



Universidad del **Rosario**

**La inversión en I+D y su impacto en la fuerza laboral.
Un estudio de caso de Colombia en el sector manufacturero**

Carlos Andres Cuesta Basallo

Director:

Paul Andrés Rodríguez Lesmes

Título a Obtener: Magíster en Economía y Magíster en Economía de Política
Pública.

Facultad de Economía

Maestría en Economía; Maestría en Economía de Política Pública

Universidad del Rosario

2023

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a mi director de Tesis, el doctor Paul, por su constante apoyo, dedicación y por creer en mí.

A mi amiga Stephany quien me brindó su tiempo para ayudarme a completar este gran reto.

A mi familia quienes siempre estuvieron y sabían que lo lograría.

Y finalmente a la persona que incondicionalmente ha estado para mí, desde que esta maestría solo existía como idea, que me motivo siempre y me ayudó incontables días para que hoy sea una realidad y el futuro también lo sea, *Sara*.

La inversión en I+D y su impacto en la fuerza laboral. Un estudio de caso de Colombia en el sector manufacturero

Abstract:

Este estudio explora el impacto de la inversión en investigación y desarrollo (I+D) en la demanda laboral del sector manufacturero colombiano con el fin de comprender cómo se ha podido manifestar este fenómeno. Se utilizó un modelo que incorpora variables relevantes y un enfoque de estimación principal con efectos fijos en dos dimensiones, corroborado por un modelo de panel dinámico con una estimación de sistema con el método generalizado de los momentos. Empleando datos de la encuesta anual manufacturera, la encuesta de desarrollo tecnología e inversión y la ambiental industrial; los resultados muestran un impacto positivo de la inversión en I+D en la demanda laboral del sector manufacturero colombiano. Generando implicaciones en políticas públicas y decisiones empresariales. Sin embargo, se reconocen limitaciones del modelo que pueden afectar las interpretaciones. Este estudio resalta la necesidad de políticas que fomenten la inversión en I+D para estimular el crecimiento económico y la creación de empleo. En cuanto a la demanda laboral, discriminada por nivel educativo, se mantiene una incertidumbre empírica.

1. Introducción

El vínculo entre tecnología y el mundo laboral ha sido objeto de estudio durante décadas, generando interés y fascinación en diversos actores como hacedores de políticas públicas, economistas, inversionistas, sindicatos, etc. Algunos buscan impulsar la innovación y las tecnologías disruptivas para aumentar la productividad, reducir costes y mejorar la competitividad (Santos et al., 2020). También hay quienes se oponen a la adopción de nuevas tecnologías, fundamentándose en la incertidumbre del desempleo llegando a teorías sociológicas contra-tecnológicas, como el movimiento de Luddism o la teoría de SCOT.

Desde la perspectiva de la ciencia económica se establece que la Productividad Total de los Factores (TFP) está siempre influenciada, en diferentes grados, por la labor humana. Por esto, varios académicos han emprendido investigaciones teóricas y empíricas buscando explicar la relación entre una mayor productividad laboral, la TFP y la demanda de empleo y cómo esto se puede relacionar con procesos tecnológicos.

En este contexto, economistas como Salomons y Autor (2017) evidencian que el crecimiento agregado de la productividad ha impulsado el empleo. Esto concuerda y complementa las conclusiones de Eksi y Ercek (2019) quienes respaldan la idea de que el progreso económico se debe, en parte, a los avances tecnológicos. No obstante, diversos estudios indican que el impacto de la tecnología en el crecimiento y/o progreso económico, por ende en el empleo, es dado en el largo plazo. Por ejemplo, en el grupo de investigación "Knowledge, Technology and Complexity in Economic Growth" de la Universidad de Harvard concluyeron que la tecnología es esencial para una producción eficiente de bienes y servicios, fundamental para la prosperidad (Hausman, Dominguez, 2023). Mientras que en el corto plazo, la magnitud del impacto tecnológico en la fuerza laboral varía según la industria, la inversión tecnológica y otras variables. Según Kogan et al. (2022), las personas en el percentil de más bajos ingresos y en el percentil de más altos ingresos son las más afectadas ante los choques tecnológicos. Donde son los trabajadores de bajos ingresos, con empleos manuales, quienes enfrentan la automatización, y los de altos ingresos enfrentan posibles reducciones salariales debido a la devaluación de sus habilidades específicas.

Aunque el concepto de tecnología puede tener diferentes definiciones, que varían según la escuela de pensamiento y/o la cultura, nuestro enfoque se fundamenta en una definición integral de la tecnología, que converge en las perspectivas de Schot (2018), la OECD (2000) y Prieto-Ñañez (2018). Quienes han enriquecido el discurso sobre las diversas formas de inversión que deben considerarse como tecnológicas, consolidando así el concepto de inversión en tecnología. Por ende, en nuestro enfoque, consideramos que la tecnología abarca tres ramas de inversión: investigación y desarrollo, avances científicos y tecnificación.

A lo largo de nuestra investigación, nos centraremos en la inversión en tecnología en investigación y desarrollo (I+D). Por lo mismo nos fundamentamos en las ideas de Lachenmaier y Rottmann (2011), cuando sostenemos que: la inversión tecnológica, orientada a innovar procesos (I+D), persigue la mejora de la productividad al reducir la dependencia de mano de obra, lo que permite a las empresas mantener niveles de producción óptimos con menos empleados. No obstante, a largo plazo, esta eficiencia puede generar un aumento en la demanda laboral. Por lo tanto, hay una incertidumbre que permanece sobre cómo la inversión en I+D influye en la demanda laboral. Desde nuestra investigación buscamos contribuir al conocimiento existente para abordar este vacío.

Es por ello que, en este estudio, evaluaremos los posibles impactos de un mayor nivel de inversión tecnológica en I+D, en la generación de empleo y cambios en los niveles educativos de la fuerza laboral al interior de las empresas particularmente para el caso de Colombia. Ergo nuestra pregunta a resolver será: ¿De qué manera la inversión tecnológica empresarial propia en investigación y desarrollo, impacta la demanda laboral al interior de las mismas empresas en el mercado colombiano, en el sector manufacturero? Nuestro objetivo principal es identificar y comprender la relación entre una mayor inversión en I+D en Colombia y sus efectos en la composición de la fuerza laboral en las empresas del sector manufacturero; cuando dicha inversión viene por parte de las mismas; tenemos la hipótesis de que mayores niveles de inversión en I+D aumentan el número de trabajadores. Del mismo modo esperamos que mayores niveles de inversión en I+D cambien de manera discriminada (por nivel educativo) la demanda laboral al interior de las empresas siendo aquellos con mayores niveles de educación adquiridos los más apetecidos por la industria manufacturera.

Utilizaremos métodos econométricos para un modelo dinámico de un panel lineal de datos con efectos fijos de empresa y año; y también emplearemos como prueba de robustez métodos de panel dinámico autorregresivo con efectos fijos de empresa; esto para evaluar el efecto en el tiempo que tiene la inversión en I+D. Como veremos más adelante, Colombia resulta en un caso importante para este análisis, ya que las condiciones de esta economía pueden ser dicientes sobre otras economías similares, de la región y el mundo, sobre las cuales la literatura no ha generado suficientes aproximaciones que permitan comprender este fenómeno económico (países de ingreso medio y bajo).

Cicera y Sabetti (2019) hacen un análisis de este fenómeno para países del sur de Asia y Norte de África. En contraste, Bogliacino (2012), Lachenmaier (2011), Rottman (2011), Evangelista (2011), usan únicamente datos de Europa y de Estados Unidos. Más detalles de esta literatura se presentarán más adelante. Los datos que emplearemos provendrán de la Encuesta Anual Manufacturera (EAM), la Encuesta de Desarrollo e Inversión en Tecnología (EDIT) y la Encuesta Ambiental Industrial (EAI), obtenidos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), junto con información del sistema general de regalías del gobierno nacional. Con nuestros datos se pueden seguir un aproximado de más de 7000 empresas por alrededor de 11 años.

Utilizando los resultados de nuestra investigación, buscaremos proporcionar conclusiones y recomendaciones de política pública. Tenemos así, el objetivo de enriquecer el conocimiento sobre este impacto en el ámbito empresarial en Colombia, brindando información valiosa

para la toma de decisiones tanto a nivel empresarial como gubernamental, no únicamente en esta economía sino generar una suerte de replicabilidad para otras economías similares.

Este documento se desglosa de la siguiente manera: en la segunda sección, se introduce el marco teórico; en la tercera, se analizan el contexto general como los específicos que se considerarán en nuestra investigación, posteriormente, en la cuarta sección, se realiza un minucioso análisis de los datos, lo que nos conduce a la quinta parte, donde se detalla la metodología empleada para investigar y comprender este fenómeno en Colombia. Siguiendo esta línea de enfoque, se presentarán los resultados en la sexta sección, y finalmente, en la séptima parte, se expondrán las limitaciones, conclusiones y las recomendaciones de política pública.

2. Marco Teórico

Resulta imperativo analizar cómo la tecnología, específicamente la inversión en I+D, ha podido modificar la demanda de fuerza laboral en Colombia. De ser así, este estudio contribuye al entendimiento de las diferencias en este proceso en comparación con países de ingresos altos. Además, complementa la teoría sobre inversiones en I+D y la demanda laboral. Permitiendo evaluar el impacto de estas inversiones en la productividad total de los factores a lo largo del tiempo en Colombia.

Teniendo esto presente, volvemos al estudio de Lachenmaier y Rottman (2011) que mencionamos en nuestra introducción. Este estudio será fundamental para nuestra investigación ya que, para la construcción de nuestro modelo, nos basamos en su metodología y resultados para corroborar la idoneidad y pertinencia de nuestro modelo.

Lachenmaier y Rottman abordaron la relación entre innovación y demanda laboral desde un modelo que incluye dos rezagos de la variable dependiente (el número de trabajadores) y dos rezagos de la variable explicativa (el monto de inversión en lo que ellos llaman innovación). Y descubrieron que las empresas que priorizan la inversión en I+D, especialmente en procesos, experimentan impactos positivos y significativos en la demanda laboral interna. Sin embargo, en el caso de la innovación en productos, hay un efecto positivo, que no es significativo. En su modelo ellos consideran los rezagos tanto del empleo como de la inversión en investigación y concluyen que, a pesar de sus esfuerzos, los resultados en relación con las inversiones en I+D y la demanda laboral siguen siendo inconclusos.

Empero, Bogliacino et al (2012), consideran las inversiones de I+D contemporáneas considerando únicamente el primer rezago de tiempo de su variable independiente (el

empleo) y además consideran en conjunto las inversiones de I+D (sin distinguir las de productos o procesos), y demuestran que duplicar las inversiones en I+D conlleva a un aumento de aproximadamente el 3% en la fuerza laboral al interior de las empresas.

Ellos logran resaltar las diferencias sectoriales, ya que muestran que la inversión en I+D en sectores de "alta tecnología" tiene un impacto mayor y más significativo en la demanda laboral; en comparación con otros sectores de la economía. Ellos emplean un estimador de Least Squares Dummy Variable Corrected (LSDVC) para lidiar con la posible endogeneidad presentada al efectuar modelos dinámicos donde la variable dependiente rezagada está relacionada con el término de error, y ya que no pueden emplear estimadores-GMM por que sus datos tienen un número pequeño de empresas (677 que al separar por industria se convierten en menos de 200). Es este estimador propuesto por Bruno's (2005) el que mejor se adapta a su especificación y datos. Vale la pena mencionar que Bogliacino et al (2012), no exploran el tipo de labor que se demanda en tanto al nivel académico.

Tengamos presente que estos estudios se basan mayormente en países con ingresos altos, lo cual nos lleva a buscar un enfoque que se asemeje a nuestro caso de estudio. Hemos encontrado el análisis realizado por Cicera y Sabetti (2019), que analiza el impacto de la innovación en productos y procesos en países de ingresos medios y bajos, a los que se refiere como "países en desarrollo" lo cual resulta ser relevante y reciente para nuestro caso.

Cicera y Sabetti (2019) llegaron a la conclusión de que, en los países de ingresos medios y bajos de África, Asia, Mena (Medio Oriente y el norte de África) y Eca (Europa y Asia central), los efectos de la inversión en I+D en la innovación de procesos con respecto al empleo no son relevantes. Ellos utilizan la metodología de variables instrumentales para solucionar la posible endogeneidad del crecimiento de las ventas de nuevos productos; ya que el verdadero cambio real en el crecimiento de las ventas no se observa por la escasez de deflatores de precios apropiados. La variable instrumental que emplean es una variable indicativa (tipo dummy) para determinar si el producto es completamente nuevo para la empresa y si la empresa invierte en I+D. Según ellos las inversiones en I+D y las decisiones de innovación se toman por adelantado, antes de cualquier información sobre los precios y, por lo tanto, es poco probable que estén correlacionadas con el término de error, aunque son importantes para determinar el éxito en términos de ventas (Cicera, Sabetti ; 2019, pág 169). Adelante, en el estudio, analizan las conclusiones de Bogliaccino et al (2012) sobre el nivel sectorial, evidenciando que existe una diferencia en la magnitud de los efectos de las

inversiones, la cual depende del grado de intensidad tecnológica de cada sector. Donde los sectores con niveles más altos de tecnología, los efectos de la inversión en I+D sobre productos se pronuncian más que en los sectores con niveles tecnológicos más bajos. Así mismo, también concluyen que el mecanismo a través del cual las inversiones en I+D impactan positivamente la demanda laboral es aquel en donde las ventas de productos se vuelven más exitosas por las inversiones en I+D, lo que resulta en un aumento de la productividad y a su vez, lo que genera una mayor demanda de personal. Cabe mencionar que en su estudio Cicera y Sabetti (2019) no presentan resultados con respecto de los rezagos en el tiempo de sus variables regresoras ni dependientes ergo no tienen un modelo dinámico sino, contemporáneo como el que planteamos en esta investigación y que será detallado en la sección (5).

Como mencionamos, los estudios sobre la inversión en I+D y su relación con la demanda laboral han priorizado países de ingresos altos. Posiblemente debido a la disponibilidad de datos, proximidad geográfica, índices tecnológicos, entre otros. Lachenmaier y Rottmann utilizan datos de Alemania, Bogliacino se basa en datos de la Unión Europea (2012). Hall y Lotti (2008) exploran este fenómeno, en Italia utilizando microdatos y concluyen que "*La innovación en procesos tiene un efecto de desplazamiento reducido en Italia, mientras que la innovación de productos aumenta el empleo*"(Hall, Lotti;2012).

Al revisar la literatura sobre el efecto de la inversión en I+D en países de ingresos medios y bajos, en particular en la región latinoamericana. Evidenciamos que, la investigación de este fenómeno no es común y además existe, también, una reducción gradual en la producción de conocimiento, ya que la mayoría de los artículos tienen más de cinco años de publicados.

Los análisis sintéticos de nuestro marco teórico se pueden evidenciar en la tabla **A.1.** que se encuentra en el apéndice.

En este contexto, el estudio de la relación entre la inversión tecnológica de I+D y la demanda laboral en Colombia adquiere especial relevancia. Ya que, aunque la academia se ha centrado en examinar la composición de la oferta laboral y sus riesgos para con la tecnología. Donde, según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2020), -- los puestos que ocupan gran parte de la oferta laboral del mercado colombiano pueden ser computalizables-- ó tienen un mayor riesgo de ser automatizados en el futuro cercano-- (Moreno, 2022). Se ha pasado por alto la importancia de profundizar en las inversiones en I+D realizadas por las empresas y cómo esto ha podido modificar la misma demanda laboral al interior de las empresas. Sobre todo en el contexto de países similares a Colombia explorar

este aspecto se vuelve esencial para una comprensión completa de la dinámica laboral en un mundo cada vez más tecnológico.

A pesar de las diversas aproximaciones académicas en Colombia y América Latina sobre el impacto de la tecnología en la oferta y demanda laboral, escasos estudios contemporáneos se han enfocado en analizar cómo la incorporación de tecnología por parte de las empresas, especialmente en el ámbito de la investigación y desarrollo (I+D), puede afectar a su fuerza laboral interna. Este vacío en la literatura es el aspecto principal que nuestra investigación se propone abordar. Un ejemplo revelador de esta problemática se encuentra en el estudio de Moreno Narvaez (2022), quien advierte que gran parte de las tareas de los trabajadores colombianos tienen un alto riesgo de ser automatizadas en el futuro. Según sus hallazgos, "*la educación se erige como un mecanismo de protección para los trabajadores ante la llegada de nuevas tecnologías automatizadas en las cadenas de producción*" (Moreno, 2022). A diferencia del enfoque de Moreno, nuestro objetivo no radica en proyectar este fenómeno, sino en analizar y comprender cómo se ha manifestado, o no, en un período de tiempo específico. En consecuencia, esperamos que nuestro estudio proporcione conclusiones pertinentes en relación con el impacto en el ámbito educativo y en el laboral.

Así mismo, existen estudios que demuestran cómo la adopción de tecnología por parte de los individuos lleva a un aumento en sus salarios. Barrios et al. (2022) evidenciaron que "*en el caso de Colombia, el impacto de una mayor adopción de tecnología en los salarios es significativo y positivo*" (Barrios et al., 2022; pág 16). Este efecto se produce indirectamente, ya que una mayor accesibilidad a tecnología por parte de las personas implica una mayor probabilidad de acceder a una mejor educación y esto se traduce en salarios más elevados.

Un punto relevante en nuestra investigación es que diversos académicos han demostrado que existen fenómenos externos que incentivan a las empresas a invertir en tecnología. Uno de estos fenómenos es la inversión pública como motor de la inversión privada. Donde este tipo de investigaciones ha ido en aumento (Ali-YRKKO, 2005;Coccia, 2010;Muresianu, 2022). Coccia (2010) señala que la inversión pública y privada se caracterizan como bienes complementarios generando un efecto "spillover". Donde, para que sea positivo, se debe considerar la existencia de "*variables latentes relacionadas con factores socioeconómicos y ambientales que pueden influir en las decisiones de las empresas y el gobierno en cuanto a las inversiones en I+D*" (Coccia,2010). Estas variables incluyen mecanismos de transmisión desde el gobierno hacia el sector privado. Y esto determina el nivel de inversión empresarial y su relevancia. Con esto presente, en la sección **(3.3)** abordaremos las posibles herramientas públicas que han podido incentivar este tipo de inversiones privadas.

3. Contexto

3.1 Contexto de Colombia

Consideramos que los cambios tecnológicos y la especialización en I+D pueden no manifestarse de manera inmediata en el empleo en Latinoamérica, y su intertemporalidad dista de los países de altos ingresos. Además resulta particularmente lenta en Colombia. Esta apreciación se logra al considerar el Índice Global de Innovación, elaborado por la Universidad de Oxford (Global Innovation Index, 2023), que ha evaluado y clasificado diversas economías en todo el mundo desde 2013.

Para 2022, Colombia ocupó el puesto 63 en este índice, con una puntuación de 29.2, mientras que el máximo para ese año fue de 64.6 en Suiza (GII, 2023). Por debajo de economías como México, Chile y Brasil, obteniendo la misma puntuación que Uruguay y superando por una décima a Perú (con un índice de 29.1 en 2022). Analizando el historial de datos de Colombia en el índice, observamos que nunca se ha posicionado en los primeros 50 lugares de la lista, a diferencia de otras economías de la región como Chile u otros países con condiciones sociales complejas y afectadas por conflictos, ni siquiera ha alcanzado un nivel por encima del promedio regional. El mejor desempeño de Colombia se registró en 2013, cuando ocupó el puesto 60 con una puntuación de 37.4.

Con esto inferimos que en Colombia, los procesos innovadores y la adopción de tecnología nunca han sobresalido. Esto nos permite reafirmar que la economía Colombiana y su estudio permite una replicabilidad en países de ingreso medio y bajo alrededor del globo.

Algo similar sucede al examinar la productividad total de los factores (TFP) en Colombia. Según la investigación realizada por Seker y Saliola (2018), quienes comparan a Colombia con 14 países de la región “América Latina y el Caribe” y aplican 6 metodologías para medir la TFP. Colombia se ubica en penúltimo lugar en la región en 3 de estas metodologías y no logra superar los últimos 5 valores más bajos en 5 metodologías.

Según estos resultados y el GII (Global Innovation Index), evidenciamos que Colombia enfrenta desafíos en la adopción de tecnología. Convirtiéndolo en un caso particularmente interesante, para analizar economías similares. Esto ya que, aparentemente los efectos a corto y largo plazo de la inversión en tecnología, especialmente la inversión en I+D, sobre la demanda laboral, pueden diferir de la literatura existente, ya que la literatura se fundamenta en países de alto ingreso; y, alrededor del globo, los países con ingreso alto, son minoría.

Por otra parte, entrando en materia empresarial, vemos que en Colombia han existido barreras sociales e institucionales que han limitado el desarrollo tecnológico interno. Evidenciado en una dependencia hacia las importaciones tecnológicas (International Trade Administration, 2022). Como resultado, vemos que aquellos actores que pueden invertir en tecnología sobre todo en etapas tempranas (que para el caso de Colombia son una minoría) tienen la tendencia de ser más exitosos financieramente lo cual les permite mantener una posición más sólida en el mercado (FasterCapital, 2023). Entonces, examinando cómo las inversiones en tecnología, especialmente en I+D, afectan la demanda laboral a corto y largo plazo. Damos cuenta de la importancia que resulta el entendimiento de por qué y cómo las empresas (dada su naturaleza) optan por invertir en tecnología de I+D en lugar de otras formas de inversión o inversión nula.

A priori, la decisión de invertir en I+D parece depender de la importancia que cada empresa le otorga a la investigación en su mercado específico. Sin embargo, diversos estudios y revistas han destacado el hecho de que la inversión en tecnología, especialmente en I+D, debe ser de gran relevancia para las empresas en comparación con otras inversiones (Winman, 2023; Narasimhan, 2023; TheFutureOf Things, 2022). Estos estudios confirman que la inversión tecnológica brinda ventajas significativas a las empresas, como aumentar la eficiencia, reducir costes, mejorar el servicio al cliente y generar modelos de negocio más competitivos. Así mismo subrayan el papel crucial de la tecnología al facilitar conexiones sólidas con los clientes, permitir mantenerse al día con las tendencias del mercado y fomentar la innovación. Traduciéndose en mejores productos, mayores ventas y mayor flujo de ingresos para las empresas. (Smith, 2022; Johnson, 2023).

Como evidenciamos, invertir en I+D, es beneficioso, aunque no siempre es una prioridad ya que las necesidades diarias varían y, en el caso de Colombia, ser empresario es una labor exigente; donde las utilidades muchas veces no tienen la magnitud para ser reinvertidas en la misma empresa. En congruencia reconocemos que las inversiones pocas veces se orientan hacia la investigación y el desarrollo, en lugar de otras áreas. Por ende, comprender los factores externos que impulsan la inversión privada y, por extensión, la inversión en tecnología e I+D, es crucial para abordar este desafío.

3.2 Contexto empresarial

En Colombia, el proceso de establecer una nueva empresa es rápido y eficiente, con solo 10 días necesarios para iniciar un negocio (Banco Mundial, 2022). En 2022 se registraron 310,731 nuevas empresas en el país (Confecámaras, 2023). Representando un crecimiento del 0.6% del tejido empresarial en relación a la población nacional. Contrastando, Chile tuvo 11,348 nuevas empresas en el mismo año (Estrategia, 2023), un crecimiento del 0.05% en relación a su población. Esta disparidad destaca aún más ya que, a pesar de ser considerado un destino de inversión más inseguro, según la clasificación de riesgo (Datos Macro, 2023) Colombia demostró una actividad emprendedora más robusta. Sin embargo, Chile es solo uno de los numerosos ejemplos que podrían ilustrar este fenómeno. Podríamos efectuar el mismo ejercicio con otras economías de la región pero no nos detendremos en ello.

Tenemos que en Colombia la creación de empresas es una cara de la moneda, pero mantener las empresas en el tiempo, es la otra. Informes recientes de la ACOPI (Asociación Colombiana de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas) revelan que: *“7 de cada 10 empresas creadas en Bogotá terminan por cerrar”* (El Nuevo Siglo, 2023). Esta tendencia se ve agravada ya que Colombia ostenta una tasa de interés corporativa que supera el 30%, (OECD; Tax Summaries; Pwc; Wise Voter), sobrepasando estándares de varios países de ingresos altos. Además, según la ACOPI y la Cámara de Comercio de Bogotá (CCB), aproximadamente el 90% de las empresas adscritas a Bogotá son micro y pequeñas (Mipymes). Donde el 10% restante de las empresas son medianas y/o grandes, siendo las últimas una minoría (El Nuevo Siglo, 2023).

3.3 Posibles herramientas públicas que impulsan la inversión de I+D empresarial

Con la visión de Estado social de derecho, establecido constitucionalmente, los gobiernos de Colombia han buscado impulsar la modernización del mercado, promoviendo el crecimiento económico. Para esto han creado el sistema general de regalías con el objetivo de *“establecer mecanismos de equidad en la distribución de los recursos, promover el desarrollo y la competitividad, y propiciar la restauración social y económica en las regiones donde se lleva a cabo la exploración y explotación de recursos naturales”* (Ministerio de Ambiente, 2023).

Este sistema ha asignado cuantiosas sumas de dinero a numerosos municipios en Colombia, cada inversión con un propósito definido. Empero, el objetivo fundamental ha sido fomentar un desarrollo equitativo en todo el territorio y fomentar la descentralización económica.

Este sistema de regalías cuenta con un fondo específico para proyectos de ciencia, tecnología e innovación. Cuyos proyectos buscan *incrementar la capacidad científica, tecnológica, de innovación y de competitividad de las regiones, mediante proyectos que contribuyan a la producción, uso, integración y apropiación del conocimiento en el aparato productivo y en la sociedad en general* (MINCIENCIAS, 2023). La asignación de recursos, exclusivamente destinados a la ciencia, tecnología e innovación, puede tener un efecto indirecto de incentivar a empresas de diferentes regiones a invertir en I+D, lo cual se ha evidenciado en nuestro marco teórico como un efecto "spillover". Por lo tanto, sería razonable esperar que en aquellos departamentos donde se reciben recursos del sistema general de regalías, exista un aumento en la inversión privada empresarial en tecnología, ciencia, I+D, etc.

Sin embargo, el sistema de regalías no es la única herramienta pública que ha podido surgir desde el Estado Colombiano para incentivar la inversión en I+D en el sector privado. Diferentes programas tales como: “Fábricas de productividad y sostenibilidad” por parte del Ministerio del Comercio (actualmente en ejecución); o el programa (que se encuentra en construcción) desde el DNP llamado “Proyecto de compra pública de Innovación” que busca Fortalecer sectores estratégicos mediante la utilización de compras públicas con el objetivo de promover el desarrollo tecnológico y adquirir bienes y servicios innovadores (Ministerio de Transporte,2022). Podemos ver que vale la pena, en futuras investigaciones, analizar su impacto en la inversión de I+D para el sector privado y además, contrastar sus resultados con respecto de la demanda laboral al interior de las empresas con respecto de la presente investigación.

4. Datos

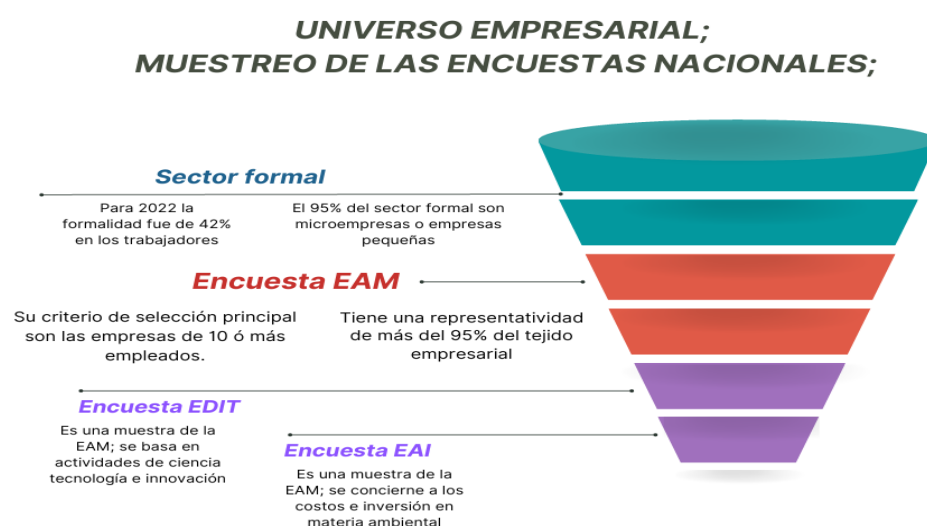
Hemos construido nuestra investigación con base en datos proporcionados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Colombia (DANE), centrándonos en tres encuestas específicas: EDIT, EAM y EAI. Aunque estas encuestas comparten la unidad de análisis de empresas y establecimientos, nuestro enfoque principal en este estudio se dirige hacia la encuesta EDIT ya que en está encontramos nuestras variables de interés. El

diagrama de la gráfica 1. muestra la relación entre estas 3 encuestas como se describe a continuación.

Inicialmente nos encontramos con la Encuesta Anual Manufacturera (EAM) la cual tiene un universo muestral donde se estableció como parámetro de inclusión: 500 millones de pesos anuales en ingresos o 10 personas ocupadas (DANE,2016). Esta encuesta carece de las preguntas y variables específicas en tecnología que son el foco de nuestra investigación. Por esta razón, optamos por utilizar la encuesta EDIT, que se especializa en tecnología y desarrollo, ya que se toman todas las empresas industriales que cumplen los parámetros de inclusión determinados para cada año de referencia correspondiente al directorio de empresas de la Encuesta Anual Manufacturera (EAM).

No sobra mencionar que esta encuesta se realiza bi-anualmente sin embargo, muchas variables se especifican año a año. Entre estas, nuestras variables de interés como lo es el número de trabajadores por empresa y la inversión propia de la empresa en I+D.

Además de lo anterior, hemos incorporado la encuesta EAI (Ambiental Industrial) en nuestro análisis, la cual, similarmente con la encuesta EDIT, está fundamentada en el directorio de empresas de la encuesta EAM, y se realiza anualmente. Esta encuesta nos permite explorar controles e instrumentos adicionales que, según la literatura existente, fortalecerán nuestro modelo y nuestras hipótesis.



Gráfica 1. Fuente: Elaboración propia, datos "PORTAFOLIO, DANE"

4.1 Fuentes de Información Adicionales

Contamos con datos relacionados con el financiamiento del Sistema General de Regalías, en particular del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación. Estos datos comprenden indicadores por proyecto de inversión, el monto total de las regalías asignadas a los departamentos y otras especificaciones, proporcionadas desde el DNP (Departamento Nacional de Planeación) y el ministerio de hacienda de Colombia, para nuestra investigación. Para el proyecto de compra pública de Innovación que mencionamos anteriormente en la sección 3.3 por parte del DNP, no se cuentan datos ya que es un proyecto en gestación que se encuentra en sus primeras fases de desarrollo.

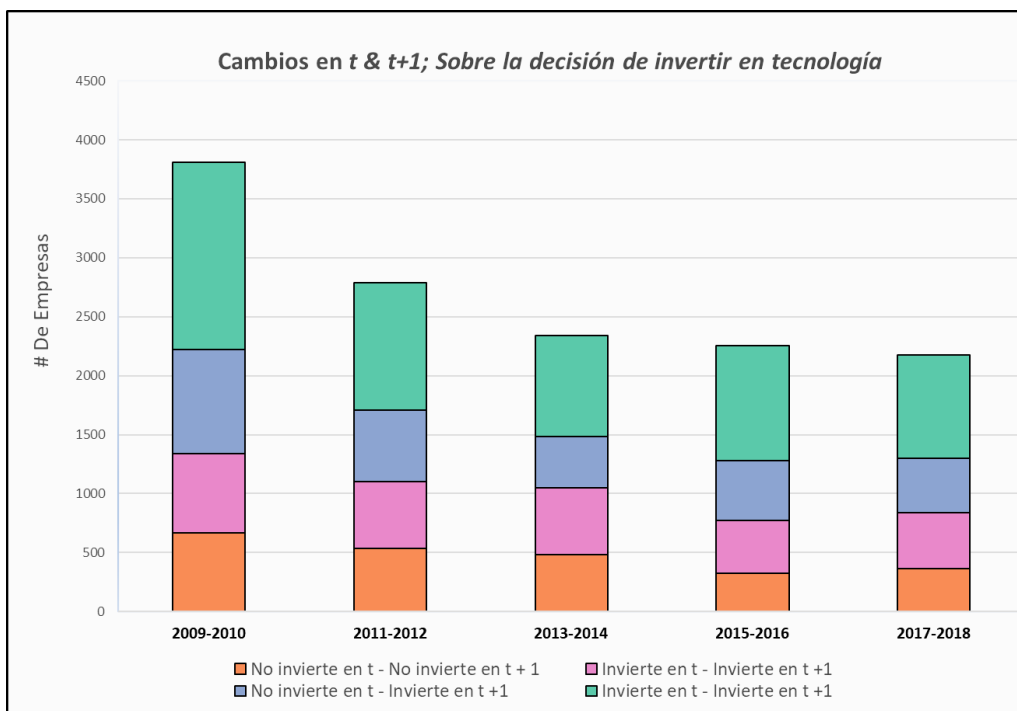
4.2 Selección de la Muestra

Primeramente tenemos que los datos de la encuesta EDIT son bianuales, siendo el primer período 2009 - 2010, el segundo periodo 2011 - 2012, llegando hasta el quinto periodo de referencia que corresponde a 2017 - 2018. Donde los años de 2008 y 2019 corresponden a periodos independientes de las versiones “IV” y “X” de la encuesta (correspondientemente) donde únicamente se tienen en cuenta las variables que corresponden a dicho año mencionado y no al par bianual.

Esta transformación año a año se puede llevar a cabo para los periodos generando un panel año a año desde 2008 hasta 2019 únicamente para nuestras variables de interés. Partiendo de este panel, debido a que el sistema de regalías fue creado en 2011, debemos realizar dos restricciones adicionales cuando se emplean estos datos para la estimación por variables instrumentales ya que incurrimos en la necesidad de acortar nuestra base de datos, a un panel desde 2011 hasta 2019 únicamente para estas estimaciones descritas en la sección (5).

El segundo criterio es que a pesar de que las encuestas contenían datos desde 2008 hasta 2021, hemos optado por excluir los años 2020 y 2021 de nuestro análisis. La razón detrás de esta decisión radica en nuestro interés en modelar este fenómeno económico durante un período de estabilidad económica. Es ampliamente conocido que durante 2020 y 2021 se declaró un estado de emergencia económica y sanitaria debido a la propagación del virus SARS-CoV-2, el cual concluyó en junio de 2022 (La República, 2022). Consideramos que este período se caracterizó por condiciones económicas excepcionales debido a la pandemia global, lo cual lo convierte en un período atípico en el contexto económico mundial. En el apéndice en la sección de **Texto** se podrá encontrar información más detallada sobre cada una de estas encuestas y su relación con nuestra investigación.

Para nuestro análisis puntual usaremos la pregunta **1** del **capítulo 2** de la encuesta **EDIT** que corresponde al monto en miles de pesos que la empresa destinó a inversiones en I+D durante un año específico y que además provienen de su propio dinero. Y las preguntas **1** a **11** del **Capítulo 4** donde estas corresponden al Personal ocupado promedio (tiempo completo, permanente y temporal) en cada una de las respectivas versiones de la encuesta. A continuación, en la gráfica, vemos la variación general que esperamos aprovechar en nuestro modelo.



Gráfica 2, Fuente: Elaboración propia. Datos: EDIT-DANE

*Nota:

Los periodos 2008 y 2019 que son incluidos en la base de datos, no están contemplados en esta gráfica ya que la disponibilidad de datos no permite presentar esos periodos completos

Esta variación descrita no corresponde a la inversión en tecnología de I+D sino a la versión integral que contemplamos y que es descrita en la pregunta **I** del capítulo **III** de la encuesta **EDIT**.

Se ve evidenciado en la gráfica **2** que la decisión de invertir en tecnología varía año a año. Algo notorio es el hecho de que, en toda la muestra, siempre predomina el grupo de las empresas que invierten en t y en $t+1$; esto nos indica que en muchos casos las empresas que invierten una vez, tienden a mantenerse invirtiendo. Vemos que, a lo largo de nuestro periodo de tiempo se ve reducido gradualmente el número de empresas. Esto puede ser explicado por la baja tasa de supervivencia empresarial en el mercado Colombiano que mencionamos en la sección **3.2**.

Así mostramos que, en los datos que emplearemos, encontraremos empresas sin observaciones para todos los periodos de tiempo. Ergo, habrá un panel desbalanceado. Un dato a considerar es que, a pesar de que la mayoría de estas empresas tendrán un número relativamente pequeño de empleados, en nuestros datos, encontraremos casos excepcionales, por ejemplo Bavaria, que emplea a más de 4000 personas (El Herald, 2020). Subrayamos entonces, la variabilidad esperada en la elasticidad de las empresas en términos de empleados que esperamos también se refleje en las inversiones de I+D. Esto agrega una capa adicional de complejidad a nuestro análisis, requiriendo una evaluación cuidadosa de las estrategias para modelar la inversión y su relación con el tamaño y los recursos laborales de cada empresa.

Esta complejidad se expresa a detalle en la tabla **A.2.1** y **A.2.2** en el apéndice, con nuestras estadísticas descriptivas de la muestra, y se desarrolla en nuestra metodología en la sección **(5)**.

4.2.1 Sobre el Sistema General de Regalías

Según los datos proporcionados por el Ministerio de Hacienda y el Departamento Nacional de Planeación, entre 2011 y 2019, se destinaron recursos de regalías al Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación para apoyar 432 proyectos. Donde de este total, los proyectos presentados por departamentos corresponden al 95.2%. A partir de 2020, se observó un notorio aumento, con 747 nuevos proyectos en tres años, un incremento del 172%. Sin embargo, en los últimos tres años, solo 28 proyectos fueron propuestos por los departamentos.

En el periodo de interés, la duración promedio de los proyectos financiados por este fondo de ciencia, tecnología e innovación fue de 4 años. Un dato relevante es que, en promedio, el dinero proveniente del sistema de regalías cubría aproximadamente el 85% del costo total de cada proyecto cuando un departamento presentaba un proyecto financiable y se le otorgaban los recursos.

Destacamos que la amplitud de la inversión de regalías en proyectos departamentales sugiere una posible manifestación de la teoría sobre la complementariedad entre la inversión pública y privada. Como vemos en la siguiente gráfica, el gráfico **3**, desde su creación, las regalías han tenido presencia en diferentes departamentos teniendo la posibilidad de haber impactado año a año : a mínimo más del 30% de las empresas manufactureras de nuestra muestra y máximo casi el 60% de las empresas.

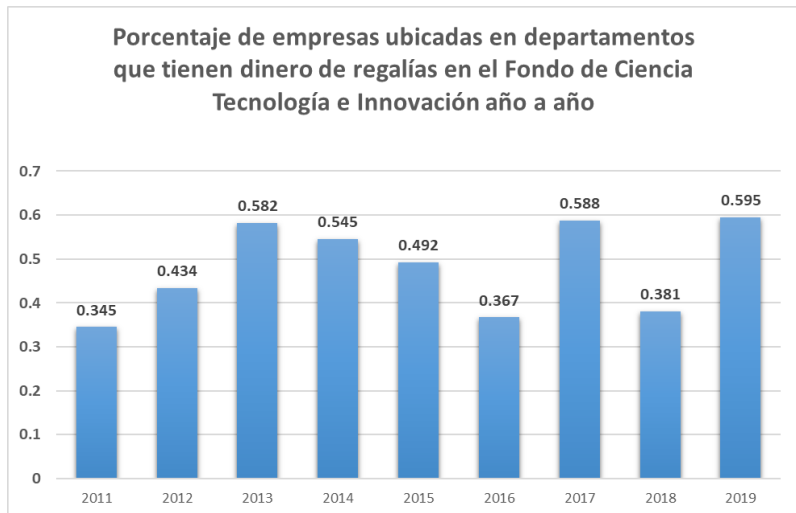


Gráfico 3, Fuente: Elaboración propia, Datos: DNP-MINISTERIO DE HACIENDA- EDIT -EAM

En el gráfico A.4, vemos los departamentos y el nivel de asistencia que han recibido en materia de recursos por parte del fondo de ciencia tecnología e innovación del sistema general de Regalías. Se plantea como hipótesis que haya una diferencia significativa de inversión en tecnología de I+D por parte las empresas que se encuentran ubicadas en los departamentos del decil más alto de regalías; versus las que se encuentran en el decil más bajo. Donde esperamos que esto se explique tanto por la inversión directa que hace la nación a través del sistema general de regalías como por el efecto spillover que mencionamos anteriormente.

5. Metodología

5.1 Estimación Principal

Con el objetivo de estimar el impacto que tiene una mayor inversión en I+D respecto de la demanda laboral, planteamos nuestro modelo principal con la siguiente ecuación:

(1)

$$Y_{i,t} = \beta_1 X_{i,t} + \beta_2 X_{i,t-1} + \beta_3 X_{i,t-2} + \beta_4 C_{i,t} + \alpha_i + \lambda_t + \epsilon_{i,t}$$

Donde Y denota el número de personas empleadas en una empresa “ i ” durante un año “ t ” . Homologamente (para nuestro outcome de educación) hace referencia al promedio de la composición del nivel educativo de la planta de dicha empresa sobre el total de trabajadores. Esto quiere decir que si de 100 trabajadores en una empresa, 10 tienen pregrado y/o postgrado el valor de Y será “0.1”; y así para los diferentes niveles educativos expuestos en la sección 4.2. Asimismo, la X hace referencia al nivel de inversión en I+D propia que tiene la empresa i en el periodo t y sus respectivos rezagos hasta el periodo “ $t - 2$ ” hemos incluido estos rezagos ya que tenemos la hipótesis de que el impacto de las inversiones en I+D y por consiguiente su transmisión en la demanda laboral no se manifiesta inmediatamente. Lo anterior ya que, los proyectos que persiguen la mejora de procesos o productos no siempre se terminan en el mismo periodo en el que inician sino que, dependiendo de la industria y de la magnitud del proyecto pueden llegar a necesitar otro(s) periodo(s) para efectuarse. No sobra mencionar que la inclusión o no de los dos rezagos puede variar según el criterio de información que empleemos para determinar cuál es el mejor modelo. Sin embargo, todos los resultados serán presentados al lector.

Esto para evaluar de qué manera el efecto de las inversiones pasadas se puede manifestar en el presente, o no, y capturar esta posible dinámica temporal. En este modelo α_i hace referencia al efecto inobservable específico por firma e invariante en el tiempo, puede estar correlacionado con $X_{i,t}$ pero no con $\epsilon_{i,t}$. $C_{i,t}$ hace referencia a nuestra variable de control (que puede ser incluida o no) para evaluar los cambios en los coeficientes y facilitar las estimaciones relativas al outcome de educación como veremos en la sección (6) de resultados, esta variable corresponde al logaritmo de las inversiones brutas que hizo la empresa “ i ” en el año “ t ” surge de la encuesta EAM en la sección denominada “RESUMEN EMPRESARIAL ACTIVOS FIJOS E INVERSIONES DURANTE “ t ” puntualmente es la pregunta C4R8C7, que hace referencia al valor total de las inversiones en activos fijos; hemos visto que en trabajos como el de Bogliacino una de sus variables de control corresponde a las inversiones brutas (Bogliacino et al, también contemplan como variables de control el valor de los salarios y las ventas de la empresa; pero estas variables no pueden ser consideradas en nuestra investigación dada la disponibilidad de datos) donde se espera que su coeficiente sea significativo y positivo para verificar la idoneidad del modelo. Y λ_t hace referencia al efecto inobservable específico de cada año, donde este puede estar

correlacionado con $X_{i,t}$ pero no con $\epsilon_{i,t}$. Finalmente $\epsilon_{i,t}$ hace referencia al error donde su valor esperado es 0 para cada i, t .

La presencia de heterocedasticidad (detallada en las secciones 3.1 y 3.2 y las tablas A.2.1 y A.2.2) en los valores de inversión y el número de empleados dada la diversidad empresarial en nuestra muestra; subraya la importancia de abordar esta complejidad. Para lo cual hemos optado por aplicar una transformación logarítmica al número de empleados de la empresa y al valor de la inversión en I+D. Entonces la X hace referencia al nivel de inversión en I+D por parte de las empresas en términos logarítmicos. Así como Y denota el número de personas empleadas en una empresa en términos logarítmicos. La bondad de estas modificaciones puede observarse en los gráficos A.5 y A.8. Sin embargo, al emplear esta transformación logarítmica se puede presentar un problema de selección en tanto que las empresas que declaren invertir cero pesos cop en términos de inversión de I+D (esta variable se mide en miles de pesos) no son tenidas en cuenta, ya que el logaritmo natural de 0 es indeterminado. Por otra parte, las empresas que invierten desde mil pesos cop en inversión de I+D propia. Si son consideradas.

Sumado a lo anterior reconocemos que esta estimación puede no ser suficiente para determinar la relación causal de este fenómeno. Ya que, dada la naturaleza de nuestras variables, es posible que exista una correlación entre la inversión en I+D y el término de error, creando endogeneidad por simultaneidad.

Esta situación puede deberse a la influencia bidireccional entre el número de empleados y la inversión en I+D. Evidenciamos que hay diversos posibles canales que pueden influenciar tanto el tamaño de la empresa como el nivel de inversión en tecnología. Unos posibles ejemplos de esto pueden ser: La cultura organizacional y el clima laboral; La estrategia empresarial; El desempeño financiero, etc.

Para abordar esta situación, emplearemos el estimador de variables instrumentales junto con los efectos fijos que ya mencionamos, contrarrestando la posible endogeneidad y mejorando la precisión de nuestras estimaciones para modelar este fenómeno económico.

Identificamos como variable instrumental: una dummy que indica si los departamentos recibieron regalías (1) o no (0) en un año específico. Al usarla como instrumento para la inversión en I+D, intentamos resolver la endogeneidad ya mencionada. Según nuestra revisión de literatura, la inversión pública (dinero del sistema general de regalías en el fondo

de Ciencia, Tecnología e Innovación en nuestro caso) puede incentivar la inversión privada, pero no necesariamente el número de empleados en una empresa.

Por ese motivo, consideramos como primera etapa:

(2)

$$X_{i,t} = \gamma_1 Z_{i,t} + \mu_{i,t}$$

$X_{i,t}$ se mantiene como el nivel de inversión en I+D por parte de las empresas en términos logarítmicos. Pero está explicada en términos de $Z_{i,t}$ nuestra variable dummy del sistema general de regalías en el fondo de ciencia, tecnología e innovación. Finalmente, γ_1 es el coeficiente asociado con las variables instrumentales. Y $\mu_{i,t}$ representa el término de error.

Es posible que haya fallos en nuestro instrumento y que no sea procedente. Esto debido a la naturaleza del sistema general de regalías, especialmente porque los principales beneficiarios han sido los gobiernos regionales y locales en lugar del sector privado. Además la adquisición de este dinero de regalías para un determinado proyecto, está dado a aquellos quienes piden participar y no de manera aleatoria; esto es una limitación que tiene nuestra investigación.

5.2 Estimación Alternativa.

En nuestra revisión de literatura nos dimos cuenta que diferentes autores (Bogliaccino, Lachenmeier, entre otros) proponen un enfoque de análisis de panel dinámico (DPD) autorregresivo para abordar este fenómeno. Argumentando que de esta forma se logra capturar la posible interdependencia temporal de la variable dependiente (el empleo). Proporcionando resultados donde el término de error no absorbe los posibles choques que se puedan transmitir en el tiempo. Si bien, en la especificación de nuestro modelo principal, al incluir los efectos fijos de tiempo buscamos controlar estas posibles variaciones temporales que les pueden ocurrir a las empresas y que no son explicadas por nuestras variables. Decidimos postular un análisis de forma de panel dinámico autorregresiva para efectuar una potencial prueba de robustez permitiendonos capturar la dependencia seria del empleo en el sector manufacturero en Colombia.

Nuestro modelo dinámico autorregresivo sigue esta estructura:

(3)

$$Y_{i,t} = \beta_1 X_{i,t} + \beta_2 X_{i,t-1} + \beta_3 X_{i,t-2} + \beta_4 C_{i,t} + \theta_1 Y_{i,t-1} + \theta_2 Y_{i,t-2} + \alpha_i + \epsilon_{i,t}$$

En esta nueva ecuación $Y_{i,t}$, $X_{i,t}$, $C_{i,t}$, λ_t , α_i , $\epsilon_{i,t}$ mantienen la notación de nuestros modelos anteriores y como vemos hay presencia de los rezagos de la variable dependiente. $Y_{i,t-1}$ y $Y_{i,t-2}$ harán referencia a estos rezagos en el tiempo de nuestra variable $Y_{i,t}$ que, recordemos, denota el número de personas empleadas en una empresa en términos logaritmos y también el porcentaje de la composición del nivel educativo de dicha empresa sobre el total de trabajadores. Este último modelo será el que propondremos como estimación alternativa para testear nuestros resultados obtenidos con nuestra estimación principal. Como en nuestra estimación principal, la inclusión e interpretación de los dos rezagos de la variable dependiente (así como los rezagos de nuestra variable X) dependen del criterio de información que empleemos y la información que nos provean.

Reconocemos que la literatura ha dado cuenta que hay un problema de endogeneidad que surge al rezagar nuestro modelo y en general los modelos dinámicos, ya que observamos (como veremos en la ecuación (4)) que los efectos fijos están correlacionados con el término de error a lo largo de todos los periodos a través de la variable $Y_{i,t-1}$ y $Y_{i,t-2}$. Para nuestro caso puntual hemos considerado, que nuestra variable de interés $X_{i,t}$ y sus respectivos rezagos poseen del mismo modo un problema de endogeneidad intertemporal.

(4)

$$Y_{i,t-1} = \beta_1 X_{i,t-1} + \lambda_{t-1} + \theta Y_{i,t-2} + \alpha_i + \epsilon_{i,t-1}$$

Para abordar este problema, la literatura ha propuesto dos enfoques. Primeramente el enfoque de las estimaciones del método generalizado de los momentos, (first difference GMM y System GMM) y seguido de esto la estimación denominada LSDVC (least square dummy variable Corrected por sus siglas en inglés) (Bruno, 2005) ambos enfoques logran dar una solución a esta problemática donde la elección del modelo depende principalmente de la muestra que se tenga. En esta investigación se ha determinado que en virtud de los datos (el número de periodos “T” y la cantidad de grupos “N”) el estimador a emplear será SYS GMM

donde la explicación más al detalle de esta elección se encuentra en el apéndice en la sección **(5.2.1)**.

No sobra mencionar que, en virtud de que esta estimación alternativa es considerada como una prueba de robustez y además la literatura no ha explorado este tipo de estimadores en nuestro outcome de educación, esta estimación alternativa únicamente será empleada en nuestro outcome del nivel de empleo en general, ya que (como mencionamos) ha sido empleada en otros estudios, donde dichos estudios pueden constituir un horizonte más claro sobre los resultados que esperaríamos surjan con estas estimaciones; mientras que para el caso de la demanda educativa es incierto.

6. Resultados

6.1 Especificación principal

6.1.1 Empleo general

En esta sección, presentaremos los resultados de nuestro modelo principal estimado por efectos fijos y nuestra metodología principal. En la tabla **3**, se muestran los resultados de nuestras estimaciones mediante efectos fijos de tiempo y empresa en el logaritmo del número total de empleados. Es importante destacar que el instrumento propuesto para abordar la posible endogeneidad por simultaneidad no cumple con los requisitos necesarios, ya que su estadístico F nunca supera el escalar 5, en contraste con el valor deseable de 16. Debido a esto, los resultados no son interpretables y, por lo tanto, no serán considerados.

Hemos realizado un ejercicio de selección según el índice BIC (criterio de información bayesiana) que contempla diferentes especificaciones del modelo sin rezagos, de nuestra variable explicativa, y también hemos contemplado el modelo con un solo rezago y, nuestro modelo principal (dos rezagos). Esto con el propósito de examinar lo que este criterio informativo nos sugiere y actuar en consecuencia dados nuestros datos e intereses en esta investigación. Como lo vemos en nuestra tabla **3**; nos hemos inclinado por modificar nuestra especificación principal. Esto en virtud del índice BIC y la explicación de nuestro marco teórico ya que (aunque el modelo sin rezagos tiene una mejor puntuación BIC) consideramos que es importante modelar las inversiones en t-1 para evaluar su posible impacto en el

empleo actual. Con estas consideraciones la mejor especificación resulta en la siguiente ecuación:

(5)

$$Y_{i,t} = \beta_1 X_{i,t} + \beta_2 X_{i,t-1} + \lambda_t + \alpha_i + \epsilon_{i,t}$$

Es importante señalar que nuestro modelo principal (basado en nuestro marco teórico y revisión de literatura) incluirá como mostramos en la ecuación **5** únicamente un rezago en la variable explicativa.

Este modelo será el enfoque principal para su interpretación. Eventualmente, podremos hacer observaciones sobre los otros modelos (estático y con dos rezagos) o utilizarlos como apoyo, dependiendo de la situación. Observamos que en el modelo de efectos fijos de dos vías, se evidencia que la inversión en I+D, proveniente de las mismas empresas, tiene un impacto positivo y significativo en el número de empleados de las empresas.

Notamos que el coeficiente es estable ante la presencia de la variable de control y también su ausencia. De hecho el indicativo BIC no es significativamente diferente ante el modelo sin variables de control o no. Esto es una buena señal ya que como se evidencia en todos nuestros modelos con variable de control el coeficiente de esta era el esperado; significativo y positivo. Lo cual nos permite proceder con las estimaciones respecto del nivel educativo con una confianza relativamente mayor en nuestro estimador sin necesidad de incluir variables de control.

Notamos que los rezagos de nuestra variable explicativa son positivos en 5 de las 6 especificaciones que contemplamos; a pesar de no ser significativos. Esto también es dicente, ya que puede que (en virtud de que nuestro modelo absorbe los efectos fijos de tiempo) la variación intertemporal de las inversiones en I+D no sea significativa con nuestros datos; pero si muestra indicios de ser positiva; mayormente en la especificación **(6)** dónde el coeficiente está próximo a alcanzar una significancia del 10% con un signo positivo.

Como mencionamos anteriormente, nuestros intentos de utilizar el método de variables instrumentales no tuvieron éxito debido a la naturaleza de los datos. Aún así se efectuará la estimación alternativa propuesta en la sección de metodología., permitiéndonos abordar estas variables que consideramos endógenas intertemporalmente.

Este enfoque se detallará en la Sección **(6.2)**.

6.1.2 Modelo principal-- Empleo Según Nivel Educativo

En esta sección, expondremos y analizaremos los resultados de nuestra estimación principal en el modelo final, donde la variable dependiente representa el nivel educativo promedio de los trabajadores dentro de la empresa. Incluiremos dos estimaciones que consideran el modelo de forma contemporánea (sin rezagos) y con un rezago de dos periodos en términos de la inversión en I+D. Las Tablas **A.4.1** a **A.4.6**, que se encuentran en el anexo, presentan los resultados de nuestra estimación principal, que utiliza efectos fijos de tiempo y empresa. Aunque nuestro modelo final corresponde a la ecuación **(5)**, exploramos observaciones sobre los otros modelos (contemporáneo y con un rezago) o los utilizaremos como referencia, según la situación y su relevancia. Todas las tablas se presentarán al lector. Incluyendo la grafica con los respectivos coeficientes e intervalos de confianza.

En primer lugar, en la Tabla **A.4.1** observamos que las personas con postgrado en el periodo t , cuando se realiza una inversión en I+D, no experimentan un cambio significativo, indicando que ni se contratan más personas ni se producen despidos. Este hallazgo concuerda con la literatura, que sugiere que las personas con ingresos más altos (usualmente las de mayor nivel educativo) se ven afectadas por las inversiones en I+D a través de sus salarios, no mediante despidos. Aunque esta variable no se incluye en nuestro estudio, no podemos hacer inferencias sobre la posible afectación de las personas con este tipo de estudios.

En la Tabla **A.4.2**, observamos que ante la llegada de inversiones en I+D, no hay cambios en la demanda del porcentaje de empleados con pregrado (y/o postgrado) que emplea la empresa en el periodo t . Además, los rezagos de la inversión no afectan la demanda actual de empleo. Este resultado respalda nuestra hipótesis sobre la demanda de personas con postgrado, sugiriendo que las inversiones en I+D en el sector manufacturero no afectan al personal más educado, que constituye menos del 20% del personal promedio por empresa (ver Tabla **A.2.1**).

La Tabla **A.4.3**, que presenta el porcentaje de personas con un título de técnico o tecnólogo (o mayor nivel educativo) demandados por la empresa, muestra un efecto positivo y significativo en la demanda de trabajadores en el modelo sin rezagos de X . Esto sugiere que al iniciar un nuevo proyecto de I+D, es necesario contar con personas calificadas para llevar a cabo el proyecto. En la Tabla **A.4.4**, evaluamos el impacto de una educación de menor intensidad, como los cursos de formación integral del Sena. Estos cursos generan un certificado válido y en muchos casos toman menos de 100 horas en completarse (SENA,

2023). Aunque estos cursos no son frecuentes en el mercado manufacturero; según nuestras estadísticas, para nuestra muestra el 70% de las observaciones no contaban con ningún trabajador que tuviese este título, observamos un efecto positivo en la inversión del periodo t sobre el empleo del periodo t en nuestro modelo principal y el modelo contemporáneo.

Sugerimos que aparentemente las personas con estas titulaciones marcan un punto de quiebre en la demanda laboral en nuestra muestra ya que desde este punto los signos de los coeficientes (a pesar de no ser significantes en muchos casos) comienzan a ser negativos. Lo cual logra mostrar que tener un certificado de educación (indiferente al nivel de complejidad académica) genera un impacto positivo en la demanda laboral.

En la Tabla **A.4.5**, al analizar la demanda del personal con nivel mínimo de estudios de bachillerato, empezamos a observar signos negativos en los coeficientes, especialmente en la estimación que no contempla rezagos de X donde este coeficiente negativo es significativo. Finalmente, la Tabla **A.4.6** muestra los trabajadores cuyo nivel máximo de estudios es la primaria o que no tienen ningún tipo de estudios.

A pesar de la baja participación en el mercado de estos trabajadores, (ya que, mientras que el 95% de nuestras observaciones cuentan con al menos un trabajador que tenga primaria o bachillerato, el 93.5% de nuestras observaciones no cuenta con ningún trabajador que no tenga ningún tipo de educación formal), observamos que el cambio no es diferente de 0, e incluso en nuestro estimador contemporáneo, el coeficiente resulta ser positivo y significativo al 5%.

Nuestros resultados sugieren algo muy interesante y es que probablemente la inversión de I+D en Colombia se ha centrado en productos y no tanto en procesos. Esto ya que no observamos el impacto negativo en los trabajadores menos educados que la literatura ha sugerido en contextos donde la inversión de I+D se dirige a procesos. No obstante, esta sugerencia abre la puerta a futuras investigaciones que no se abordarán en el presente trabajo.

Tabla 3

Resultados Estimaciones método de EFECTOS FIJOS

Variable dependiente: Logaritmo del número de trabajadores totales en la empresa

*Significancia al 10%; **Significancia al 5%; ***Significancia al 1%

	SIN CONTROL			CON CONTROL		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Inversión propia en I+D	.020 (.003)***	.019 (.004)***	.022 (.005)***	.017 (.003)***	.018 (.004)***	.020 (.005)***
Rezagó # 1 Inversión propia en I+D	-	.005 (.004)	.007 (.005)	-	.003 (.004)	.007 (.005)
Rezagó #2 Inversión propia en I+D	-	-	.0001 (.005)	-	-	-.000 (.005)
Inversión bruta de la empresa (control)	-	-	-	.031 (.003)***	.025 (.004)***	.019 (.005)***
Número de observaciones	5092	2507	1514	4411	2312	1448
Número de Firmas	1340	606	358	1116	545	343
R ²	.976	.979	.984	.975	.979	.984
BIC	-2134	-1380	-1258	-1952	-1379	-1252
media & sd variable dependiente	3.5 (1.3)	3.5 (1.3)	3.5 (1.3)	3.5 (1.3)	3.5 (1.3)	3.5 (1.3)

Nota: Las Columnas 1 a 3 contemplan las combinaciones de los rezagos de I+D que se pueden estimar con ningún control. Las columnas 4 a 6 contemplan las combinaciones de los rezagos de I+D que se pueden estimar con 1 variable de control como estimador. Haciendo una comparación mimetizando el estimador de efectos fijos mediante el estimador OLS, donde los coeficientes son iguales a los presentados, observamos que el R² ajustado no es tan alto, sino que el modelo está (posiblemente) sobre ajustado; ya que con esas estimaciones el valor nunca supera el .16 y en promedio era de .12

6.2 Análisis de robustez; estimación alternativa dinámica: SYS GMM

6.2.1 Modelo principal--Empleo general

En esta sección en la tabla 7 presentamos los resultados de las estimaciones de SYS GMM en nuestro modelo principal con las posibles variaciones de los rezagos de Y como de X. En las tablas: **(A.6.1 a A.6.6)** en el anexo podemos ver el ejercicio propuesto por Blundell et al el cual justifica la decisión de este estimador acompañado del texto correspondiente.

Las estimaciones que presentamos consideran únicamente las transformaciones FOD como instrumentos para resolver la endogeneidad presente en $Y_{i,t-1}$, $Y_{i,t-2}$, $X_{i,t-1}$ & $X_{i,t-2}$ esto mediante el estimador de “SYS GMM” dada su bondad con los datos missing.

Emplear las dummies de tiempo brinda una bondad al estimador ya que los resultados permiten capturar y controlar las posibles tendencias temporales. En las estimaciones que contemplan el segundo rezago de empleados vemos que los resultados son acordes a la literatura {Piva and Vivarelli, (2005); Van Reenen's,(1997); Lachenmaier,(2011)} ya que (a pesar de no ser significativos) vemos un signo positivo. Observamos que en nuestra variable de X del periodo “t” vemos que cambia la magnitud del coeficiente (hacia abajo) cuando incluimos rezagos de sí misma y en el caso del modelo **(3)** incluso el signo es negativo aunque no es diferente de 0.

Observamos que, en comparación con nuestro estimador principal de efectos fijos, al superar la endogeneidad presentada en $Y_{i,t-1}$, $Y_{i,t-2}$ y $X_{i,t-1}$ En este modelo dinámico se pierde la significancia que encontramos en la inversión contemporánea de I+D por parte de las empresas sin embargo, reconfirmamos el efecto significativo y positivo que tiene la inversión de I+D aunque para este caso corresponde al periodo “t-1” en la demanda de empleo actual.

Lo confirmamos al analizar principalmente las columnas **(2)** y **(5)** ya que vemos que los resultados son muy similares con Lachenmeier et al (2011) en la tabla 4 columna **(6)** de su investigación y con Bogliacino et al (2012) en la tabla 1 columna **(2)** de su investigación. Sumado a esto, en las columnas **(3)** y **(6)** observamos que el signo del coeficiente es positivo aunque su significancia caiga; tenemos la hipótesis que la significancia cae en virtud del recortado número de periodos que disponemos; dada la naturaleza del tejido empresarial Colombiano.

Un signo positivo que observamos es que en todas nuestras columnas (1) a (6) el coeficiente de nuestra variable de control, al igual que en nuestro estimador de efectos fijos, es significativo y positivo.

En los gráficos A.9.1 a A.9.3 en el apéndice hemos elaborado una simulación impulso respuesta ante un choque del 10% en la inversión de I+D para nuestras especificaciones (2) y (5) de nuestra tabla 3 (modelo contemporáneo estimado por efectos fijos en dos dimensiones) y también para la especificación (2) de nuestra tabla 7 (modelo dinámico estimado por SYS-GMM) hemos tomado esta decisión para comparar ambas estimaciones que resultan en nuestro modelo principal.

Los modelos que no contemplan rezagos de X y también los modelos que contemplan dos rezagos de X no serán tenidos en cuenta para esta comparación. Esto debido al criterio de información bayesiano que empleamos con anterioridad el cual nos brindó confianza en el modelo que únicamente contempla el modelo con un solo rezago de X y que se convirtió en nuestra estimación principal.

7. Conclusiones, Discusión y Recomendaciones de política pública

7.1 Conclusiones

La inversión en investigación y desarrollo, bien sea en productos y/o procesos al interior de las empresas de Colombia en el sector manufacturero, es fundamental para el crecimiento económico y reducción del desempleo. Los resultados de esta investigación muestran que esta inversión tiene un impacto positivo en la demanda laboral de las empresas y la existencia de esta no afecta a los trabajadores con menores niveles de formación académica; empero aparentemente mejora la empleabilidad de aquellos trabajadores con títulos desde técnicos y tecnólogos en adelante. En Colombia, como la literatura ha mostrado en varios países de ingresos altos de Europa; la innovación y la mejora de los procesos productivos aumentan la competitividad de las empresas, lo que a su vez genera un aumento en la demanda de trabajo. Además, la inversión en investigación y desarrollo también puede mejorar la calidad de los empleos, ya que se requiere de trabajadores más capacitados y especializados para llevar a cabo estas actividades.

Tabla 7

SYS GMM,

Variable dependiente: Logaritmo del número de trabajadores totales en la empresa

*Significancia al 10%; **Significancia al 5%; ***Significancia al 1%

	1 REZAGO DE Y			2 REZAGOS DE Y		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Rezago #1 Empleados totales	.776 (.109)***	.862 (.057)***	.895 (.053)***	.669 (.123)***	.836 (.081)***	.735 (.133)***
Rezago #2 Empleados totales	-	-	-	.087 (.061)	.018 (.052)	.155 (.116)
Inversión propia en I+D	.022 (.027)	.004 (.012)	-.000 (.012)	.026 (.026)	.007 (.012)	.003 (.011)
Rezago #1 Inversión propia en I+D	-	.028 (.017)*	.019 (.014)	-	.028 (.016)*	.015 (.012)
Rezago #2 Inversión propia en I+D	-	-	.005 (.009)	-	-	.008 (.009)
Inversión bruta de la empresa (control)	.076 (.031)**	.040 (.015)**	.031 (.016)**	.082 (.0342)**	.040 (.017)**	.032 (.016)**
Número de observaciones	4427	2848	1619	3833	2518	1619
Número de Firmas	1569	1081	514	1423	985	515
AR2(p value)	.138	.108	.977	.083	.123	.465
Hansen (p value)	.261	.216	.371	.342	.214	.328
Periodos Promedio	2.82	2.63	3.15	2.69	2.56	3.15
media & sd variable dependiente	3.5 (1.3)	3.5 (1.3)	3.5 (1.3)	3.5 (1.3)	3.5 (1.3)	3.5 (1.3)

En términos educativos sigue existiendo un vacío sobre el cual, con esta investigación, comenzamos a dar luces pero que se mantiene incierto en Colombia. Este vacío es el posible impacto que tiene la inversión en I+D en los cambios de demanda de trabajadores discriminados educativamente en el sector manufacturero en Colombia. Como autores consideramos y reconocemos nuestros resultados, a pesar de generar unos resultados que dan cuenta de un sentido lógico de lo que puede estar sucediendo en Colombia, no son suficientes ni definitivos para comprender la magnitud ni la envergadura de este fenómeno; por lo cual sugerimos que se construya sobre lo construido y se desarrolle más literatura en este ámbito.

7.2 Limitaciones

Debemos decir que, a pesar de los resultados alentadores obtenidos en esta investigación que respaldan la importancia de la inversión en investigación y desarrollo (I+D) en el sector manufacturero de Colombia, es crucial reconocer ciertas limitaciones que podrían haber influido en la interpretación de los hallazgos. Entre estas están que: los resultados de este estudio se centran específicamente en el sector manufacturero, lo que limita la generalización de las conclusiones a otros sectores de la economía colombiana donde diferentes industrias pueden experimentar impactos variables de la I+D en la demanda laboral, y estas variaciones no han sido abordadas en este estudio. Y, aunque se han examinado los efectos de la I+D en la demanda laboral, es posible que haya otras variables no consideradas que también influyan en la relación entre la inversión en I+D y el empleo y que (como mencionamos en la sección **(5)**) generen un problema de endogeneidad en las estimaciones.

Otro punto relevante que limita nuestra investigación es la posibilidad de que la muestra de datos empleada, al llevarse a cabo la transformación logarítmica presentada en la sección **(5)** y descrita en la tabla **A.2.2**, no capture integralmente la decisión de no invertir en I+D generando un posible sesgo de selección. Esto ya que al aplicar la transformación aquellas empresas que tienen un valor de exactamente cero en dicho rubro se convierte en missing o indeterminado. Y al analizar los datos nos damos cuenta que el número de empleados, así como el grueso de las inversiones son superiores en promedio en las empresas que tienen este valor superior a cero, comparando con el promedio de toda la muestra.

Aún con estas limitaciones, los resultados sugieren fuertemente que la inversión en I+D propia de las empresas, en el sector manufacturero colombiano tiene beneficios significativos en términos de demanda laboral y calidad del empleo. Sin embargo, es fundamental abordar estas limitaciones en futuras investigaciones para obtener una visión más completa y precisa de la relación entre la I+D y el mercado laboral en Colombia.

7.3 Recomendación De Política Pública

Con el fin de impulsar la inversión en investigación y desarrollo (I+D) y, por ende, la tecnificación del mercado colombiano buscando mitigar el desempleo, se plantea la necesidad de que los gobiernos implementen políticas proactivas que incentiven a las empresas a invertir en estas áreas. En particular, en el caso de Colombia, es evidente la ausencia de políticas públicas específicas que impulsen este tipo de inversiones en la nación. La acción pública más reciente en esta línea se remonta a un proyecto de 2017, que aún se encuentra en fase de desarrollo, orientado a apoyar a las empresas en la ciudad de Valledupar para consolidarla como un destino atractivo para la inversión y el desarrollo.

Las políticas sugeridas abarcan la posibilidad de reducir impuestos para aquellas empresas que realicen inversiones en investigación y desarrollo, la implementación de programas de financiamiento destinados a estas actividades y la promoción activa de la colaboración entre empresas y universidades para impulsar la investigación conjunta.

Asimismo, es crucial que los gobiernos inviertan significativamente en la educación y formación de los trabajadores. Nuestra investigación revela una brecha en la inserción laboral que está vinculada con la educación básica. Además, para el caso del sector manufacturero cuando las empresas desarrollan algún tipo de inversión en I+D es sugerido que los trabajadores tengan un título por sobre el nivel de bachillerato de modo tal que estén preparados para desempeñar roles especializados y puedan efectivamente integrarse al mercado laboral. A pesar de que, como se vio evidenciado, estas inversiones no presuponen un riesgo de empleabilidad para los trabajadores menos preparados académicamente.

Para abordar estas necesidades, se sugiere implementar programas de capacitación y fomentar la educación técnica, tecnológica y universitaria. Evidenciamos que los esfuerzos del Sistema Nacional de Aprendizaje (SENA), por más de 50 años, proporcionando servicios educativos titulados a los ciudadanos colombianos han sido fructíferos. Pero es evidente que se requieren acciones adicionales para potenciar estos esfuerzos y cerrar la brecha educativa que persiste en la actualidad y que tiene impactos negativos en el empleo en el sector manufacturero.

BIBLIOGRAFÍA

- Carlaw, Kenneth & Lipsey, Richard. (2003). Productivity, Technology and Economic Growth: What is the Relationship?. *Journal of Economic Surveys*. 17. 457-495.
10.1111/1467-6419.00201. Tomado de:
https://www.researchgate.net/publication/4991813_Productivity_Technology_and_Economic_Growth_What_is_the_Relationship
- Santos, G., Faria, P., Vale, Z., Pinto, T., & Corchado, J. M. (2020). Constrained generation bids in local electricity markets: a semantic approach. *Energies*, 13(15), 3990.
- Emre, E. K. S. İ., & Erçek, M. EVOLUTIONARY MECHANISMS OF IMPRINTING: EVIDENCE FROM TWO CASE STUDIES. *Research Journal of Business and Management*, 6(2), 88-108.
- Autor, D., & Salomons, A. (2017, June). Robocalypse now: Does productivity growth threaten employment. In *Proceedings of the ECB Forum on Central Banking: Investment and Growth in Advanced Economies* (pp. 45-118).
Tomado de:
https://www.ecb.europa.eu/pub/conferences/shared/pdf/20170626_ecb_forum/D_Autor_A_Salomons_Does_productivity_growth_threaten_employment.pdf
- Autor, D., & Salomons, A. (2018). *Is automation labor-displacing? Productivity growth, employment, and the labor share* (No. w24871). National Bureau of Economic Research.
Tomado de:https://www.nber.org/system/files/working_papers/w24871/w24871.pdf
- Coccia, M. (2010). Public and private investment in R&D: complementary effects and interaction with productivity growth. *European Review of Industrial Economics and Policy*, (1). Tomado de:<https://hal.science/hal-03468720/file/eriep.1.6.pdf>
- Erden, L., & Holcombe, R. G. (2005). The Effects of Public Investment on Private Investment in Developing Economies. *Public Finance Review*, 33(5), 575–602.
<https://doi.org/10.1177/1091142105277627>
- Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2019). Automation and new tasks: How technology displaces and reinstates labor. *Journal of Economic Perspectives*, 33(2), 3-30.
Tomado de:<https://pubs.aeaweb.org/doi/pdfplus/10.1257/jep.33.2.3>
- Rodríguez, N. S. (2021). Cambio tecnológico y el mercado laboral: aportes para la identificación de las ocupaciones emergentes en Colombia.
Tomado de:https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46655/1/S2000774_es.pdf
- Rendimiento de Maíz en Estados Unidos por año (toneladas por hectárea)*. (n.d.). Tomado de:<https://www.indexmundi.com/agriculture/?pais=us&producto=maiz&variable=rendimiento&l=es>

The Long-Term Impact of Technology on Employment and Unemployment. (1983, January 1). National Academies Press eBooks. <https://doi.org/10.17226/19470>.

Indicator Rankings & Analysis | Global Innovation Index. (n.d.). Global Innovation Index. Tomado de: <https://www.globalinnovationindex.org/analysis-indicator>.

Seker, M., & Saliola, F. (2018, March 1). *A cross-country analysis of total factor productivity using micro-level data*. Central Bank Review; Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.cbrev.2018.01.001>

Total Factor Productivity at Constant National Prices for Colombia. (2023, February 27). <https://fred.stlouisfed.org/series/RTFPNACOA632NRUG>

Saliola, F., & Seker, M. (2011). *Total factor productivity across the developing world* (No. 68273, pp. 1-8). The World Bank. Tomado de: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/646931468157519398/pdf/682730BRI0ESN00LIC00Productivity023.pdf>

Global Innovation Index | Innovation Trends and Report 2022. (n.d.). <https://www.globalinnovationindex.org/gii-2022-report#>

Economy Comparison | Global Innovation Index. (n.d.). Global Innovation Index. <https://www.globalinnovationindex.org/analysis-comparison>

Indicator Rankings & Analysis | Global Innovation Index. (n.d.). Global Innovation Index. <https://www.globalinnovationindex.org/analysis-indicator>.

Narvaez, C. C. M. (2022). *Automation and the Labor Market: Evidence from Technological Change in Colombia, 2009-2017* (Master dissertation, Universidad del Rosario Bogotá-Colombia). Tomado de: <https://repository.urosario.edu.co/server/api/core/bitstreams/d4925f02-0c79-4671-8013-aeba548c854b/content>

Barrios, F., Castellanos, M., Álvarez, D. & Riveros, M. (2022). The Impact of new technologies on wages in Colombia: An analysis with Quality-of-life survey. *Panorama Económico*, 30(3), 140-. DOI: <https://doi.org/10.32997/pe-2022-4214>

Real Colegio Complutense. (2023, January 1). Knowledge, Technology and Complexity in Economic Growth. Tomado de: <https://rcc.harvard.edu/knowledge-technology-and-complexity-economic-growth>

Technology, Vintage-Specific Human Capital, and Labor Displacement: Evidence from Linking Patents with Occupations Leonid Kogan, Dimitris Papanikolaou, Lawrence D. W. Schmidt, and Bryan Seegmiller. NBER Working Paper No. 29552 (diciembre 2021), Revised August 2022 JEL No. J01,J24,J3,N3,N6,O3,O4. Tomado de: https://www.nber.org/system/files/working_papers/w29552/w29552.pdf

World Bank. (2020). *Doing business 2020: Economy profile: Colombia*. The World Bank.
Tomado de: <https://www.doingbusiness.org/content/dam/doingBusiness/country/c/colombia/COL.pdf>

Confecámaras. (2023, 6 de enero). Más de 310 mil empresas se crearon en Colombia en 2022. Tomado de: <https://confecamaras.org.co/noticias/865-mas-de-310-mil-en-empresas-se-crearon-en-colombia-en-2022>

Diario Estrategia. (2023, 7 de enero). B. Central: número de empresas nuevas en Chile cayó 14,7% en 2022.
Tomado de: <https://www.diarioestrategia.cl/texto-diario/mostrar/4201852/b-central-numero-empresas-nuevas-chile-cayeron-147-2022>

Chile: Economía y demografía 2023. (s. f.-b). Datosmacro.com.
Tomado de: <https://datosmacro.expansion.com/paises/chile>

Colombia: Economía y Demografía 2023. (s. f.). Datosmacro.com.
Tomado de: <https://datosmacro.expansion.com/paises/colombia#:~:text=Colombia%2C%20con%20una%20poblaci%C3%B3n%20de,45%20habitantes%20por%20Km2.>

Rating: Calificación de la deuda de Chile 2023. (s. f.). Datosmacro.com.
Tomado de: <https://datosmacro.expansion.com/ratings/chile>

Rating: Calificación de la deuda de Colombia 2023. (s. f.). Datosmacro.com.
Tomado de: <https://datosmacro.expansion.com/ratings/colombia>

Siglo, E. N. (s. f.). De cada 10 empresas que se crean en Bogotá, 7 cierran. El Nuevo Siglo.
Tomado de: <https://www.elnuevosiglo.com.co/articulos/08-12-2022-de-cada-10-empresas-que-se-crean-7-cierran>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (s.f.). OECD.Stat. Capítulo Sector Público, impuestos y regulación de mercado / Impuestos / Bases de datos impuestos/ Tabla II. 1 Estatuto para grabar los ingresos corporativos, visitado en agosto 2023.
Tomado de: https://stats.oecd.org/index.aspx?DataSetCode=Table_III

PWC. (2023). Corporate income tax (CIT) rates. Tomado de: <https://taxsummaries.pwc.com/quick-charts/corporate-income-tax-cit-rates>

Wisevoter. (2023, 21 junio). Corporate tax Rate by Country 2023 - Wisevoter. Tomado de: <https://wisevoter.com/country-rankings/corporate-tax-rate-by-country/>

Portafolio. (2023, 16 enero). Entre septiembre y noviembre de 2022 hubo 13,09 millones de informales. Portafolio.co.

Tomado de:

<https://www.portafolio.co/economia/informalidad-laboral-en-colombia-2022-576942>

Especiales, I. (2020, 14 marzo). Bavaria, una compañía que transforma a Colombia. EL HERALDO. Tomado de:

<https://www.elheraldo.co/informes-institucionales/bavaria-una-compania-que-transforma-colombia-708518>

Sistema General de Regalías - SGR - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022, 10 enero). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Tomado de:

<https://www.minambiente.gov.co/planeacion-y-seguimiento/sistema-general-de-regalias-sgr/>

Justia Colombia: Constitución Política de Colombia > TÍTULO I :: Ley de Colombia. (s. f.). Tomado de :

<https://colombia.justia.com/nacionales/constitucion-politica-de-colombia/titulo-i/#:~:text=Art%C3%ADculo%201%20ARTICULO%201%C2%BA%E2%80%94Colombia, personas%20que%20la%20integran%20y>

Coccia, Mario. (2010). Public and Private Investment in R&D: Complementary Effects and Interaction with Productivity Growth: Public policies, organizations and performance. Page 64: Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica en la industria manufacturera (EDIT) 2019-2020 - Ficha Metodológica. Tomado de:

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/edit/boletin_EDIT_manufacturera_2019_2020.pdf

Page 2: Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica en la industria manufacturera (EDIT) 2019-2020 - Introducción. Tomado de:

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/edit/boletin_EDIT_manufacturera_2019_2020.pdf

¿Qué es el Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación - FCTEI del. (s. f.). MinCiencias.

Tomado de: https://minciencias.gov.co/ocad_fctei/fondo-fctei-sgr/que-es

Narasimhan, S. (2023). 4 reasons why your business should invest in technology. Hurix Digital. Tomado de:

<https://www.hurix.com/reasons-why-your-business-should-invest-in-technology/>

Kris. (2022). Advantages of investing in technology for your business. *TFOT*. Tomado de:

<https://thefutureofthings.com/16651-advantages-of-investing-in-technology-for-your-business/>

WinMan. (2021, 30 Marzo). The advantages of continuous investment in technology.

Winman. Tomado de:

<https://www.winman.com/blog/the-advantages-of-continuous-investment-in-technology>

Jyrki Ali-Yrkkö, J. A.-Y. with ETLA (2005). Impact of public R&D financing on private R&D does financial constraint matter? *EUROPEAN NETWORK OF ECONOMIC POLICY RESEARCH INSTITUTES WORKING PAPER NO. 30*, HPSE-CT-1999-00004. Tomado de: http://aei.pitt.edu/6736/1/1195_30.pdf

Núñez, A. G. (2022, 21 junio). Gobierno anunció que la emergencia sanitaria por el Covid terminará el 30 de junio. Diario La República. Tomado de: <https://www.larepublica.co/economia/gobierno-anuncio-que-la-emergencia-sanitaria-por-el-covid-terminara-el-30-de-junio-3388683>

Fíonta, & Fíonta. (2023). Public and private R&D are complements, not substitutes. Tax Foundation. Tomado de: <https://taxfoundation.org/blog/private-rd-public-rd-investment/>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)(2021, 23 de abril). (s.f.). Boletín técnico, Encuesta Ambiental Industrial 2019p. Tomado de: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/EAI/2019/bol_EAI_2019.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)(2020, 4 de diciembre). (s.f.). Boletín técnico, Encuesta Anual Manufacturera 2019. Tomado de: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/eam/boletin_eam_2019.pdf

Lachenmaier, L., & Rottmann, R. (2011). Effects of innovation on employment: A dynamic panel analysis. *Elsevier B.V. All rights reserved*, 29, Pg.210-220. O30 L60 C23 J23.

Bogliacino, F., Piva, M., & Vivarelli, M. (2012). R&D and employment: An application of the LSDVC estimator using European microdata. *Elsevier B.V.*, 116. Pg. 56-59.

Evangelista, R., Vezzani, A., & Oxford University Press on behalf of Associazione ICC. (2011). The impact of technological and organizational innovations on employment in European firms. *Industrial and Corporate Change*, 21(4). Pg.871–899.

Hall, H. H., Lotti, F., Mairesse, J., & Oxford University Press on behalf of Associazione ICC. (2008). Employment, innovation, and productivity: evidence from Italian microdata. *Industrial and Corporate Change*, 17(4). Pg.813–839. <https://doi.org/10.1093/icc/dtn022>.

Cirera, C., Sabetti, S., & y Oxford University Press on behalf of Associazione ICC. (2019). The effects of innovation on employment in developing countries: evidence from enterprise surveys. *Industrial and Corporate Change*, 28(1), Pg.161-176. <https://doi.org/10.1093/icc/dty061>

Organization for Economic Co-operation and Development. (2000). Science, technology and innovation in the new economy. Policy Brief. <https://www.oecd.org/science/inno/1918259.pdf>

Prieto-Ñáñez, F. M. (2019). A residual infrastructure: The rise and obsolescence of big satellite television dishes in Colombia (Doctoral dissertation). University of Illinois . Tomado de: <https://escholarship.org/uc/item/5gj9n8jv>

Johan Schot, W. Edward Steinmueller, Three frames for innovation policy: R&D, systems of innovation and transformative change, *Research Policy*, Volume 47, Issue 9, 2018, Pg. 1554-1567, ISSN 0048-7333. Tomado de : <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.08.011>

Colombia - Information and Communication Technology (ICT). (s. f.). International Trade Administration | Trade.gov. Tomado de: <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/colombia-information-and-communication-technology-ict>

Fernández, C. F. (2018). Informalidad empresarial en Colombia. *FEDESARROLLO*, Working paper No. 76.

Tomado de:

https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/3698/WP_2018_No_76.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Existen%20pocas%20fuentes%20para%20estimar,agregado%2C%20en%20las%20%20C3%A1reas%20urbanas.

DANE - Encuesta Anual Manufacturera (EAM). (s. f.). Tomado de:

<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/industria/encuesta-anual-manufacturera-enam>

DANE - Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica (EDIT). (s. f.). Tomado de:

<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/tecnologia-e-innovacion/encuesta-de-desarrollo-e-innovacion-tecnologica-edit>

DANE - Encuesta Ambiental Industrial (EAI). (s. f.). Tomado de:

<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/ambientales/encuesta-ambiental-industrial-eai>

Euphorianet. (s. f.). *Fábricas de productividad - Colombia productiva*. Tomado de:

<https://www.colombiaproductiva.com/fabricasdeproductividadysostenibilidad>

Colombia Potencia de la Vida & Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2023). Términos y Condiciones Fábricas de Productividad y Sostenibilidad - Ciclo 5. Ejecutado por *Colombia Productiva*. Tomado de:

<https://www.colombiaproductiva.com/PTP/media/documentos/F%20c3%a1bricas%20de%20Productividad/Terminos-y-Condicioness-Fabricas-de-Productividad-y-Sostenibilidad.pdf>

En el Día Mundial de la Productividad, Gobierno Nacional presenta programa para que 2.250 empresas sean más productivas y sostenibles | MINCIT. (s. f.). MINCIT. Tomado de

<https://www.mincit.gov.co/prensa/noticias/industria/fabricas-de-productividad-y-sostenibilidad-2023>

Colombia Potencia de la Vida. (2021, 11 agosto). *Proyecto de compra pública de Innovación*. Ministerio de Transporte. Tomado de: <https://mintransporte.gov.co/publicaciones/10126/proyecto-de-compra-publica-de-innovacion/>

Mikko Rönkkö. (2020, 15 junio). *Arellano-Bond approach to dynamic panel models* [Video]. Tomado de: YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=OAqk-VAAEWA>

Boston College. (s. f.). *Dynamic Panel Data estimators* [Diapositivas; Slides PDF 2013]. EC 823: Applied Econometrics. Tomado de : <http://fmwww.bc.edu/EC-C/S2013/823/EC823.S2013.nm05.slides.pdf>

Roodman D. (2009): How To Do xtabond2: An Introduction to “Difference” and “System” GMM in Stata

Roodman D. (2014): Xtabond2: Stata Module to Extend xtabond Dynamic Panel Data Estimator. Statistical Software Components

Adeleye et al., (2017): The Role of Institutions in the Finance-Inequality Nexus in Sub-Saharan Africa. *Journal of Contextual Economics*. 137 (2017), 173 – 192

Mileva, E. (2007): Using Arellano – Bond Dynamic Panel GMM Estimators in Stata

Ejemeyovwi, J. O., and Osabuohien, E. S. (2018): Investigating the Relevance of Mobile Technology Adoption on Inclusive Growth in West Africa. *Contemporary Social Science*. doi:10.1080/21582041.2018.1503320

Lucio, R. (1978). *Fundación para la Educación Superior y El Desarrollo. 20 años del SENA en Colombia 1957-1977*. Bogotá. Presencia.

UNESCO. (2005). *Hacia las Sociedades del Conocimiento*. París.

UNESCO. (2016). *Orientaciones para la Elaboración de Políticas Docentes en América Latina y el Caribe*. París.

Blundell, R., Griffith, R., & Windmeijer, F. (2002). Individual effects and dynamics in count data models. *Journal of econometrics*, 108(1), 113-131.

Blundell, R., & Bond, S. (2000). GMM estimation with persistent panel data: an application to production functions. *Econometric reviews*, 19(3), 321-340.

Blundell, R., Duncan, A., & Meghir, C. (1998). Estimating labor supply responses using tax reforms. *Econometrica*, 827-861.

Blundell, R., & Bond, S. (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of econometrics*, 87(1), 115-143.

Formación profesional integral. (s. f.). Tomado de <https://www.sena.edu.co/es-co/comunidades/instructores/Paginas/escuelaInstructores.aspx#:~:text=La%20Formaci%C3%B3n%20Profesional%20Integral%20es,t%C3%A9cnico%20de%20los%20trabajadores%20colombianos%3B>

Avance Jurídico Casa Editorial Ltda. (s. f.). *Normograma del SENA [ACUERDO_ SENA_0012_1985]*. Avance Jurídico Casa Editorial Ltda., SENA. Servicio Nacional de Aprendizaje. Tomado de: https://normograma.sena.edu.co/docs/acuerdo_sena_0012_1985.htm#:~:text=La%20formaci%C3%B3n%20Profesional%20Integral%20es,la%20toma%20de%20decisiones%20sociales.

Fundamentación de la Formación Profesional Integral con Base en Competencias. (s. f.). Sena Virtual. Recuperado 27 de octubre de 2023, de https://webterritorium.s3.amazonaws.com/SENA/pag_sena/pagina_catalogo/enlaces_catalogo/documentos/pedagogia/fundamentacion_formacion_profesional_integral_base_competencias.pdf

Bruno, G.S.F., 2005a. Approximating the bias of the LSDV estimator for dynamic unbalanced panel data models. *Economics Letters* 87, 361–366.

Bruno, G.S.F., 2005b. Estimation and inference in dynamic unbalanced panel data models with a small number of individuals. *Stata Journal* 5, 473–500.

Invertir en empresas de tecnología en etapa inicial lo que necesita saber - FasterCapital. (s. f.). FasterCapital. Tomado de: <https://fastercapital.com/es/contenido/Invertir-en-empresas-de-tecnologia-en-etapa-inicial-Lo-que-necesita-saber.html>

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. (2017). *Registro Multimedia*. MAPAINVERSIONES. Tomado de: <https://mapainversiones.dnp.gov.co/Home/FichaProyectosMenuAllUsers?Bpin=2017002200>

APÉNDICE

Gráficas

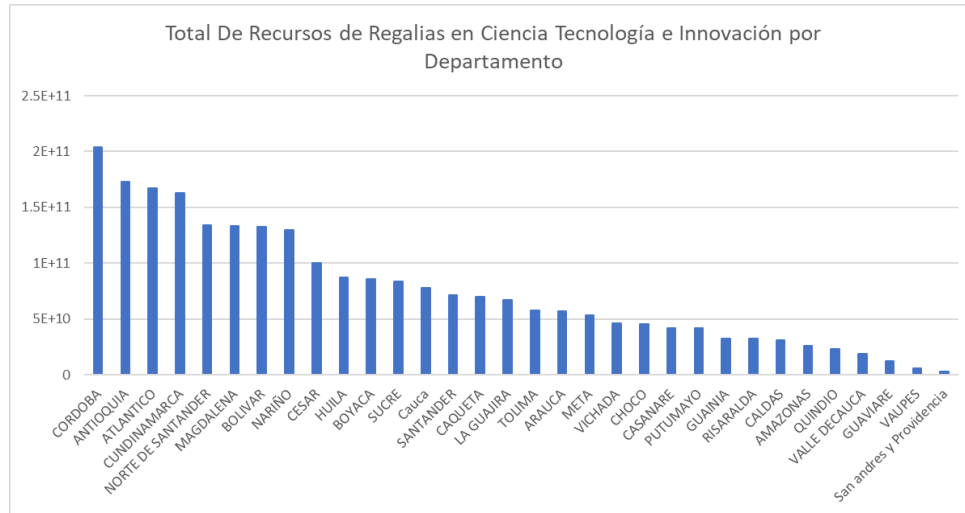


Gráfico A.4, Fuente: Elaboración propia, Datos: DNP-MINISTERIO DE HACIENDA

HISTOGRAMA EN NIVELES DEL PERSONAL OCUPADO

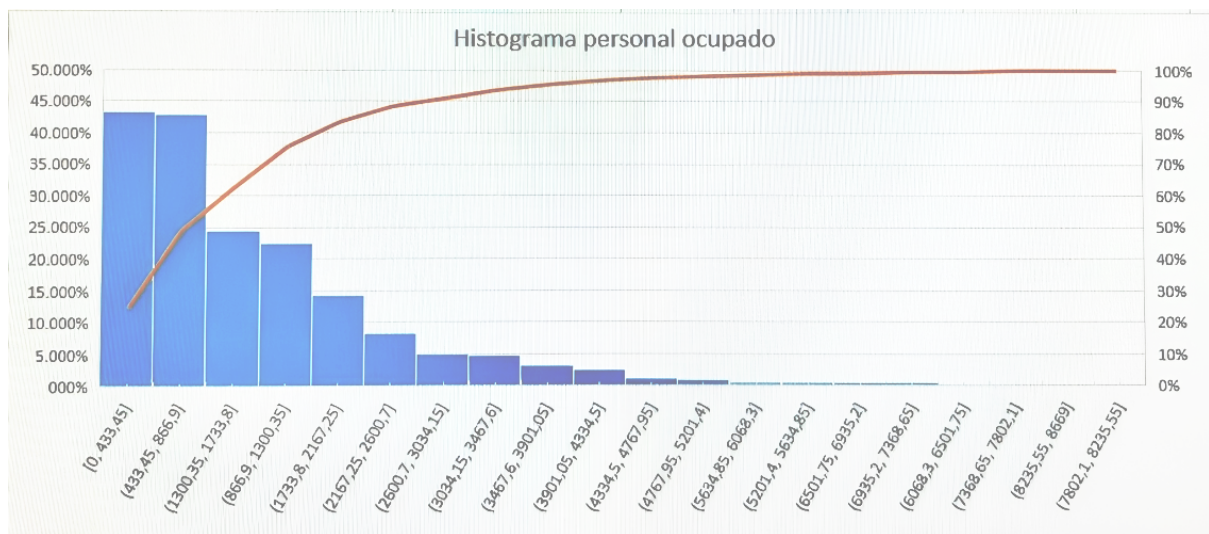


Gráfico A.5, Fuente: Elaboración Propia Datos: EDIT EAM

HISTOGRAMA EN LOGARITMOS DEL PERSONAL OCUPADO

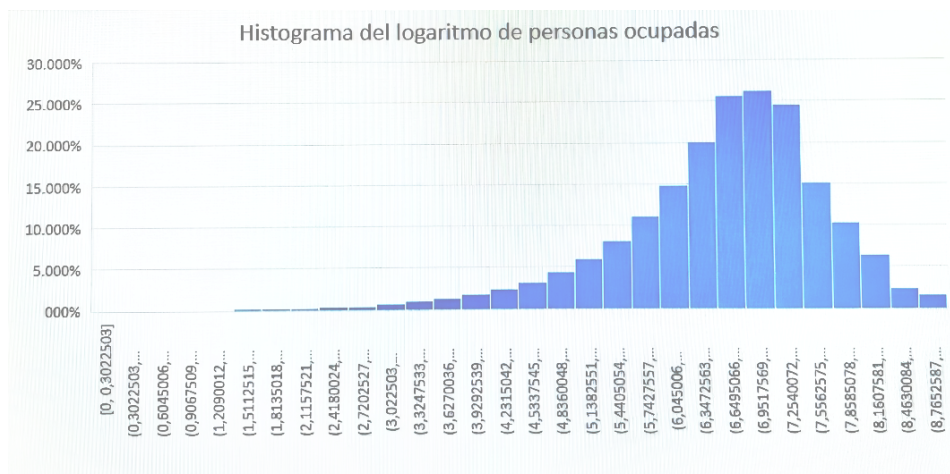


Gráfico A.6, Fuente: Elaboración Propia Datos: EDIT EAM

HISTOGRAMA EN NIVELES DE LA INVERSIÓN PROPIA EN I+D

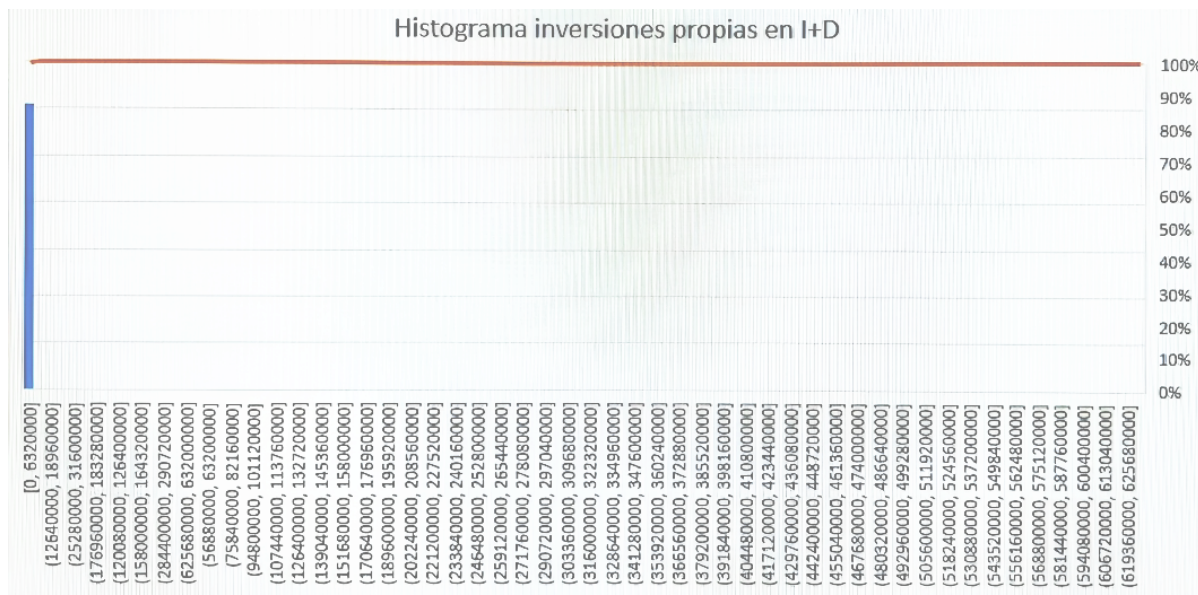


Gráfico A.7.1, Fuente: Elaboración Propia Datos: EDIT EAM

HISTOGRAMA EN LOGARITMOS DE LA INVERSIÓN PROPIA EN I+D

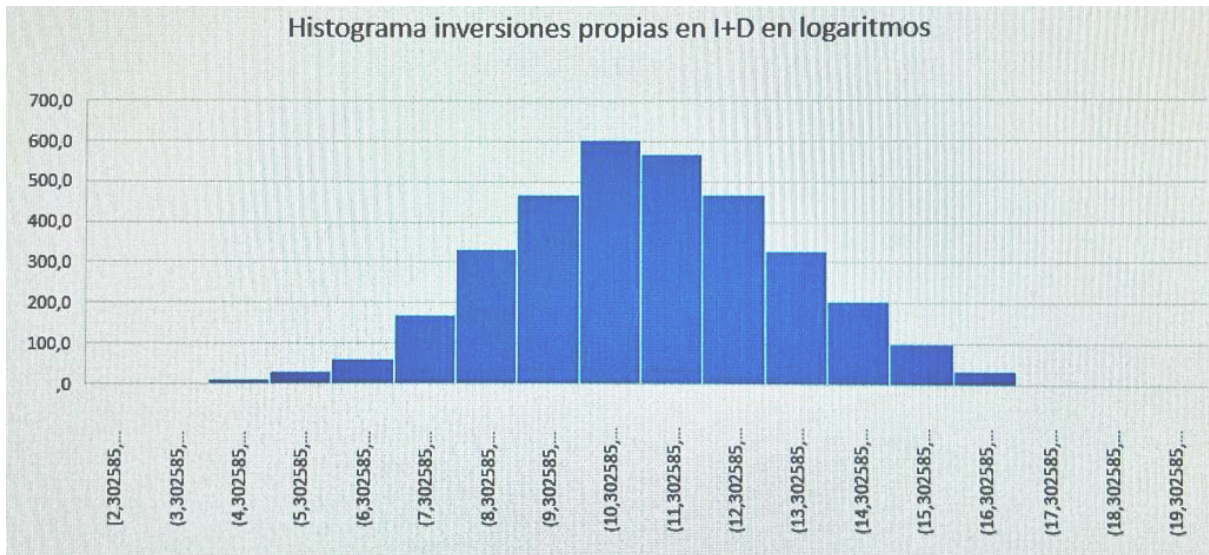


Gráfico A.8.1, Fuente: Elaboración Propia Datos: EDIT EAM

HISTOGRAMA EN LOGARITMOS DE LA INVERSIÓN PROPIA EN I+D

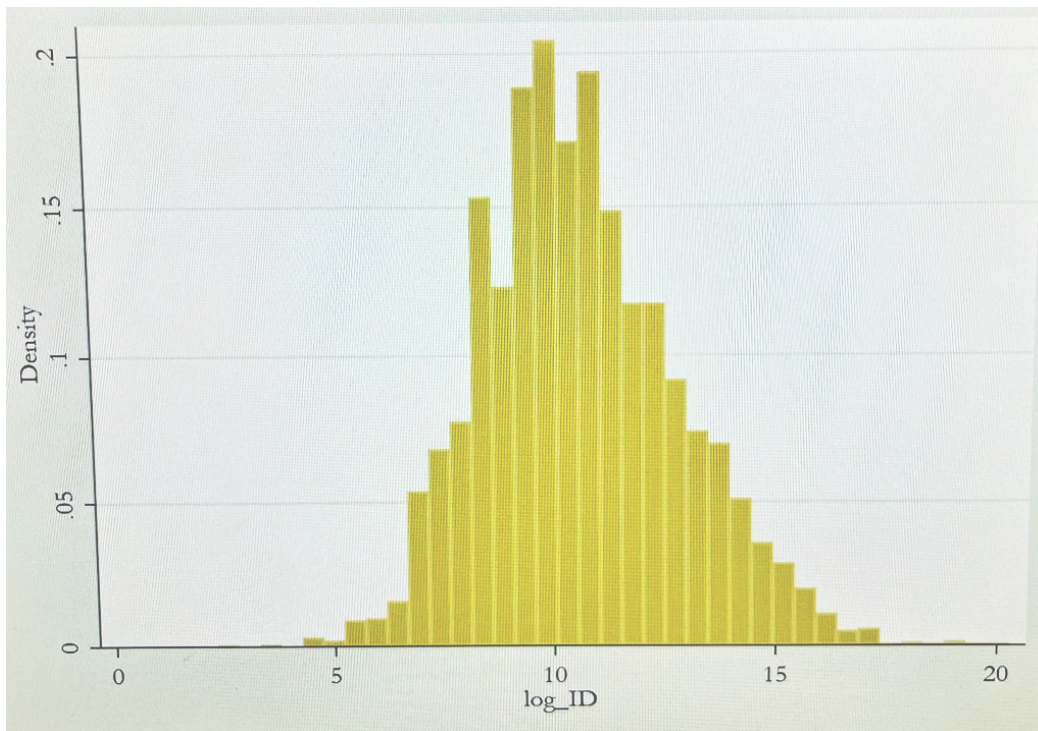


Gráfico A.8.2, Fuente: Elaboración Propia Datos: EDIT EAM

SIMULACIÓN IMPULSO RESPUESTA MODELO CONTEMPORÁNEO SIN CONTROL

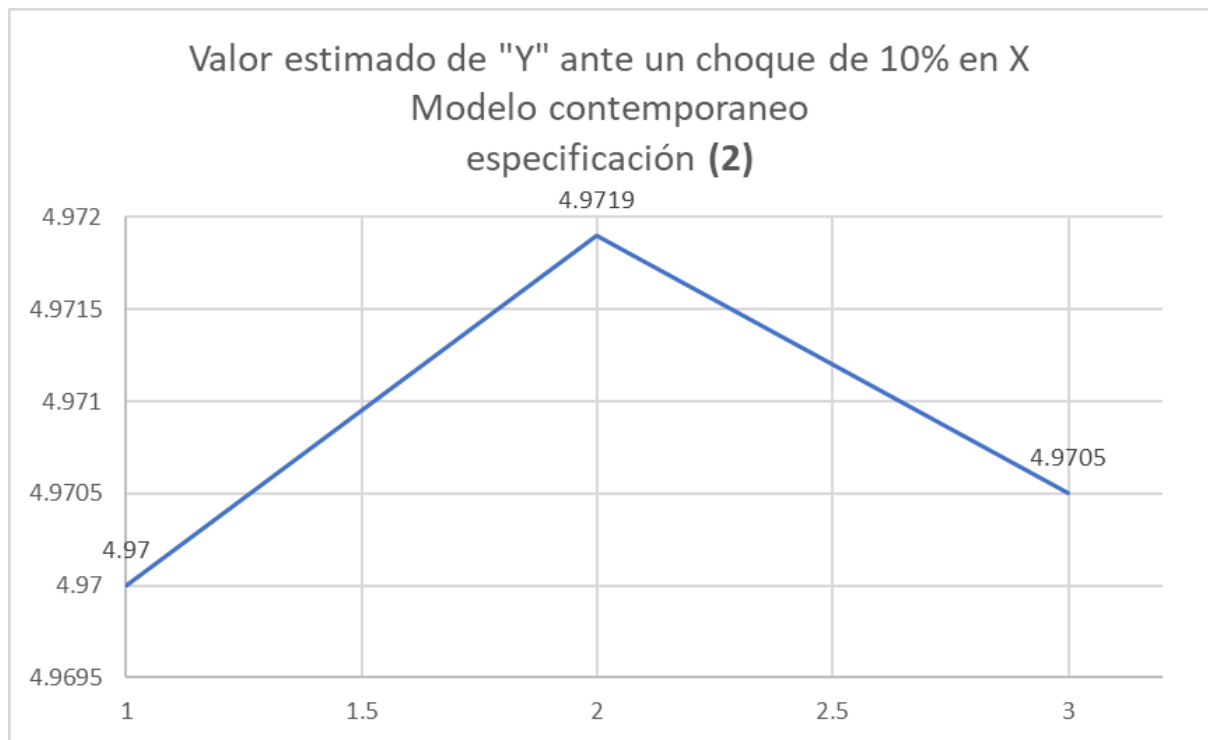


Gráfico A.9.1, Fuente: Elaboración Propia Datos: Resultados del autor.

SIMULACIÓN IMPULSO RESPUESTA MODELO CONTEMPORÁNEO CON CONTROL

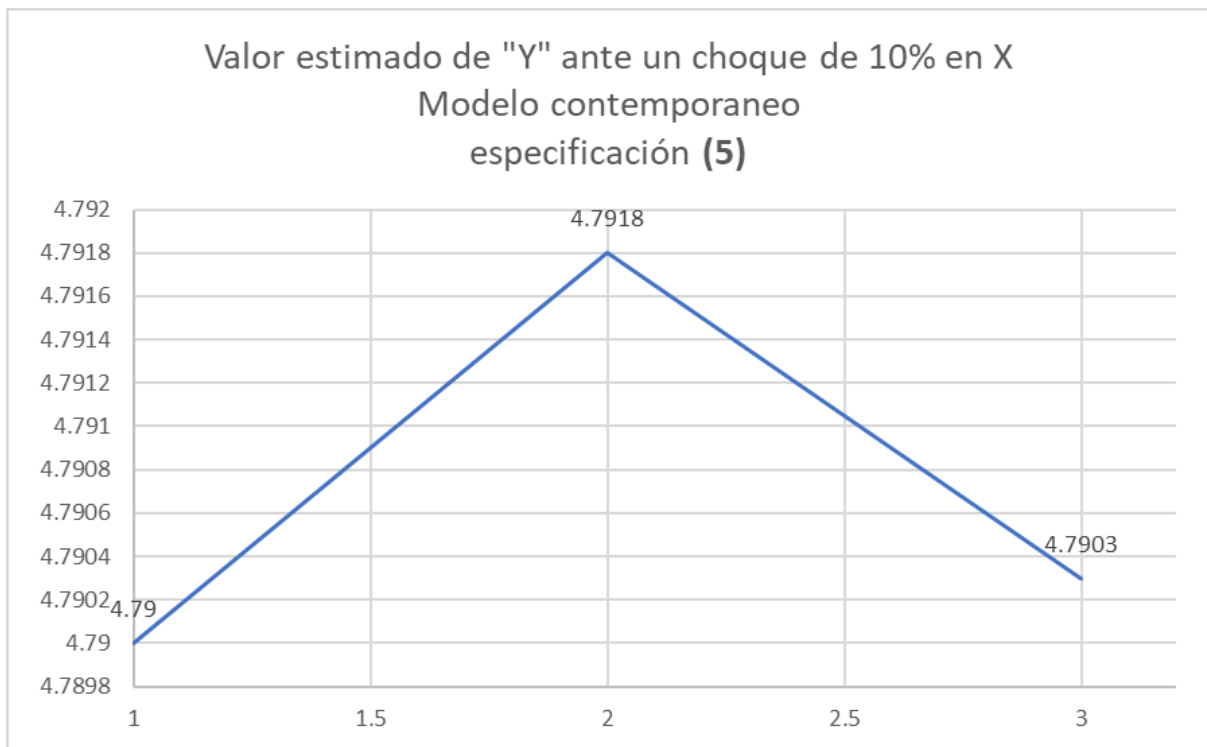


Gráfico A.9.2, Fuente: Elaboración Propia Datos: Resultados del autor.

SIMULACIÓN IMPULSO RESPUESTA MODELO DINAMICO CON CONTROL

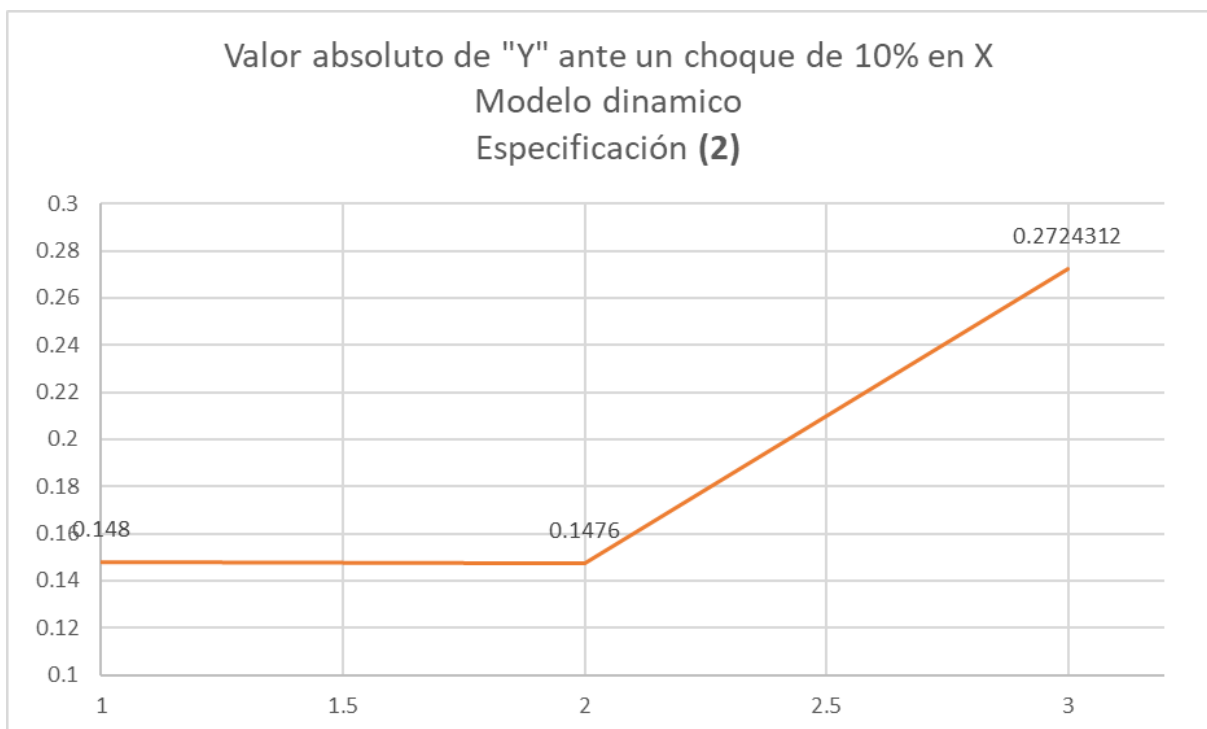


Gráfico 9.3, Fuente: Elaboración Propia Datos: Resultados del autor

Tablas

TABLA A.1 REFERENCIAS TEÓRICAS; AUTOR A AUTOR:

	Autor	Año	País Origen	Contexto	Resultados
Razones por las cuáles podría cambiar la demanda laboral como respuesta a la tecnología	Kogan et al	2022	USA/ MIT	<p>Busca analizar la manera en que se ven afectados los trabajadores de forma negativa cuando nueva tecnología llega a las industrias.</p> <p>Analiza este fenómeno en diferentes tipos de labores a lo largo de varias décadas</p>	Los trabajadores que se encuentran tanto en la parte inferior como en la parte superior de la distribución de ingresos son desplazados en virtud de nuevos adelantos tecnológicos
	Lachenmeier & Rottmann	2011	Alemania	Buscan estimar el efecto de la innovación sobre el empleo a nivel de empresa	<p>Muestran que los efectos que tienen mayores grados de inversión en procesos son positivos en la demanda laboral dentro de la empresa.</p> <p>Sin embargo, cuando la innovación se trata de productos, aparentemente hay un efecto positivo pero no es significativo.</p> <p>Concluyendo así que aún con sus esfuerzos los resultados frente a este tipo de inversiones en I+D no son concluyentes.</p>
	Francesco Bogliacino, Mariacristina Piva, Marco Vivarelli	2012	Holanda	Intentan evaluar el impacto de los gastos en I+D sobre el empleo en un contexto europeo; Dado que el aumento de la I+D es uno de los principales objetivos de la política económica europea.	El efecto favorable a la mano de obra de las inversiones en I+D emerge claramente como estadísticamente significativo, aunque no de gran magnitud. Donde hay diferencias marcadas por sectores

<p>Razones por las cuáles podría cambiar la demanda laboral como respuesta a la tecnología</p>	<p>Xavier Cirera and Leonard Sabetti</p>	<p>2019</p>	<p>USA</p>	<p>Arroja luz sobre el impacto directo de la innovación tecnológica y organizacional en el crecimiento del empleo a nivel empresarial utilizando una muestra global de más de 15.000 empresas en países en desarrollo.</p>	<p>La innovación de productos, cuando logra generar ventas adicionales a la empresa, tiene un impacto directo positivo en el empleo en el corto plazo. La innovación organizacional no parece tener ningún impacto en los cambios en el empleo, cuando se considera sola o cuando se implementa con la innovación de productos. Lo mismo ocurre con la innovación de procesos, que no parece impactar en el empleo, incluso considerando la introducción de procesos de automatización.</p>
	<p>Moreno</p>	<p>2022</p>	<p>Colombia</p>	<p>Estudian las diferencias en los mercados laborales para ocupaciones con diferentes riesgos de automatización y cómo la automatización real puede inducir cambios en los salarios y el empleo. Usando datos de Colombia entre 2009 y 2017</p>	<p>Encuentran que el 62% de las personas ocupadas en Colombia corren un alto riesgo de automatización. Además, el 71% de los trabajadores informales están en alto riesgo, mientras que el 56% de los trabajadores formales lo están. Finalmente, señalan que la Educación actúa como un mecanismo de protección frente a las nuevas tecnologías de automatización.</p>
<p>Razones por las cuáles podría cambiar la demanda laboral como respuesta a la tecnología</p>	<p>Barrios et al</p>	<p>2022</p>	<p>Colombia</p>	<p>Evaluaron el impacto del uso de nuevas tecnologías en los salarios y los años de educación de los colombianos, con base en la Encuesta de Calidad de Vida en Colombia de 2018.</p>	<p>Muestran que el uso de la computadora, laptop, tablet, internet, archivos transferidos, etc, para el aprendizaje; tiene un impacto positivo en los salarios de los colombianos. Ya que indirectamente el acceso a tecnología por parte de los trabajadores implica mayores grados de educación de calidad</p>

	Salomons & Autor	2018	USA	<p>Presentan un enfoque empírico para mapear los efectos del progreso tecnológico a nivel industrial para agregar resultados de empleo y participación laboral, teniendo en cuenta tanto los efectos directos del crecimiento de la productividad en las industrias en avance y los efectos indirectos de los vínculos de la demanda entre industrias, el cambio de composición entre industrias y los aumentos de la demanda final.</p>	<p>Indican que estos efectos indirectos son considerables y compensan el empleo.</p> <p>Y también encuentran que el progreso tecnológico está aumentando ampliamente el empleo en conjunto.</p> <p>Pero esto no es así en el caso de la participación del trabajo en el valor agregado, donde dominan los efectos directos de desplazamiento de la mano de obra.</p>
	Eksi & Ercek	2019	Turquía	<p>El propósito de esta investigación radica en aportar al campo de la geografía económica evolutiva, mediante la creación de un marco teórico integral que pueda explicar de manera sintética la dinámica evolutiva de los grupos regionales. Este marco teórico amalgama principios de la teoría de la impronta multinivel y el darwinismo general, con el objetivo de modelar la interacción compleja entre los factores hereditarios y los influenciadores ambientales.</p>	<p>Muestran que, dada la naturaleza de los casos que estudian, y al ser una industria creativa, el importante papel de los cambios en las trayectorias tecnológicas y los efectos de la difusión del conocimiento entre las empresas. No es sorprendente para explicar la evolución de las regiones.</p>

Fuentes para la elaboración: Eksi & Ercek, 2019; Salomons & Autor, 2018; Barrios et al, 2022; Moreno, 2022; Cicera & Sabetti, 2019; Bogliaccino et al, 2012; Lachenmeier y Rottmann, 2011; Kogan et al, 2022

Tabla A.2.1-- Estadísticas Descriptivas

	PERIODO						
	2008	2009-2010	2011 2012	2013 2014	2015 2016	2017 2018	2019
Media							

Mediana							

S D							

Empleados totales	145.69354	140.5699	146.91002	155.8327	184.25484	193.77403	205.04262

	29	26	26	28	36	38	43

	444.20837	451.2283	459.08344	477.87946	515.39807	498.58746	510.37485

Postgrado	5.400341	6.000653	6.503508	7.329396	8.264148	8.499584	9.898303

	0	0	0	0	0	0	0

	41.38788	39.26931	49.01405	65.49434	55.15733	34.67612	36.18567

Pregrado	22.107504	20.673941	26.456583	24.611597	28.33132	29.552576	27.669647

	3	3	2	3	3	4	4

	105.92648	95.296555	151.8956	109.16885	106.29955	92.557022	78.07354

T & T	36.86903	31.36241	32.53015	34.32456	40.41287	50.27599	50.54282

O							

Trabajadores	3	3	3	3	5	6	7

avalados por el							

SENA	192.0368	165.1015	131.7642	134.9233	132.2191	156.6098	147.2341

Bachillerato ó	81.31667	82.5329	81.41978	89.56715	107.2465	105.4459	116.9319

menos	18	18	18	19	24	24	25

	213.0142	232.6265	219.6725	268.3133	314.7173	278.3171	320.0031

***Nota: La tabla nos muestra la forma en que se distribuye el número de empleados a lo largo de la muestra y del mismo modo las 4 agrupaciones que hemos definido para comprender la composición académica. En promedio, para los 11 años que consideramos hay 167 trabajadores por empresa. Esto nos muestra la disparidad de datos dada la desviación estándar y lo lejos que la media se encuentra de la mediana. ***

Tabla A.2.2-- Estadísticas Descriptivas

Variable de interés	media	sd	p(10)	p(50)	p(90)	num obs
Log Inversión I+D interna	10.5	2.21	8.00	10.37	13.65	5856
Log inversiones brutas	11.33	2.40	8.14	11.37	14.4	63421
Log personal ocupado	3.48	1.30	2.07	3.29	5.25	98822
Inversión en I+D interna	144940	4.5e+06	0	0	22200	33099
Inversiones brutas	980044	2.2e+07	0	12503	952148	98445
Promedio de personas con postgrado	.019	.04	0	0	.06	98352
Promedio de personas con postgrado y/o pregrado	.14	.14	0	.10	.31	98352
Promedio de personas con tecnico, tecnologo y/o postgrado y/o pregrado	.29	.24	.05	.23	.64	98352

Promedio de personas avaladas por el sena y/o con tecnico, tecnologo y/o postgrado y/o pregrado	.31	.25	.06	.25	.69	98352
Promedio de con bachillerato y/o personas avaladas por el sena y/o con tecnico, tecnologo y/o postgrado y/o pregrado	.83	.24	.42	.98	1	98352
Promedio de personas con primaria o ningún tipo de estudios	.16	.24	0	.016	.57	98352

***Nota: La tabla nos muestra la forma en que se distribuyen a lo largo de nuestra muestra todas nuestras variables de interés y sus respectivas transformaciones en logaritmos y/o promedios. Como podemos ver hay muchas empresas que no invierten en I+D. Sin embargo la transformación logarítmica supera este posible problema de muchos ceros ya que los descarta y únicamente contempla empresas que invierten en I+D un valor superior a 0.

Los valores de las inversiones en niveles están dados en términos de miles de pesos (cop).****

Tabla A.4.1

Resultados estimaciones , FE,

Variable dependiente: Promedio de personas con Postgrado

Inversión propia en I+D	.000 (.000)	-.000 (.000)	-.000 (.000)
Rezago # 1 Inversión propia en I+D	-	.000 (.000)	.000 (.000)
Rezago #2 Inversión propia en I+D	-	-	-.000 (.000)
Número de observaciones	5092	2507	1514
Número de Firmas	1340	606	358
R ²	.746	.736	.786
BIC	-22662	-10984	-6852
media & sd variable dependiente	.019 (.04)	.019 (.04)	.019 (.04)

Nota: La variable dependiente está dada en términos de promedio respecto del total de empleos de la empresa; ergo su valor está entre 0 y 1

Significancia al 10%; **Significancia al 5%; *Significancia al 1%.*

Tabla A.4.2

Resultados estimaciones, FE,

Variable dependiente: Promedio de personas con Pregrado y/o postgrado

	FE	FE	FE
Inversión propia en I+D	.001 (.000)	-.000 (.000)	-.000 (.000)
Rezago # 1 Inversión propia en I+D	-	.000 (.000)	.000 (.000)
Rezago #2 Inversión propia en I+D	-	-	.000 (.000)
Número de observaciones	5092	2507	1514
Número de Firmas	1340	606	358
R ²	.811	.810	.824
BIC	-14793	-7272	-4525
media & sd variable dependiente	.14 (.14)	.14 (.14)	.14 (.14)

Nota: La variable dependiente está dada en términos de promedio respecto del total de empleos de la empresa; ergo su valor está entre 0 y 1*Significancia al 10%; **Significancia al 5%; ***Significancia al 1%.

Tabla A.4.3

Resultados estimaciones, FE,

Variable dependiente: Promedio de personas con Técnico / Tecnólogo y/o pregrado y/o postgrado

Inversión propia en I+D	.003 (.001**)	.000 (.000)	-.001 (.002)
Rezago # 1 Inversión propia en I+D	-	.000 (.000)	.001 (.002)
Rezago #2 Inversión propia en I+D	-	-	-.002 (.002)
Número de observaciones	5092	2507	1514
Número de Firmas	1340	606	358
R ²	.763	.760	.786
BIC	-9553	-4783	-6852
media & sd variable dependiente	.29 (.24)	.29 (.24)	.29 (.24)

Nota: La variable dependiente está dada en términos de promedio respecto del total de empleos de la empresa; ergo su valor está entre 0 y 1

*Significancia al 10%; **Significancia al 5%; ***Significancia al 1%.

Tabla A.4.4

Resultados estimaciones, FE,

Variable dependiente: Promedio de personas Avaladas por el SENA y/o Técnico / Tecnólogo y/o pregrado y/o postgrado

Inversión propia en I+D	.002 (.001)	.000 (.002)	-.002 (.002)
Rezagó # 1 Inversión propia en I+D	-	.000 (.002)	.000 (.002)
Rezagó #2 Inversión propia en I+D	-	-	-.003 (.002)
Número de observaciones	5092	2507	1514
Número de Firmas	1340	606	358
R ²	.758	.761	.794
BIC	-9251	-4716	-3168
media & sd variable dependiente	.31 (.25)	.31 (.25)	.31 (.25)

Nota: La variable dependiente está dada en términos de promedio respecto del total de empleos de la empresa; ergo su valor está entre 0 y 1
*Significancia al 10%; **Significancia al 5%; ***Significancia al 1%

Tabla A.4.5

Resultados estimaciones, FE,

Variable dependiente: Promedio de personas con estudios de Bachillerato y/o Avaladas por el SENA y/o Técnico / Tecnólogo y/o pregrado y/o postgrado

Inversión propia en I+D	-.002 (.001)**	-.001 (.001)	.000 (.001)
Rezagó # 1 Inversión propia en I+D	-	-.000 (.001)	-.001 (.001)
Rezagó #2 Inversión propia en I+D	-	-	-.002 (.001)
Número de observaciones	5092	2507	1514
Número de Firmas	1340	606	358
R ²	.713	.686	.638
BIC	-12920	-6871	-4594
media & sd variable dependiente	.83 (.24)	.83 (.24)	.83 (.24)

Nota: La variable dependiente está dada en términos de promedio respecto del total de empleos de la empresa; ergo su valor está entre 0 y 1

*Significancia al 10%; **Significancia al 5%; ***Significancia al 1%.

Tabla A.4.6

Resultados estimaciones, FE,

Variable dependiente: Promedio de personas con primaria y/o sin ningún tipo de estudio

	FE	FE	FE
Inversión propia en I+D	.002 (.001)**	.001 (.001)	-.000 (.001)
Rezago # 1 Inversión propia en I+D	-	.000 (.001)	.001 (.001)
Rezago #2 Inversión propia en I+D	-	-	.002 (.001)
Número de observaciones	5092	2507	1514
Número de Firmas	1340	606	358
R ²	.713	.686	.638
BIC	-12920	-6871	-4594
media & sd variable dependiente	.16 (.24)	.16 (.24)	.16 (.24)

Nota: La variable dependiente está dada en términos de promedio respecto del total de empleos de la empresa; ergo su valor está entre 0 y 1
*Significancia al 10%; **Significancia al 5%; ***Significancia al 1%.

Tabla A.6.1

Resultados estimaciones OLS, FE, DIFF GMM, SYS GMM- EJERCICIO BLUNDEL & BOND

Variable dependiente: Logaritmo del número de trabajadores totales en la empresa

¿Incluye rezago de x?:NO-;

	OLS	FE	DIFF-GMM	SYS-GMM
Rezago #1 Empleados totales	.942 (.005)***	.418 (.038)***	.460 (.101)***	.776 (.109)***
Rezago #2 Empleados totales	-	-	-	-
Número de observaciones	4427	4427	2858	4427
Número de Firmas	-	1569	998	1569

Tabla A.6.2

Resultados estimaciones OLS, FE, DIFF GMM, SYS GMM- EJERCICIO BLUNDEL & BOND

Variable dependiente: Logaritmo del número de trabajadores totales en la empresa

¿Incluye rezago de x?: SI-; ¿cuántos?:1

	OLS	FE	DIFF-GMM	SYS-GMM
Rezago #1 Empleados totales	.964 (.004)***	.525 (.036)***	.459 (.088)***	.862 (.057)***
Rezago #2 Empleados totales	-	-	-	-
Número de observaciones	2848	2848	1767	2848
Número de Firmas	-	1081	545	1081

Tabla A.6.3

Resultados estimaciones OLS, FE, DIFF GMM, SYS GMM- EJERCICIO BLUNDEL & BOND

Variable dependiente: Logaritmo del número de trabajadores totales en la empresa

¿Incluye rezago de x ? SI-; ¿cuántos?: 2

	OLS	FE	DIFF-GMM	SYS-GMM
Rezago #1 Empleados totales	.974 (.005)***	.474 (.063)***	.318 (.108)**	.895 (.053)***
Rezago #2 Empleados totales	-	-	-	-
Número de observaciones	1619	1619	1105	1619
Número de Firmas	-	514	343	514

Tabla A.6.4

Resultados estimaciones OLS, FE, DIFF GMM, SYS GMM- EJERCICIO BLUNDEL & BOND

Variable dependiente: Logaritmo del número de trabajadores totales en la empresa

¿Incluye rezago de x ? NO

	OLS	FE	DIFF-GMM	SYS-GMM
Rezago #1 Empleados totales	.857 (.031)***	.412 (.043)***	.388 (.105)***	.669 (.123)***
Rezago #2 Empleados totales	.092 (.029)**	.031 (.040)	.235 (.099)**	.087 (.061)
Número de observaciones	3833	3833	2410	3833
Número de Firmas	-	1423	827	1423

Tabla A.6.5

Resultados estimaciones OLS, FE, DIFF GMM, SYS GMM- EJERCICIO BLUNDEL & BOND

Variable dependiente: Logaritmo del número de trabajadores totales en la empresa

¿Incluye rezago de x ?:SI-; ¿cuántos?:1

	OLS	FE	DIFF-GMM	SYS-GMM
Rezago #1 Empleados totales	.945 (.017)***	.588 (.031)***	.439 (.096)***	.836 (.081)***
Rezago #2 Empleados totales	.026 (.017)	-0.054 (.039)	.061 (.088)	.018 (.052)
Número de observaciones	2518	2518	1533	2518
Número de Firmas	-	985	470	985

Tabla A.6.6

Resultados estimaciones OLS, FE, DIFF GMM, SYS GMM- EJERCICIO BLUNDEL & BOND

Variable dependiente: Logaritmo del número de trabajadores totales en la empresa

¿Incluye rezago de x ?:SI-; ¿cuántos?:2

	OLS	FE	DIFF-GMM	SYS-GMM
Rezago #1 Empleados totales	.915 (.028)***	.495 (.059)***	.303 (.112)**	.735 (.133)***
Rezago #2 Empleados totales	.059 (.027)**	-0.051 (.052)	.029 (.128)	.155 (.116)
Número de observaciones	1619	1619	1105	1619
Número de Firmas	-	514	343	514

TEXTO

A.4.3 Encuesta Anual Manufacturera

La Encuesta Anual Manufacturera (EAM) en Colombia es una operación censal anual que proporciona información clave sobre el sector manufacturero del país. Su objetivo principal es comprender la estructura, evolución y características de esta industria, así como determinar la composición de la producción y el uso de materias primas.

La encuesta abarca todo el territorio nacional y utiliza un directorio actualizado que incluye establecimientos de años anteriores, aquellos con cambios en actividad o ubicación desconocida, y nuevos hallazgos a través de diversas fuentes. Para ser incluido, un establecimiento debe cumplir con criterios como estar clasificado como industrial y tener al menos diez empleados o un valor de producción superior al umbral anual (usualmente 500 millones de pesos mcte).

La supervisión se realiza mediante el Índice de No Imputación Central (INIC), que asegura la relación entre las fuentes de cobertura y las esperadas. En 2019, este índice alcanzó una cobertura del 97.3%, lo que respalda la confiabilidad de los análisis debido al tamaño de la muestra, que incluyó 7,631 establecimientos industriales.

A.4.4 Encuesta de desarrollo y tecnología (EDIT)

La EDIT proporciona datos clave sobre la implementación de innovaciones en productos y procesos, inversión en actividades científicas y tecnológicas, financiamiento, personal relacionado con la innovación, relaciones con actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, propiedad intelectual y certificaciones de calidad. Esta encuesta es una extensión de la encuesta EAM y, por lo tanto, cuenta con un tamaño de muestra suficiente para garantizar una representatividad del 99% con un margen de error menor al 5% de la encuesta EAM.

Se lleva a cabo cada dos años, enfocándose en la innovación y el desarrollo tecnológico, y en 2019-2020 involucró a 6,799 empresas del sector manufacturero en Colombia, con un mínimo de 10 empleados o un valor de producción anual superior a \$539 millones de pesos en 2019, logrando una cobertura del 97.1%.

A.4.5 Encuesta ambiental industrial (EAI)

La Encuesta Anual de Industria (EAI) se realiza anualmente desde 2008 hasta 2022 y tiene como objetivo proporcionar información actualizada sobre inversión, costos, gastos relacionados con la protección ambiental, gestión de recursos, generación de residuos sólidos, manejo del recurso hídrico y herramientas de gestión ambiental en la industria manufacturera colombiana.

La muestra de la encuesta incluye industrias manufactureras consolidadas en Colombia, pertenecientes a grupos de divisiones industriales según la CIIU Rev. 4 A.C., con un personal ocupado de al menos 10 empleados o ingresos superiores a 500 millones de pesos. La EAI se basa en el directorio de la Encuesta Anual Manufacturera.

En 2019, la cobertura alcanzó el 98.9%, con un 1.1% de no respuesta. Los resultados se presentan desglosados geográficamente a nivel nacional y regional, así como temáticamente según las divisiones industriales de la CIIU Rev.4 A.C. a dos dígitos.

Las tablas **A.2.1** y **A.2.2** en el anexo nos muestra las características de la media, la mediana y la desviación estándar para el total de empleados y su nivel educativo.

A.5.2.1 Elección y Justificación System GMM

Blundell y Bond (1998, 2000) proponen un enfoque para seleccionar entre las estimaciones de DIFF GMM y SYS GMM. Inicialmente, se realiza una regresión de "Pool OLS" tradicional para evaluar los rezagos de la variable dependiente, considerando el coeficiente de estos rezagos como el sesgo superior del coeficiente. Luego, se emplea una estimación con efectos fijos, donde el nuevo coeficiente de estos rezagos se considera el sesgo inferior del coeficiente.

De esta manera, se obtienen límites superior (OLS) e inferior (FE) para los coeficientes. En una tercera etapa, se utiliza una estimación de "DIFF GMM" para evaluar los coeficientes de los mismos rezagos de la variable dependiente, y si están más cercanos al estimador de "FE", se prefiere la estimación de "SYS GMM".

En nuestro caso específico, como evidencian las Tablas 6.1 a 6.6, optamos por los resultados de las estimaciones de SYS GMM. En nuestra metodología, seguimos las propuestas de GMM de Arellano, Bond, Bover y Blundell en distintos periodos. Estas estimaciones pueden emplear transformaciones ortogonales de los rezagos como instrumentos, estimadas mediante el método generalizado de los momentos (GMM).

Las técnicas, conocidas como "Difference Generalized Method of Moments" (DIFF GMM) y "System Generalized Method of Moments" (SYS GMM), según sus siglas en inglés, han sido propuestas en estudios previos (Arellano y Bond, 1991; Arellano y Bover, 1995; Blundell y Bond, 1998).

La elección de estas estimaciones alternativas se fundamenta en la estructura específica de nuestros datos de panel y en los resultados presentados en las Tablas A.6.1 a A.6.6. Estos métodos son adecuados para nuestro caso, ya que estamos tratando con un modelo de panel dinámico autorregresivo en el cual el número de años (T) es menor que el número de empresas (N).

El estimador "DIFF GMM" utiliza las primeras diferencias como instrumentos en niveles mediante el método GMM, magnificando las brechas en los paneles desbalanceados, como es nuestro caso. Por otro lado, el "SYS GMM" permite utilizar una transformación ortogonal de las desviaciones (FOD) propuesta por Arellano y Bover (1995), la cual resta el promedio de todas las observaciones futuras disponibles del valor actual. Esta transformación es computable para todos los periodos, incluso en presencia de datos faltantes o brechas en el panel, excepto en el último periodo, que se descarta. Ambas técnicas ofrecen una solución robusta al problema de endogeneidad que surge al emplear un análisis de panel dinámico.

¡GRACIAS!