó apenas menos de un 1% de la varianza total, confirmando un bajo efecto de la división industrial o intensidad tecnológica sobre la probabilidad de innovar.

Del mismo modo se destaca la significancia y efecto negativo de los efectos marginales de los factores que representan el paso del tiempo sobre la probabilidad de innovar. Como se observa, conforme transcurre el tiempo la probabilidad de innovar disminuye. En los dos periodos siguientes a 2007-2008 (año base), la probabilidad de innovar disminuye entre 5% y 10% durante

todo el periodo analizado. En 2017-2018 y 2019-2020 la probabilidad de innovar fue menor en 10%, en comparación con el primer periodo.

Tabla 13

Efectos marginales promedio, variable Innovación en procesos

Factor	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	Limite inf.	Limite sup.
Capital humano						
M & D	-0.003**	0.001	-2.02	0.044	-0.0073	-0.0001
E & P & T	-0.000	0.000	-1.55	0.121	-0.0003	0.00004
T & S	0.000	0.000	0.39	0.698	-0.0001	0.0002
Participa en ACTI						
P&S&P	0.167***	0.006	25.71	0.000	0.1544	0.1799
T&S	0.166***	0.007	21.34	0.000	0.1515	0.1821
E&P&T	0.154***	0.005	27.17	0.000	0.1435	0.1658
M&D	0.191***	0.055	3.46	0.001	0.0831	0.3004
Inversión						
Maquinaria	0.160***	0.002	61.29	0.000	0.1549	0.1651
I+D	-0.004	0.003	-1.56	0.118	0.1111	0.0012
TIC	0.013***	0.002	6.79	0.000	0.0007	0.0188
Tamaño de empresa						
Mediana	0.000	0.002	0.06	0.951	-0.0054	0.0057
Grande	-0.006*	0.003	-1.66	0.097	-0.0142	0.0011
Fuentes Externas						
Fuentes externas	0.040***	0.002	13.86	0.000	0.0344	0.0458
Intensidad Tecnológica						
Media baja	-0.010***	0.003	-3.40	0.001	-0.0163	-0.0043
Media alta	-0.013***	0.003	-3.95	0.000	-0.0195	-0.0065
Tiempo						
2009-2010	0.033***	0.004	8.03	0.000	0.0250	-0.0412
2011-2012	-0.011***	0.004	-2.61	0.009	-0.0199	-0.0028
2013-2014	-0.007	0.004	-1.57	0.116	-0.0162	0.0017
2015-2016	-0.003	0.004	-0.65	0.515	-0.0120	0.0060
2017-2018	0.001	0.004	0.28	0.782	-0.0079	0.0105
2019-2020	-0.009**	0.004	-2.01	0.045	-0.0189	-0.0002

Nota. Adaptado de la base de datos de EDIT (2007-2020) Observaciones = 46656 Significancia estadística: *** p < 0.01, ** p < 0.05, * p < 0.10.

En cuanto a los efectos marginales en la dimensión de procesos, la composición de capital humano resulta significativa, aunque M&D presenta un coeficiente significativo al 10%, este es negativo, indicando que la innovación es más probable en promedio, en empresas con plantillas con menor participación de M&D, aunque el efecto es pequeño. En la participación en ACTI los efectos marginales promedio resultan significativos y más altos, aumentando la probabilidad de innovar entre un mínimo de 15.4% y 19.1% cuando un trabajador de E&P&T o M&D participa en ACTI, respectivamente, en comparación cuando nadie participa. Para T&S y P&S&P, estos presentan efectos marginales promedio de 16.7% y 16.6% respectivamente. Estos los efectos resultan similares sobre la probabilidad de innovar en comparación con la categoría base. Además, igual que en la dimensión de productos y servicios, el efecto marginal promedio de P&S&P y T&S son mayores que el efecto de E&P&T, cuestión que merece un análisis que se aborda más adelante.

Las variables de inversión, específicamente la cualidad de invertir en maquinaria y equipo aumenta la probabilidad de innovar en un 16%, presentando un gran efecto sobre la probabilidad de innovar, potencialmente explicado por la necesidad de invertir en capital físico para introducir o mejorar un nuevo proceso. La inversión en TIC presenta efectos positivos significativos aumentando la probabilidad en 1.3% en comparación de ausencia de inversión. Invertir en I+D no presenta un efecto significativo.

En cuanto al tamaño, únicamente las empresas grandes presentan un efecto marginal promedio significativo, aunque apenas 0.6%. En sentido inverso, la probabilidad de innovar en procesos para una empresa pequeña es mayor en 0.6% en comparación con una grande. Intensidad tecnológica presenta un comportamiento similar, negativo y significativo, interpretándose que las divisiones industriales de baja intensidad tecnológica tienen una probabilidad mayor de innovar en apenas un 1% en comparación con intensidad tecnológica media-baja y media-alta.

Fuentes externas resulta significativa y con un efecto marginal promedio de 4% sobre la probabilidad de innovar, reafirmando la importancia de esta.

El aspecto temporal resulta significativo en 2009-2010 con un efecto positivo de 3%. 2011-2012 y 2019-2020 también son significativos, pero con un efecto negativo cercano a 1% sobre la probabilidad.

A partir del análisis de efectos marginales promedio, la interpretación del efecto de cuando al menos un trabajador de las diferentes categorías de capital humano había participado en ACTI se realizó tomando como punto de comparación nula participación. Analizándose entonces el efecto de cuando un doctor o maestro (M&D) en una empresa había participado en ACTI en comparación con una empresa con nula participación. A pesar de que las diferencias resultaron estadísticamente significativas, los efectos de las categorías de educación, P&S&P (4.2%) y T&S (5%), resultaron muy similares al efecto que tendría E&P&T (4.4%), categoría que suponemos es “mas” especializada. Por tal motivo, más allá del cálculo de efectos marginales promedio y con el fin de evaluar estadísticamente las diferencias en los efectos predichos de innovación se realiza un contraste de efectos marginales adyacentes entre los diferentes grupos que participaron en ACTI (Long y Freese, 2001), es decir comparar el efecto de categorías consecutivas buscando responder la pregunta: ¿exponer a un trabajador de P&S&P provoca un efecto estadísticamente diferente sobre la probabilidad de innovar en comparación exponer a un trabajador con T&S?. Del mismo modo, comparar si pasar de T&S a E&P&T es estadísticamente diferente de 0, etc.

Esta prueba es, en esencia, una prueba de Wald Chi-cuadrado dado que se evalúan las diferencias entre coeficientes mediante el siguiente contrastan de hipótesis:

- Hipótesis Nula (H_0): No existe ninguna diferencia en la probabilidad de innovación en nivel actual y el nivel anterior ($\beta_j = \beta_{j-1}$).

- Hipótesis Alternativa (H1): Existe una diferencia significativa en la probabilidad de innovar al pasar de un nivel educativo al siguiente ($\beta_j \neq \beta_{j-1}$).

Tabla 14

Efecto marginal de cada nivel educativo sobre su predecesor (Innovación en Productos y servicios e Innovación en Procesos)

Contraste	Cambio en la probabilidad	Error estándar	Estadístico Chi cuadrado	P> Chi cuadrado	Intervalo inferior	Intervalo superior
Innovación en productos y servicios						
P&S&P vs Ninguno	0.042	0.003	187.50	0.000	0.0364	.0486
T&S vs P&S&P	0.008	0.003	4.73	0.029	0.0008	.0154
E&P&T vs T&S	-0.006	0.003	2.74	0.097	-0.0143	.0012
M&D vs E&P&T	0.019	0.031	0.39	0.534	-0.0426	.0822
Significancia conjunta	-	-	292.88	0.000	-	-
Innovación en procesos						
P&S&P vs Ninguno	0.167	0.006	661.1	0.000	0.1544	0.1799
T&S vs P&S&P	-0.000	0.007	0.00	0.957	-0.0143	0.0135
E&P&T vs T&S	-0.001	0.0070	2.81	0.093	-0.0263	0.0020
M&D vs E&P&T	0.037	.055	0.45	0.502	-0.0713	0.1455
<u>Significancia conjunta</u>	<u>=</u>	<u>=</u>	<u>926.95</u>	<u>0.000</u>	<u>=</u>	<u>=</u>

Nota. Adaptado de la base de datos de EDIT (2007-2020) Observaciones = 46656 Significancia estadística: *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$.

Como se observa en la tabla 14, la participación en ACTI presenta un efecto estadísticamente significativo sobre la probabilidad de innovar en ambas dimensiones al observar el estadístico que evalúa la significancia conjunta de los coeficientes.

Al analizar el efecto “salto” entre los niveles de formación, revela que el mayor retorno marginal para la innovación de productos y servicios en la manufactura colombiana se obtiene al transitar de nula participación en ACTI, a la participación de trabajadores con educación básica (P&S&P) y técnica (T&S). Es decir, al involucrar a al menos 1 trabajador en ACTI con educación básica, eleva la probabilidad de innovar en un 4.2%. Al involucrar a un trabajador con educación técnica, la probabilidad aumenta en un 0,8% en comparación con un trabajador involucrado en ACTI con educación básica. Entonces, el “efecto ACTI” total sobre la probabilidad de innovar en productos sería $4.2\% + 0.8\% = 5\%$, positivo y estadísticamente diferente 0. La empresa “maximizaría” el efecto de ACTI sobre la probabilidad de innovar al integrar a trabajadores con educación técnica.

Dado que ya se describió la interpretación de dichos efectos marginales en el párrafo anterior, para innovación en procesos se resalta la significancia conjunta y el efecto de que un trabajador con educación básica participa en ACTI eleva la probabilidad de innovar en un increíble 16.7%. La comparación de “saltos” entre los diferentes niveles de educación no resulta estadísticamente significativa.

Tabla 15

Tasa de éxitos reales vs. predicción de los modelos (Innovación en Productos e Innovación en Procesos)

Modelo	% de éxitos reales	Correctamente clasificados	Precisión	Sensibilidad	Especificidad	Puntaje F1
Innovación en BB y SS	4.94%	95.34%	56.22%	25.12%	98.98%	0.3472
Innovación en procesos	15.55%	89.66%	63.94%	76.90%	92.01%	0.6982

Nota. Adaptado de la base de datos de EDIT (2007-2020). Observaciones = 46656.

En la Tabla 15 se presentan las métricas de validación para los modelos de innovación en productos e innovación en procesos. En términos generales, ambas estimaciones exhiben una exactitud global elevada, a pesar de la baja frecuencia de los éxitos reales (#innovadores/#total empresas) en la muestra. Los modelos alcanzan una exactitud superior al 85%, resultado que se encuentra influenciado por la alta especificidad (98.98% y 92.91%) en la clasificación de firmas no innovadoras; no obstante, presenta un carácter conservador para productos al identificar los eventos de éxito con una sensibilidad del 25.50%. El modelo para procesos presenta sensibilidad del 76.90% (de cada 100 innovadores identifica correctamente a 76) las variables elegidas para explicar la innovación en procesos son adecuadas y el modelo se ajusta bien a los datos (captura de manera más efectiva la heterogeneidad de las firmas innovadoras) en comparación con el de productos y servicios (de cada 100 innovadores identifica correctamente a 25).

Dada la naturaleza del fenómeno estudiado, donde la ocurrencia de eventos de innovación presenta un desbalance respecto a las empresas no innovadoras, entendiéndose que, de cada 100 empresas en la muestra, solo 4 innovan en productos y 15 en procesos, la exactitud global o correctamente clasificados en los modelos estaría sesgada por la alta capacidad del modelo de identificar firmas no innovadoras (especificidad), mientras que productos presenta una menor capacidad de identificar correctamente a las innovadoras (sensibilidad). Por ello, se emplea el Puntaje F1 (F1-Score) como el indicador principal de robustez.

Entonces, el Puntaje F1 ratifica la solidez de las estimaciones, especialmente en el modelo de innovación en procesos, donde alcanza un valor de 0.6982. Este resultado sugiere que las variables explicativas guardan una relación equilibrada con la detección de éxitos. En contraste, el valor de 0.3472 obtenido para el modelo de productos, si bien es numéricamente menor, resulta

consistente dada la baja prevalencia del evento en el sector manufacturero, demostrando que el modelo mantiene su utilidad predictiva teniendo en cuenta las variables empeladas.

5. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos permiten relacionar el fenómeno estudiado con múltiples dimensiones y sostener teóricamente la metodología estadística empleada. La innovación parece ser un proceso sistemático en el que los recursos no suponen ventajas de manera aislada, sino en interacción e interdependencia con el capital humano.

5.1. El aprovechamiento del recurso humano como facilitador del proceso innovador

Un contraste revelador de esta investigación es que plantillas de trabajadores con mayor presencia de profesionales con pregrado o posgrado no suponen en si un efecto importante sobre la probabilidad de innovar, resultado que difiere con Crépon et al. (1998) donde encuentran que la participación de ingenieros y administrativos se correlaciona positivamente con la producción de innovación. Pero cuando un trabajador de la empresa realiza ACTI (actividades conducentes a la innovación) este tendría o desarrollaría una serie de habilidades y destrezas que mejoran la capacidad de cuerpo científico y técnico en cuanto a detectar oportunidades técnicas o de mercado, capturar la información proveniente de fuentes internas o externas (clientes y/o mercado) y transformarla en innovaciones, aumentando la probabilidad de que la empresa innove y respaldando empíricamente las ideas de Kline (1985), donde la innovación surge y depende del cuerpo de conocimiento científico y técnico; y sus resultados dependen fundamentalmente del esfuerzo inicial. También concuerda con Díaz, Fajardo y Romero (2026) donde la innovación en productos y procesos es estimulada de manera positiva por la capacitación de empleados, lo cual se relacionaría con mejora de las habilidades de los trabajadores. En este sentido, el problema o

barrera inicial, así como el factor que explica este efecto, sería llevar a cabo ACTI dentro o fuera de la empresa, siendo mayor en procesos que en productos.

Sobre los efectos entre los niveles de educación sobre la probabilidad de innovar, se encuentra únicamente un efecto significativo en productos de 0.8% positivo y mayor cuando el trabajador que participa en ACTI tiene educación técnica en comparación con cuando participa uno con educación media (el efecto de participar para educación básica es de 4.2% en comparación con no participa). En cuanto a procesos, las diferencias entre niveles de educación no resultan significativas.

Los resultados concuerdan con lo expuesto por Teece (2010) el cual sostiene que contar con trabajadores calificados no es sinónimo de desarrollar capacidades dinámicas que faciliten innovación, sino es el aprovechamiento del capital humano y los recursos existentes y la interacción con los actores que componen el ecosistema de innovación.

5.2. El papel de la inversión tecnológica

La inversión tecnológica resulta significativa y con un efecto positivo sobre la innovación en ambas dimensiones, con excepción de I+D en procesos. Además, en presencia de ésta, se observan proporciones promedio mayores para M&D, E&P&T y T&S (Figuras 8, 9 y 10). No es de extrañar teniendo en cuenta las ideas expuestas en el modelo de enlaces encadenados, donde la innovación surge de la interacción entre conocimiento, investigación, producción y distribución y comercialización, siendo la inversión el posibilitador de la existencia de dichas interacciones. Esto tiene concordancia con lo expuesto por Mansfield (1968), el cual enfatiza que la transformación de una idea que pueda generar una ventaja productiva depende no solo del descubrimiento científico, sino de la capacidad de recursos tangibles de las empresas y su capacidad para financiarlos. Así mismo este resultado tiene congruencia con lo expuesto por Díaz, Fajardo y

Romero (2026) donde la inversión en i+D se correlaciona positivamente con la innovación y Proaño (2024), el cual encuentra una relación positiva entre inversión en I+D y crecimiento económico, lo destacable es la reciprocidad que hay entre estas dos variables, debido a que la innovación impulsa el crecimiento y este, a su vez, genera más recursos para reinvertir en investigación. Por lo tanto, esto sugiere que, para el caso colombiano, fortalecer la inversión tecnológica no solo tendría un efecto directo sobre la probabilidad de innovar, sino que podría activar un círculo virtuoso crecimiento e inversión.

5.3. Tamaño de empresa y acceso a recursos

Los resultados estimados muestran que las empresas medianas y grandes presentan mayor probabilidad de innovar en productos respecto a las pequeñas, aunque la diferencia promedio es pequeña. Esto coincide con los planteamientos de Schumpeter (1942) sobre el funcionamiento y acceso a recursos de la empresa grande, también refuerza lo expuesto por Barney (1991) sobre la teoría basada en recursos, en donde menciona que la capacidad innovadora entre empresas se explica por la tenencia y el uso estratégico de activos que son valiosos, raros, inimitables y no sustituibles. Así mismo va acorde con lo aportado por Crépon et al. (1998), los cuales identifican que el tamaño de la empresa es un habilitador crítico en la decisión de participar en actividades de I+D que ayuden a generar innovación. Para el caso colombiano específicamente Villareal et al. (2014) corroboran que el esfuerzo innovador favorece la innovación en productos y procesos, aunque con diferencias según el tamaño de la empresa y que únicamente la innovación en productos genera un impacto positivo y significativo sobre la productividad. Esto tiene coherencia con los resultados obtenidos, donde las empresas medianas y grandes tienen mayor probabilidad de innovar en productos en comparación con las pequeñas.

5.4. Entorno y fuentes externas

Los resultados obtenidos referente al entorno tecnológico y la importancia de fuentes externas muestran un efecto marginal positivo y significativo, esto encaja con lo propuesto por Teece (2010). La innovación de una empresa también depende de un ecosistema interactivo donde convergen tanto fuentes internas como externas, así como las características, aunque con un efecto estimado pequeño, en cuanto a intensidad tecnológica de cada división industrial. Así mismo, concuerda con lo planteado por Laursen y Salter (2006) en donde argumentan la relevancia de las fuentes extranjeras en su modelo de innovación abierta, concluyendo que las empresas no dependen únicamente de recursos internos, sino que también de varias fuentes externas que permitan generar o sostener la innovación.

5.5. Dinámica temporal y contexto macroeconómico

La proporción de empresas que innovaron en cada periodo, así como los resultados estimados de los coeficientes de tiempo en los modelos en la innovación, generaron dudas sobre las causas que explicarían la significancia estadística de los coeficientes de tiempo y el efecto negativo sobre la probabilidad de innovar, siendo más pronunciada en la innovación en productos. Esto quizás no es un fenómeno aislado, sino que reflejaría las condiciones macroeconómicas que atravesó Colombia durante el periodo de análisis, pero también una vulnerabilidad estructural que viene de tiempo atrás. En este sentido, Molina (2022) señala que Colombia presenta una marcada dependencia de la explotación de recursos naturales y una baja inversión en ciencia y tecnología, por lo cual tiende a limitar estructuralmente la capacidad de sostener procesos innovadores.

Bajo este marco estructural, La industria colombiana pudo haber estado altamente vinculada al ciclo de la bonanza petrolera (2000 – 2014). Bajo esta hipótesis, el quiebre observado en la innovación en productos a partir de 2013-2014 podría estar asociado a un efecto de transición

macroeconómica, ya que durante el auge petrolero la revaluación del peso pudo haber facilitado la importación de maquinaria y tecnología avanzada que ayudaría posicionaría como motor innovador, pero a su vez este auge traería la enfermedad holandesa¹¹. Al terminar la bonanza en 2014 la devaluación encarecería los insumos y sumado a la enfermedad holandesa que afectaría a la industria, dificultaría la modernización tecnológica. Esta hipótesis es sustentada por Rodríguez Ortegón (2021), quien analizó esta bonanza petrolera colombiana, encontrando que la apreciación del peso durante el auge facilitó la entrada de bienes importados, pero que, al llegar a su fin en 2014, trajo una fuerte depreciación y un debilitamiento generalizado en los sectores industriales.

6. Conclusiones

El análisis de las divisiones industriales en Colombia muestra que la innovación se concentra de manera desigual en diferentes industrias y que depende tanto de factores internos como externos. La innovación en procesos es más frecuente que la innovación en productos. Las divisiones líderes son la química (24), de maquinaria eléctrica (31) y de papel (21) y en general, las características propias de cada división no presentan un efecto importante sobre la innovación, pues esta presenta un comportamiento heterogéneo guarda una débil relación con la intensidad tecnológica de cada industria.

Los recursos internos como el capital humano son importantes y la proporción promedio los niveles más altos de formación es mayor en presencia de inversión tecnológica, así como en empresas medianas y grandes en comparación con las pequeñas. También muestra tendencia a aumentar su presencia en las plantillas de las empresas de la muestra a lo largo del tiempo, en

¹¹ La enfermedad holandesa se refiere a un fenómeno económico en el que un auge en la explotación de recursos naturales provoca la apreciación del tipo de cambio real, reduciendo la competitividad de otros sectores transables como la industria manufacturera y la agricultura (Max Corden y J. Peter Neary, 1982).

detrimento de la mano de obra no calificada. Además, La composición por sí sola no es importante para innovar, el efecto se percibe cuando realiza ACTI y la evidencia de un efecto mayor por parte de niveles educativos más altos es débil. Parece ser que el “gran salto o barrera” se supera al realizar ACTI, indiferentemente del nivel educativo del trabajador que participa a priori.

Finalmente, Los predictores elegidos explican mejor la probabilidad de innovar en procesos que en productos teniendo en cuenta las métricas de clasificación de ambos modelos. Los resultados sugieren que innovar en procesos está fuertemente asociado a la disponibilidad y aprovechamiento de recursos internos. En contraste, en la innovación en productos los recursos internos son importantes, aunque con un efecto menor que en procesos ya que esta dependería de la identificación de una oportunidad o necesidad de mercado. Teniendo en cuenta la caída de dicha innovación durante el periodo analizado, se podría pensar que en Colombia la innovación en productos se ha dificultado progresivamente en cuanto a menos oportunidades, ya fuera por el debilitamiento de la demanda de los consumidores en general, por creciente competencia o por dificultad del tejido empresarial para satisfacer el mercado.

7. Recomendaciones

Los hallazgos evidencian que el impacto del capital humano especializado sobre la innovación es limitado cuando opera de forma aislada de los demás recursos de la empresa. Además, innovar no parece requerir estrictamente de doctores o maestros o profesionales, por lo tanto, se recomienda implementar incentivos para empresas que incorporen el desarrollo de ACTI indiferentemente de la composición de empleados y evitando asignar al capital humano con el que disponen a un rol principalmente administrativo u operativo y relocalizar los recursos de la empresa en cuanto a capacidades científicas y técnicas a actividades de innovación.

Dada la importancia que representa la inversión tecnológica en los procesos de innovación, se propone el diseño de incentivos fiscales híbridos que promuevan no solo la financiación de I+D y maquinaria y equipo, sino la integración de esta con tecnologías de la información y comunicación (TIC) con el fin de potenciar las relaciones identificadas.

Para estudios posteriores sobre capital humano, se recomienda el uso participaciones de ingenieros o administrativos, por ejemplo, como proxy del nivel de habilidades de la firma, pues la evidencia sugiere que el título por si solo no parece ser adecuado. Por otro lado, resulta interesante investigar los factores que explican la tendencia al aumento de la participación de capital humano calificado en detrimento del no calificado y el efecto en las brechas salariales entre los distintos niveles de educación. Asimismo, se recomienda investigar si la tendencia decreciente de innovación en productos responde pocas oportunidades de mercado o la falta de capacidad de las empresas para satisfacer las necesidades de la demanda.

Referencias bibliográficas

- ANIF. (2024). *La mitad de la economía colombiana depende de tres departamentos*. Asociación Nacional de Instituciones Financieras. Recuperado de <https://www.anif.com.co/informe-semanal/la-mitad-de-la-economia-colombiana-depende-de-tres-departamentos>
- Arias Ortiz, E., Crespi, G., Tacsir, E., Vargas, F. & Zuñiga, P. (2013). *Innovación para el desempeño económico: el caso de las empresas en América Latina y el Caribe* (Nota Técnica IDB-TN-494). Banco Interamericano de Desarrollo. <https://webimages.iadb.org/publications/spanish/document/Innovaci%C3%B3n-para-el-desempe%C3%B1o-econ%C3%B3mico-El-caso-de-las-empresas-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>
- Banco Mundial. (2024). *Research and development expenditure (% of GDP)* [Data set]. DataBank.
- Banco Mundial. (s.f.). *Industria, valor agregado (% del PIB) - Colombia*. Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.IND.TOTL.ZS?locations=CO>
- Banco Mundial. (s.f.). *Industria, valor agregado (% del PIB)* [Conjunto de datos]. Banco Mundial de Datos. Recuperado el 19 de agosto de 2026, de <https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.IND.TOTL.ZS?locations=CO>
- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99–120. <https://doi.org/10.1177/014920639101700108>
- Barney, J. B., McWilliams, A., & Turk, T. A. (1989). On the Relevance of the Concept of Entry Barriers in the Theory of Competitive Strategy. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.13140/2.1.1104.6401>

- Becker, G. S. (1987). *Capital humano: un análisis teórico y empírico referido fundamentalmente a la educación* (M. Salazar, Trad.). Alianza Editorial.
<https://archive.org/details/capitalhumanouna0000beck>
- Bonet-Morón, Jaime Alfredo, 2001. "[El crecimiento regional en Colombia, 1980-1996 : una aproximación con el método Shift-Share](#)," capítulo, en: Meisel-Roca, Adolfo (ed.), [Regiones, ciudades y crecimiento económico en Colombia](#), capítulo 5, p. 167-190, Banco de la República de Colombia.
- Botón, S. L. (2016). *Crecimiento económico en el marco del conflicto armado interno en Colombia: un análisis departamental para el periodo 2000 - 2012*. Recovered from: <http://hdl.handle.net/10554/18885>
- Cardenas, Mauricio. (2001). "Economic Growth in Colombia: A Reversal of 'Fortune'?" CID Working Paper Series 2001.83, Harvard University.
- Caroli, E., & van Reenen, J. (2001). Skill-Biased Organizational Change? Evidence from a Panel of British and French Establishments. *The Quarterly Journal of Economics*, 116(4), 1449–1492. <http://www.jstor.org/stable/2696464>
- Castilla, C. E., Bejarano, J. A., Escobedo, R., & Queruz, E. L. (1997). *Colombia: Inseguridad, Violencia y Desempeño Económico en las Areas Rurales*. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/publication/311426845_Colombia_Inseguridad_Violencia_y_Desempeno_Economico_en_las_Areas_Rurales
- Cepeda Emiliani, L. (2010). *¿Por qué le va bien a la economía de Santander?* (Documentos de trabajo sobre Economía Regional y Urbana, No. 135). Banco de la República de Colombia.
<https://doi.org/10.32468/dtseru.135>

Consejo Privado de Competitividad & Universidad del Rosario. (s.f.). *Índice Departamental de Competitividad (IDC)*, de <https://compite.com.co/indice-departamental-de-competitividad-idc/>

Corden, W. M., & Neary, J. P. (1982). *Booming sector and de-industrialisation in a small open economy*. The Economic Journal, 92(368), 825–848.

Crépon, B., Duguet, E., & Mairesse, J. (1998). Research, innovation, and productivity: An econometric analysis at the firm level (NBER Working Paper No. 6696). National Bureau of Economic Research.

DANE. (2024). *Boletín técnico cuentas nacionales trimestrales IV trimestre 2024*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

DANE. (2024). *Boletín Técnico Productividad Total de los Factores (PTF) 2024pr: Resultados generales enfoque de producción y enfoque de género 2023p* (Apartado 2). <https://www.dane.gov.co/files/operaciones/PTF/bol-PTF-2024.pdf>

DANE. (2025). *Cuentas nacionales anuales*. Departamento administrativo nacional de estadística. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-anuales>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2025). *Anexo: GEIH septiembre 2025*.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (s.f.). *PIB Información técnica* [Conjunto de datos]. Recuperado el 19 de agosto de 2026. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-trimestrales/pib-informacion-tecnica>

- Díaz Díaz, N., Fajardo, E. y Romero, H. (2026). *Determinantes de la innovación empresarial: una investigación empírica para la India. Innovación y Desarrollo*, 16(1), 183–196.
- Díaz, N., Fajardo Ortiz, E. J. y Romero, H. (2026). Entrepreneurial innovation determinants: An empirical investigation for India. *Innovation and Development*, 16(1), 183-196. <https://doi-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/10.1080/2157930X.2025.2492987>
- Dunn, E. S. (1960). A statistical and analytical technique for regional analysis. *Papers in Regional Science*, 6(1), 97–112.
- Égert, B., Gal, P., & Wanner, I. (2016). *The impact of structural reforms on growth: A contextual approach* (OECD Economics Department Working Papers No. 1296). OECD Publishing.
- [Bonet](#)
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). *The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations*. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00055-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4)
- Fagerberg, Jan, Srholec, Martin and Verspagen, Bart (2009). *Innovation and Economic Development*. <https://collections.unu.edu/view/UNU%3A312#viewAttachments>
- Fajardo Ortiz, E. J., Riaño Pinzón, D. A., Romero, H., y Ruiz Herrera, F. (2024). Género e innovación empresarial en Colombia. *Revista Venezolana de Gerencia*, 29(11), 37-52. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.29.e11.2>
- Goldstein, H. (2011). *Multilevel statistical models* (4th ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470973394>
- Griffith, R., Redding, S., & Van Reenen, J. (2004). Mapping the two faces of R&D: Productivity growth in a panel of OECD industries. (“MAPPING THE TWO FACES OF R&D:

- PRODUCTIVITY GROWTH IN A PANEL OF OECD ...”) *The Review of Economics and Statistics*, 86(4), 883–895.
- Guerra, J., Zambrano, A., & Zuleta, H. (2022). *Entre regiones desiguales: ¿Qué podemos hacer para reactivarlas?* Universidad de los Andes. Recuperado de <https://www.uniandes.edu.co/es/noticias/gobierno-y-politica/entre-regiones-desiguales-que-podemos-hacer-para-reactivarlas>
- Hasan, I., & Tucci, C. L. (2010). The innovation–economic growth nexus: Global evidence. *Research Policy*, 39(10), 1264-1276. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.07.005>
- Hodara, J. (1997). Notas bibliográficas. En C. Freeman y L. Soete, *The Economics of Industrial Innovation* (pp. 585-586). MIT Press. https://www.researchgate.net/publication/200465537_The_Economics_of_Industrial_Innovation
- Humanez Díaz, C. J., Humanez Díaz, R. E., Moreno Córdoba, J. Y., & Moreno Sánchez, L. N. (2021). *Análisis del impacto de la educación superior en el desarrollo de la cuarta revolución industrial en Colombia* [Trabajo de grado, Universidad El Bosque]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unbosque.edu.co/server/api/core/bitstreams/ae5fd7bb-95ac-4ac5-b7ce-7ffeabbab8437/content>
- Kline, S. J. (1985). Innovation is not a linear process. *Research Management*, 28(4), 36–45. <https://doi.org/10.1080/00345334.1985.11756910>
- Kline, S. J. y Rosenberg, N. (2009). An overview of innovation. *Studies on science and the innovation process: Selected works of Nathan Rosenberg* (pp. 173-203). World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. https://econpapers.repec.org/RePEc:ws:wschap:9789814273596_0009

- Kor, Y. Y., Mahoney, J. T., Siemsen, E., & Tan, D. (2016). Penrose's *The Theory of the Growth of the Firm*: An exemplar of engaged scholarship. *Production and Operations Management*, 25(10), 1727–1744.
https://doi.org/10.1111/poms.12572?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle
- Krugman, P. R., & Obstfeld, M. (2003). *Economía Internacional: Teoría y política* (6.^a ed.). Pearson Educación.
- Laursen, K., & Salter, A. (2006). *Open for innovation: The role of openness in explaining innovation performance among U.K. manufacturing firms*. *Strategic Management Journal*, 27(2), 131–150.
- Long, JS, y Freese, J. (2001). *Modelos de regresión para variables dependientes categóricas usando Stata*. Stata Press.
http://investigadores.cide.edu/aparicio/data/refs/Long%26Freese_RegModelsUsingStata_2001.pdf
- Lucas, R. E., Jr. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3-42. <https://www.sfu.ca/~kkasa/lucas88.pdf>
- Lucas, R. E., Jr. (1988). *On the mechanics of economic development*. University of Chicago.
- Lundvall, B.-Å. (2007). *National Innovation Systems—Analytical Concept and Development Tool*.
https://www.researchgate.net/publication/24081600_National_Innovation_Systems-Analytical_Concept_and_Development_Tool
- Lustosa Rosario, A. C., Yaacov, B. B., Franco Segura, C., Arias Ortiz, E., Heredero, E., Botero, J., Brothers, P., Payva, T., & Spies, M. (2021). *Transformación digital en la educación*

- superior: América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo.
<https://doi.org/10.18235/0003829>
- Mansfield, E. (1968). *Industrial research and technological innovation*. W. W. Norton & Company.
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2024). *Informe de Tejido Empresarial - Diciembre 2024*. Bogotá D.C.: Oficina de Estudios Económicos. Recuperado de
<https://www.mincit.gov.co/getattachment/estudios-economicos/estadisticas-e-informes/informes-de-tejido-empresarial/2024/diciembre/oe-dv-informe-de-tejido-empresarial-diciembre-2024.pdf.aspx>
- Molina-Muñoz, E. (2022). *Una Visión de la Innovación y el Emprendimiento como Motor de Crecimiento Económico en Colombia*. Revista Científica Anfibios, 5(1), 53-65.
<https://doi.org/10.37979/afb.2022v5n1.103>
- Moreno-Brid, Juan Carlos, & Ruiz-Nápoles, Pablo. (2010). *La educación superior y el desarrollo económico en América Latina*. Revista iberoamericana de educación superior, 1(1), 171-188. Recuperado en 30 de marzo de 2025, de
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-28722010000100013&lng=es&tlng=es.
- Nagaoka, S., Motohashi, K., & Goto, A. (2010). *Chapter 25 - Patent Statistics as an Innovation Indicator*. En B. H. Hall & N. Rosenberg (Eds.), ***Handbook of the Economics of Innovation*** (Vol. 2, pp. 1083–1127). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0169-7218\(10\)02009-5](https://doi.org/10.1016/S0169-7218(10)02009-5)
- Nelson, R. R., & Phelps, E. S. (1966). *Investment in Humans, Technological Diffusion, and Economic Growth*. The American Economic Review, 56(1/2), 69–75.
<http://www.jstor.org/stable/1821269>

- OECD. (2011). *ISIC REV. 3 TECHNOLOGY INTENSITY DEFINITION: Classification of manufacturing industries into categories based on R&D intensities*. OECD Directorate for Science, Technology and Industry. <https://www.unhcr.org/innovation/wp-content/uploads/2015/07/48350231.pdf>
- OECD. (2022). *Human capital at work: Skills and incentives*. OECD Publishing. https://www.oecd.org/en/publications/human-capital-at-work_486c0289-en.html
- OECD. (s.f). *Empresas por tamaño*. <https://www.oecd.org/es/data/indicators/enterprises-by-business-size.html>
- OECD. Policy lessons from financing innovative firms. Paris: OECD Publishing; 2015.
- OECD/Eurostat. (2018). *Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition*, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>.
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. (2011). *Índice Mundial de Innovación 2011*. https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/economics/gii/gii_2011.pdf
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. (2013). *Índice Mundial de Innovación 2013*. https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/economics/gii/gii_2013.pdf
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. (2024). *Índice Mundial de Innovación 2024*. <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-2000-2024-en-global-innovation-index-2024.pdf>
- Penrose, E. T. (1959). *The theory of the growth of the firm*. John Wiley & Sons.
- Pineda, M. P. (2024). *Aumento en la productividad industrial a través de la innovación: una aproximación a través de la relación de los esfuerzos y resultados en innovación para la industria colombiana*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/67910>

- Proaño Ramón, H. A. (2024). Revisión sistemática sobre innovación y crecimiento económico en países en vías de desarrollo entre 2019-2023. *REVISTA CIENCIA Y TECNOLOGÍA - Para El Desarrollo - UJCM*, 10(20), 130–140. <https://doi.org/10.37260/rctd.v10i20.10>
- Rodríguez Ortegón, J. D. (2021). La bonanza petrolera colombiana a principios del siglo XXI: su dudosa relación con la temible enfermedad holandesa. *Intercambio. Revista de Estudiantes de Economía*, 3(5), 39–59. <http://revistafche.medellin.unal.edu.co/ojs/index.php/intercambio/article/view/427/377>
- Romer, P. M. (1986). Increasing Returns and Long-Run Growth. *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002–1037. <http://www.jstor.org/stable/1833190>
- Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(5, Part 2), S71–S102. <https://doi.org/10.1086/261725>
- Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6th ed.). McGraw-Hill.
- Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. D. (2005). *Economía* (18.^a ed.). McGraw-Hill.
- Schumpeter, J. (1934). *The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and Business Cycle*. Cambridge, MA: Harvard University Press. (Original work published 1911)
- Schumpeter, J. (1942), “Capitalismo, Socialismo y Democracia”, Barcelona, George Allen & Unwin.
- Schumpeter, J. (1996). *Capitalismo, socialismo y democracia*. Ediciones Folio. Recuperado de https://www.academia.edu/102612463/Capitalismo_Socialismo_y_Democracia_Tomo_I_Joseph_Alois_Schumpeter

- Smith, A. (1994). La riqueza de las naciones. Alianza Editorial. (Trabajo original publicado en 1776).
- Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65–94. <https://doi.org/10.2307/1884513>
- Solow, R. M. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics*, 39(3), 312–320. <https://doi.org/10.2307/1926047>
- Teece, D. J. (2007). Explicating Dynamic Capabilities: The Nature and Microfoundations of (Sustainable) Enterprise Performance. *Strategic Management Journal*, 28(13), 1319–1350. <http://www.jstor.org/stable/20141992>
- Teece, D. J. (2010). Technological innovation and the theory of the firm. En B. H. Hall & N. Rosenberg (Eds.), *Handbook of the economics of innovation* (Vol. 1, pp. 679–730). North-Holland.
- Triana, Daniel (2014). *Impactos económicos del Conflicto Armado en Colombia: análisis departamental, 1990 - 2012*. <http://hdl.handle.net/10784/8331>
- Valencia, G. a. V. (2023). Metodología Shift Share: una descomposición del crecimiento económico regional en Colombia. *Gestión Y Desarrollo Libre*, 3(6). <https://doi.org/10.18041/2539-3669/gestionlibre.6.2018.8149>
- Villarreal, N. F., Lucio-Arias, D., Albis Salas, N., & Mora Holguín, H. (2014). *Determinantes de la innovación y la productividad en la industria manufacturera colombiana por tamaño de firma* (Technical Report). Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología. https://www.researchgate.net/publication/322682868_Determinantes_de_la_innovacion_y_la_productividad_en_la_industria_manufacturera_colombiana_por_tamano_de_firma
- Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. MIT Press.

Wooldridge, J. M. (2020). Introductory econometrics: A modern approach (7th ed.). Cengage Learning.

Apéndices

Apéndice A

Distribución de la muestra por sector industrial (CIIU 3) y periodo

CIIU3_2	2007- 2008	2009- 2010	2011- 2012	2013- 2014	2015- 2016	2017- 2018	2019- 2020	Total
15	1,028	1,144	1,187	1,226	1,143	1,112	1,052	7,892
17	259	296	308	255	211	223	191	1,743
18	565	695	727	771	703	670	584	4,715
19	252	277	273	277	287	263	217	1,846
20	115	139	150	141	149	126	117	937
21	184	124	127	109	92	106	92	834
22	401	526	516	379	367	322	303	2,814
23	19	19	34	33	31	23	25	184
24	524	592	614	642	572	574	540	4,058
25	473	546	586	595	549	527	503	3,779
26	263	305	341	334	313	302	280	2,138
27	81	124	123	122	116	103	97	766
28	422	507	578	547	500	473	410	3,437
29	328	398	434	433	363	341	279	2,576
31	128	147	148	174	149	150	136	1,032
34	140	146	148	152	136	130	111	963
36	557	500	515	520	298	304	248	2,942
Total	5,739	6,485	6,809	6,710	5,979	5,749	5,185	42,656

Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020).

Apéndice B

Transformación de variables relevantes

La muestra original contenía 55.580 observaciones en total; y después de realizar el tratamiento de datos presentado en los párrafos posteriores, se obtuvo 42.656. En el caso de las variables de capital humano, se sumaron los dos datos disponibles para cada periodo, se obtiene el promedio para los dos años y se redondea a su decimal más cercano. En el formato original (conteo), las distribuciones presentaron un comportamiento asimétrico positivo y alta presencia de ceros para los profesionales, además de valores extremos en general, por lo tanto y para capturar la composición de habilidades dentro de la firma, se emplean las participaciones relativas (*shares*) de las categorías de capital humano anteriormente presentadas sobre el total de la nómina. El uso de esta transformación se fundamenta en Crépon et al. (1998); y Caroli y Van Reenen (2001). Aunque se reconoce la relación inversa entre las mismas, pues una alta participaciones de trabajadores con niveles básicos de educación conduce inevitablemente a valores inferiores en las demás participaciones, Crépon et al. (1998) en su estudio hacen uso de las participaciones de ingenieros y administrativos como variables control para capturar la composición cualificada de la mano de obra y correlacionar la productividad de la empresa con la producción de innovación. Caroli y Van Reenen (2001) encuentran que las empresas británicas y francesas que introdujeron cambios organizacionales asociados a mayor responsabilidad y designación de tareas tuvieron una probabilidad significativamente mayor de reducir su demanda de trabajadores no cualificados que aquellas que no lo hicieron.

Para el caso de las variables de inversión, las variables fueron deflactadas haciendo uso de la información histórica (1990 - 2025) del índice de precios al productor proporcionada por el DANE, se construyó el IPP general para cada periodo de análisis. Dado que el DANE presenta los

valores mensuales, se construyó el promedio de 24 meses que sería usado para deflactar los montos de inversión de cada periodo (2007-2008, 2009-2010, 2011-2012, etc.). Dada la alta presencia de 0 en las variables de inversión y consiguiente baja proporción de empresas que invierten en maquinaria y equipo, I+D y TIC (ver Apéndice E), se incluyen estas variables como cualidad (dummy) debido a la cultura empresarial y planeación estratégica que pueden requerir para ser llevadas a cabo.

En cuanto a las variables relacionadas al impacto, obstáculos, e importancia de fuentes internas o externas al innovar, se presume potencial endogeneidad. Aunque se pretendió un análisis de reducción de dimensionalidad (Análisis de componentes múltiples/Análisis de componentes principales) sobre los impactos, obstáculos, y la importancia de fuentes internas y externas reportados al innovar, estas variables se excluirían del modelo logístico final debido a la potencial endogeneidad por sesgo de selección; esto es, las firmas innovadoras son, en su mayoría, las que reportan información en dichas variables. Entonces, para garantizar la inclusión y captura del efecto que podría tener las fuentes externas en la probabilidad de innovar, se reemplazan los valores faltantes por 0, entendiéndose la variable como 1=si no reportó o no fué importante y 0=fue importante la fuente externa.

En cuanto a la eliminación de datos, se descartaron sectores con tamaños de muestra menor a 19 debido a la falta de representatividad que supone, siendo este el mínimo de observaciones que presenta una división en un periodo dado. Se establece dicho mínimo con la intención de preservar la mayor cantidad de divisiones posibles en el estudio (principalmente para el grupo de empresas grande, el cual posee la menor participación en el total de la muestra). También se eliminaron valores iguales a 100% en los shares de capital humano y se eliminó el 5% de la cola superior para

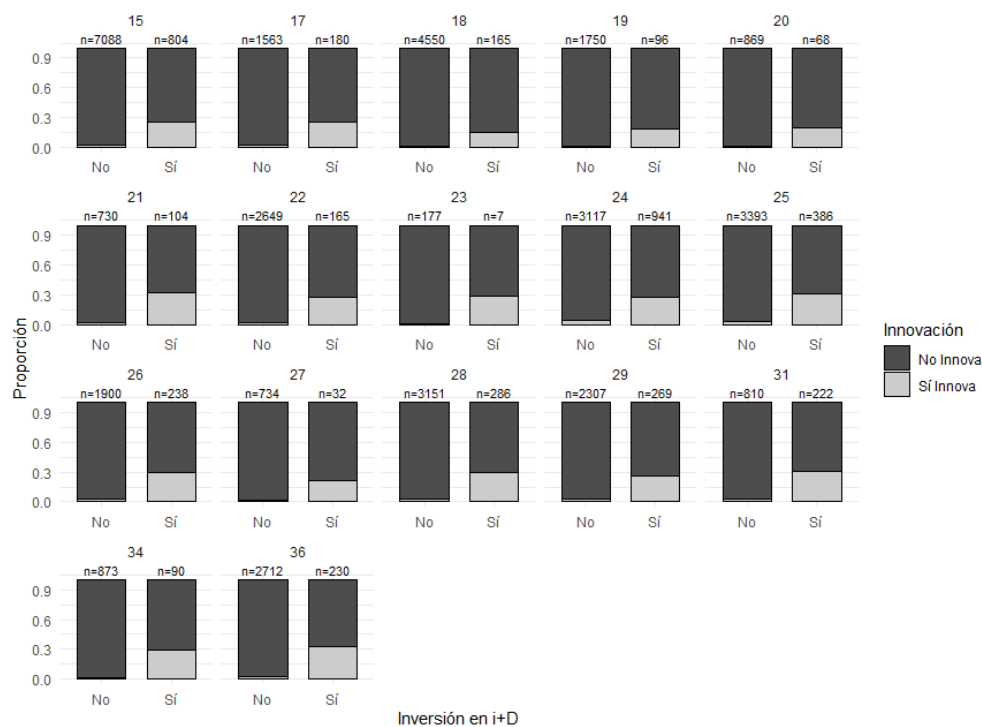
mitigar el efecto de los valores atípicos sobre los estimadores (las distribuciones se calcularon teniendo en cuenta el tamaño de empresa, la división CIIU3 y el periodo t).

Apéndice C

Empresas innovadoras según tipo de inversión en innovación (I+D, maquinaria y equipo, y TIC), por división industrial

Figura C1

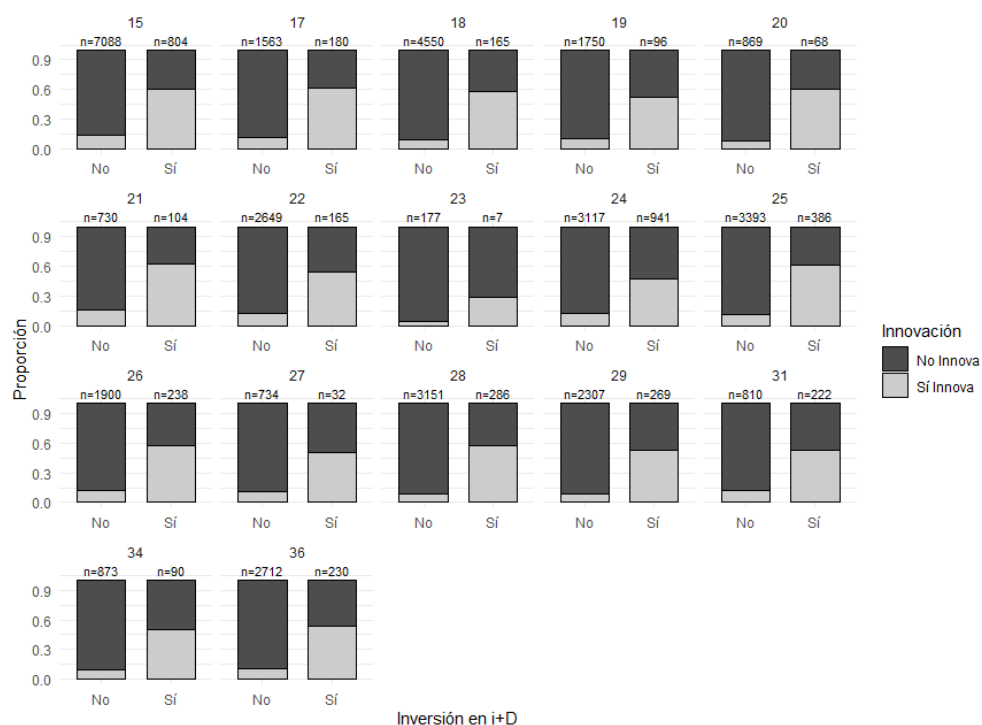
Empresas innovadoras en productos y servicios que han registrado inversión en ID, para cada división industrial (%)



Nota: Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020). Las columnas indican si la empresa registra inversión en I+D (**Sí**) o no la registra (**No**). El color gris representa a las empresas que innovaron en productos o servicios, mientras que el negro indica a las que no innovaron. El valor **n** sobre cada barra señala el total de empresas que componen cada grupo.

Figura C2

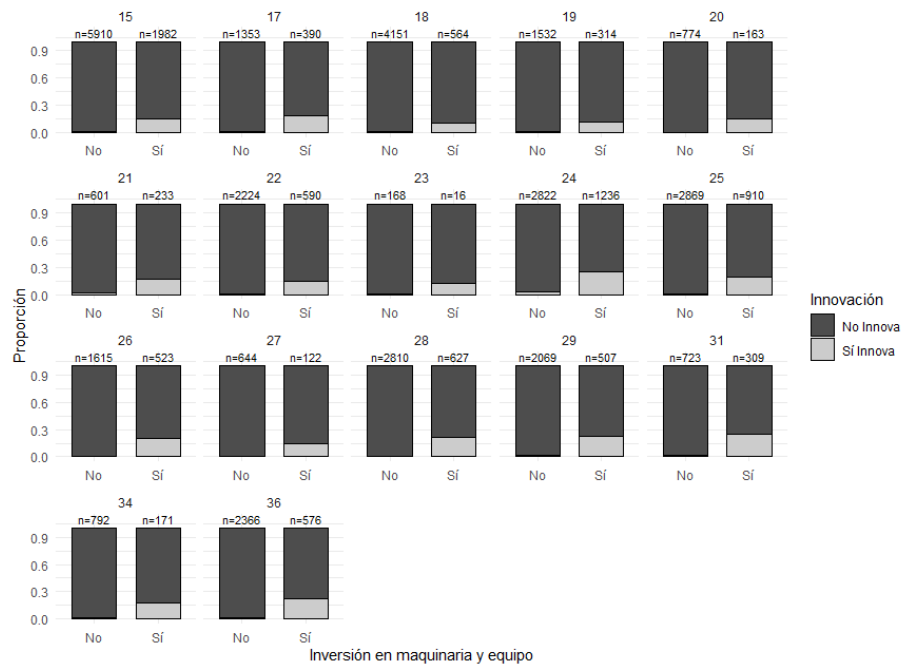
Empresas innovadoras en procesos que han registrado inversión en I+D, para cada división industrial (%)



Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020). Las columnas indican si la empresa registra inversión en I+D (**Sí**) o no la registra (**No**). El color gris representa a las empresas que innovaron en procesos, mientras que el negro indica a las que no innovaron. El valor **n** sobre cada barra señala el total de empresas que componen cada grupo.

Figura C3

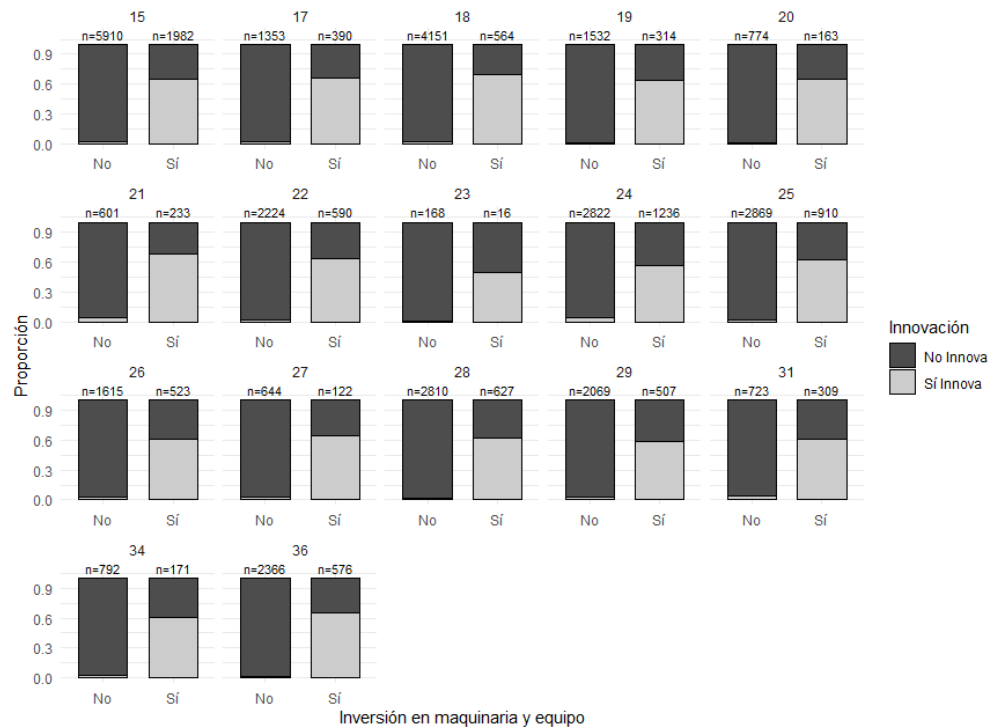
Empresas innovadoras en productos y servicios que han registrado inversión en maquinaria y equipo, para cada división industrial (%)



Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020). Las columnas indican si la empresa registra inversión en maquinaria y equipo (**Sí**) o no la registra (**No**). El color gris representa a las empresas que innovaron en productos o servicios, mientras que el negro indica a las que no innovaron. El valor **n** sobre cada barra señala el total de empresas que componen cada grupo.

Figura C4

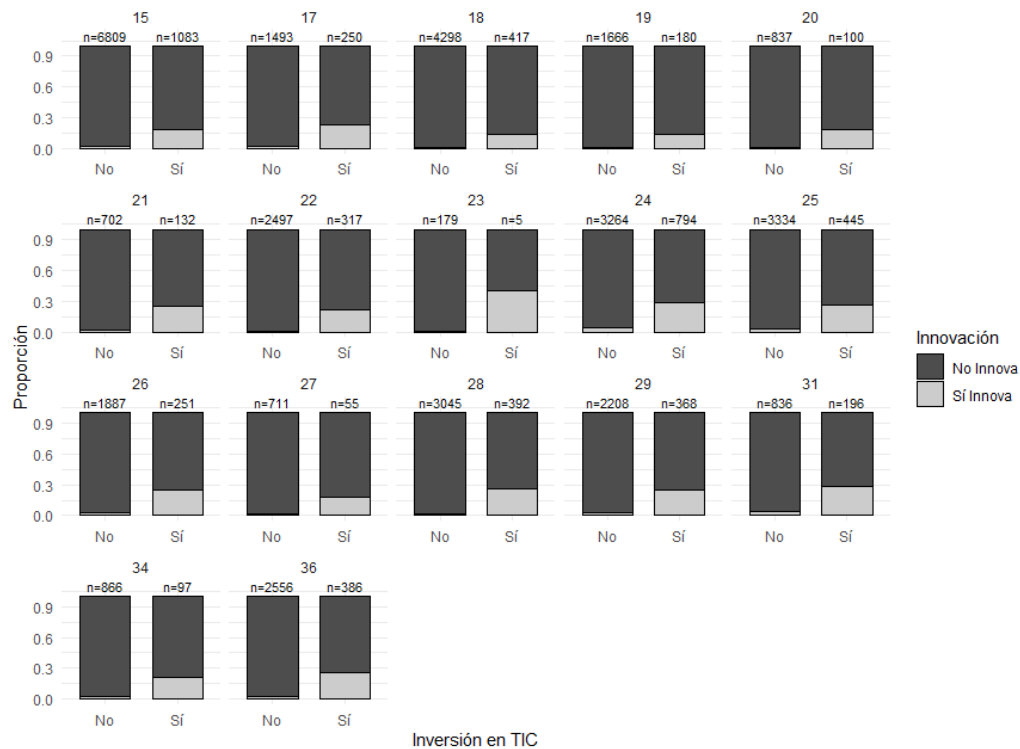
Empresas innovadoras en procesos que han registrado inversión en maquinaria y equipo, para cada división industrial (%)



Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020). Las columnas indican si la empresa registra inversión en maquinaria y equipo (**Sí**) o no la registra (**No**). El color gris representa a las empresas que innovaron en procesos, mientras que el negro indica a las que no innovaron. El valor **n** sobre cada barra señala el total de empresas que componen cada grupo.

Figura C5

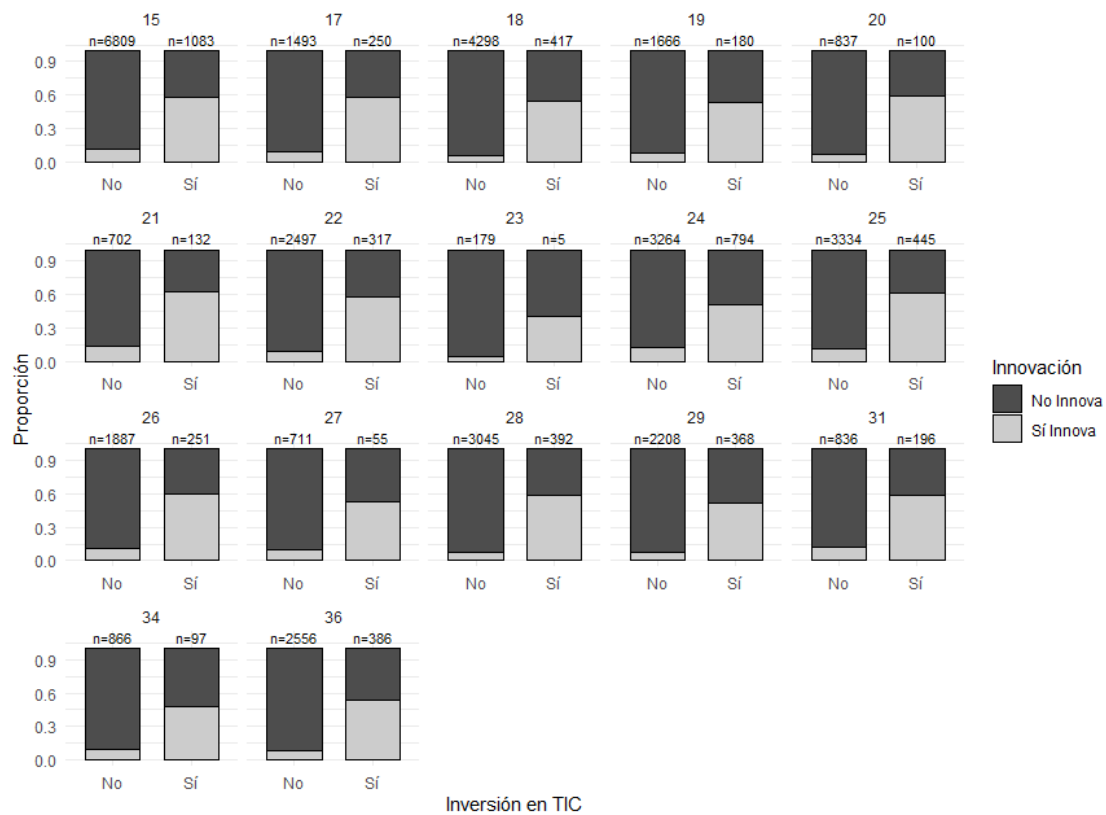
Empresas innovadoras en productos y servicios que han registrado inversión en TIC, para cada división industrial (%)



Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020). Las columnas indican si la empresa registra inversión en TIC (**Sí**) o no la registra (**No**). El color gris representa a las empresas que innovaron en productos o servicios, mientras que el negro indica a las que no innovaron. El valor **n** sobre cada barra señala el total de empresas que componen cada grupo.

Figura C6

Empresas innovadoras en procesos que han registrado inversión en TIC, para cada división industrial (%)



Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020). Las columnas indican si la empresa registra inversión en TIC (**Sí**) o no la registra (**No**). El color gris representa a las empresas que innovaron en procesos, mientras que el negro indica a las que no innovaron. El valor **n** sobre cada barra señala el total de empresas que componen cada grupo.

Apéndice D*Inflación de la varianza (VIF)***Tabla D1***Inflación de la varianza*

Capital Humano		
M&D	1.21	0.828928
E&P&T	1.19	0.8388
T&S	1.06	0.940811
Personal en ACTI		
ACTI.P&S&P	2.46	0.407142
ACTI.T&S	1.57	0.6367
ACTI.E&P&T	1.85	0.540136
ACTI.M&D	1.01	0.98892
Maq y Eq.	2.57	0.389482
I+D	1.64	0.610549
TIC	1.7	0.588316
Tamaño		
Mediana	1.14	0.880308
Grande	1.31	0.760831
Fuentes Externas	2.25	0.443741
Int. Tecnol.		
Media baja	1.1	0.911569
Media alta	1.27	0.785375
Año		
2009-2010	1.81	0.550986
2011-2012	1.89	0.528727
2013-2014	1.91	0.524445
2015-2016	1.82	0.549538
2017-2018	1.8	0.555552
2019-2020	1.75	0.570851
Promedio VIF	1.63	

Apéndice E*Conteo de empresas por sector industrial y tipo de inversión en innovación***Tabla E1***Conteo de empresas por sector industrial y tipo de inversión en innovación*

CIU3_2	ID		MAQ		TIC		Total
15	804	10%	1982	25%	1083	14%	7892
17	180	10%	390	22%	250	14%	1743
18	165	3%	564	12%	417	9%	4715
19	96	5%	314	17%	180	10%	1846
20	68	7%	163	17%	100	11%	937
21	104	12%	233	28%	132	16%	834
22	165	6%	590	21%	317	11%	2814
23	7	4%	16	9%	5	3%	184
24	941	23%	1236	30%	794	20%	4058
25	386	10%	910	24%	445	12%	3779
26	238	11%	523	24%	251	12%	2138
27	32	4%	122	16%	55	7%	766
28	286	8%	627	18%	392	11%	3437
29	26	1%	507	20%	368	14%	2576
31	222	22%	309	30%	196	19%	1032
34	90	9%	171	18%	97	10%	963
36	230	8%	576	20%	386	13%	2942
Total	4283	10%	9233	22%	5468	13%	42656

Nota. Elaboración propia a partir de los datos de EDIT (2007-2020).