

La difusión de la inteligencia artificial en una economía emergente

Evidencia a nivel de la empresa en Colombia

Autores:

Magaly Faride Herrera Giraldo
Juan Miguel Gallego Acevedo
Luis Hernando Gutiérrez Ramírez
Fernando Vargas
Mariano Pereira

Banco Interamericano de Desarrollo
Sector de Instituciones para el Desarrollo
División de Competitividad, Tecnología e Innovación

Diciembre 2024

La difusión de la inteligencia artificial en una economía emergente

Evidencia a nivel de la empresa en Colombia

Autores:

Magaly Faride Herrera Giraldo, Consultora independiente, Bogotá (Colombia)

Juan Miguel Gallego Acevedo, Universidad del Rosario, Bogotá (Colombia)

Luis Hernando Gutiérrez Ramírez, Universidad del Rosario, Bogotá (Colombia)

Fernando Vargas, Banco Interamericano de Desarrollo, UNU-MERIT y Universidad de Maastricht

Mariano Pereira, Universidad Nacional de General Sarmiento

Banco Interamericano de Desarrollo
Sector de Instituciones para el Desarrollo
División de Competitividad, Tecnología e Innovación

Diciembre 2024



**Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo**

La difusión de la inteligencia artificial en una economía emergente: evidencia a nivel de la empresa en Colombia / Magaly Faride Herrera Giraldo, Juan Miguel Gallego Acevedo, Luis Hernando Gutiérrez Ramírez, Fernando Vargas, Mariano Pereira. p. cm. — (Nota técnica del BID ; 3067) Incluye referencias bibliográficas. 1. Industrial productivity-Effect of technological innovations on-Latin America. 2. Industrial productivity-Effect of technological innovations on-Colombia. 3. Artificial intelligence-Industrial applications-Latin America. 4. Artificial intelligence-Industrial applications-Colombia. I. Herrera Giraldo, Magaly Faride. II. Gallego, Juan Miguel. III. Gutierrez, Luis H. IV. Vargas, Fernando. V. Pereira, Mariano. VI. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Competitividad, Tecnología e Innovación. VII. Serie. IDB-TN-3067

Códigos JEL: D22, L60, O33

Palabras clave: inteligencia artificial, industria manufacturera, adopción de tecnología

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2024 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons CC BY 3.0 IGO (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/legalcode>). Se deberá cumplir los términos y condiciones señalados en el enlace URL y otorgar el respectivo reconocimiento al BID.

En alcance a la sección 8 de la licencia indicada, cualquier mediación relacionada con disputas que surjan bajo esta licencia será llevada a cabo de conformidad con el Reglamento de Mediación de la OMPI. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil (CNUDMI). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Nótese que el enlace URL incluye términos y condiciones que forman parte integral de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta obra son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del BID, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Resumen

La inteligencia artificial (IA) tiene el potencial de revolucionar las industrias en todo el mundo, ofreciendo nuevas oportunidades para la innovación y la eficiencia. Al igual que con las recientes olas tecnológicas, se espera que su difusión sea desigual entre países, sectores y empresas. Estudiar este fenómeno se dificulta en América Latina y el Caribe, porque la información sobre la adopción de IA en la región es aún muy limitada. Este estudio aborda esta brecha al ofrecer la primera caracterización exhaustiva de la adopción de IA en las empresas manufactureras colombianas. Al fusionar tres encuestas nacionales de estadística, construimos un panel de datos de 12.765 empresas industriales para los años 2019 y 2020. Se muestra que 6% de las empresas manufactureras ha adoptado alguna forma de IA, cifra cercana al 50% de la tasa de adopción del sector manufacturero de Estados Unidos. Nuestros resultados revelan una adopción heterogénea entre subsectores y regiones. Al igual que lo observado en otros países de mayor ingreso, las empresas más grandes tienen mayor probabilidad de adoptar IA. Por su parte, las empresas más jóvenes son especialmente activas en el desarrollo de tecnologías de IA. Nuestros hallazgos también resaltan el papel clave de activos complementarios como las capacidades gerenciales y de innovación en la adopción de IA. Este estudio proporciona resultados novedosos sobre el desarrollo tecnológico en el sector manufacturero colombiano y ofrece una base para intervenciones políticas que promuevan la adopción de IA.

Introducción

El vertiginoso aumento de las capacidades de la inteligencia artificial (IA) ha desatado promesas de un rápido e inaudito crecimiento de la productividad. El extendido entusiasmo por la IA como motor del crecimiento se produce tras décadas de estancamiento económico (Filippucci *et al.*, 2024). Mientras que en las economías de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) la tasa de crecimiento de la productividad cayó desde aproximadamente un 2% anual entre las décadas de 1970 y 1990 hasta el 1% en la década de 2000 (Goldin, Koutroumpis, Lafond *et al.*, 2024), en los países de América Latina y el Caribe (ALC), la baja productividad ha sido el principal factor detrás del bajo crecimiento económico (Fernández-Arias y Rodríguez-Apolinar, 2016).

La literatura concuerda en que la IA podría incrementar la productividad, pero no existe consenso en cuanto a los niveles en que esto podría ocurrir. Acemoglu (2024), por ejemplo, sostiene que las capacidades actuales de la IA solo pueden generar aumentos moderados de la productividad a nivel macro durante la próxima década. Por otro lado, Korinek y Suh (2024) identifican escenarios de crecimiento exponencial de la economía, principalmente a partir de los efectos de la IA en la innovación y el progreso tecnológico.

La literatura indica dos canales principales a través de los cuales la IA puede afectar la productividad. El primero es el uso directo de la IA en la producción de bienes y servicios (Brynjolfsson, Rock y Syverson, 2017). El segundo es el efecto de la IA en la innovación y la producción de ideas (Aghion, Jones y Jones, 2019; Cockburn, Henderson y Stern, 2019). No obstante, aún no existe evidencia clara de ambos efectos (Czarnitzki, Fernández y Rammer, 2023). La escasez de evidencia sobre el efecto de la IA en el desempeño económico se debe tanto a su emergente difusión como a la falta de datos que caractericen la adopción de IA en las empresas (Raj y Seamans, 2019), especialmente fuera de Estados Unidos.

Este trabajo contribuye a cerrar esta brecha, analizando de manera exhaustiva diferentes aspectos vinculados a la adopción de IA entre las empresas manufactureras de Colombia. Esta investigación es la primera en describir cómo se adopta la IA al interior de las empresas en un país de ALC, caracterizando además la tipología de la empresa adoptante y la industria, y la región donde opera. Los resultados de este trabajo aportan evidencia empírica novedosa sobre la difusión de la IA en empresas de países de ingreso medio y ayuda a cerrar la brecha de conocimiento sobre las características de adopción de IA a nivel global. En particular, siguiendo a McElheran, Li, Brynjolfsson *et al.* (2024), se abordan tres preguntas: i) ¿quiénes adoptan la IA en el sector manufacturero? ii) ¿dónde se está efectuando la adopción?, y iii) ¿cuáles son los factores asociados y potenciales que determinan la adopción?

Para responder estas preguntas se utilizan datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) de Colombia, empalmando los microdatos de tres relevamientos nacionales: i) la Encuesta Anual Manufacturera

(EAM); ii) la Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica (EDIT), y iii) la Encuesta de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (ENTIC). El resultado de esta labor arrojó una base de datos que incluye 12.765 empresas de la industria manufacturera que cubre el bienio 2019-20.

La industria manufacturera de Colombia ha disminuido progresivamente su participación en la economía, a lo que muchos llaman un proceso de desindustrialización (Buendía Pastrana, Osorio Mass, Rangel Bolaños *et al.*, 2017). Por ejemplo, en el período 2005-16, la manufactura representaba el 9,3% del producto interno bruto (PIB), mientras que en el período 2016-22 la cifra disminuyó a 7%. La pérdida de productividad del sector y la ausencia de políticas efectivas que la fomenten son explicaciones posibles de esta desaceleración relativa. Comprender el papel de los posibles habilitadores de productividad, como se espera que lo sea la adopción de IA, es fundamental para la industria manufacturera en un país emergente como Colombia.

Este trabajo muestra que en Colombia la tasa de adopción de IA es de 6,1% entre las empresas industriales. De ellas, un 2,2% son empresas que desarrollan IA propia, mientras que un 4,4% adquiere aplicaciones desarrolladas por terceros. La evidencia señala un conjunto de hechos estilizados, hasta el momento desconocidos, sobre la adopción empresarial de IA en Colombia. Estos se encuentran en línea con la evidencia de otros países de mayor ingreso, a saber: i) una adopción heterogénea entre sectores y regiones; ii) una relación positiva entre el tamaño de la empresa y la adopción de IA; iii) un uso más sofisticado de IA en las empresas más jóvenes, y iv) la coocurrencia de la adopción de IA con la presencia de activos intangibles complementarios como las capacidades gerenciales y de innovación. Estos resultados mejoran nuestra comprensión sobre los factores determinantes de la adopción de IA en las empresas de ALC, generando insumos para las políticas orientadas a promover la difusión de IA en el sector privado.

Este trabajo se convierte en el primero en ofrecer una caracterización exhaustiva de la adopción empresarial de IA en un país de ALC. Contribuye además a un cuerpo de literatura incipiente que identifica los primeros hechos estilizados de la difusión de IA en las empresas (Calvino y Fontanelli, 2023b, 2023a; Czarnitzki *et al.*, 2023; McElheran *et al.*, 2024) y aporta al conocimiento de la adopción y apropiación de la IA como tecnología de propósito general. A partir de este trabajo surgen nuevas preguntas de investigación relacionadas principalmente con el impacto de la IA en el desempeño empresarial, en particular en los países de ingreso medio.

El resto del estudio se estructura de la siguiente manera. En la primera sección se ofrece una revisión de los hallazgos que existen hasta el momento vinculados a la caracterización de las empresas que adoptan IA. En la segunda sección se presenta la base de datos y se ofrece una estadística descriptiva que arroja resultados preliminares. En la tercera sección se abordan las preguntas de investigación. Por último, en la cuarta sección se discuten los resultados y se identifica un conjunto de hechos estilizados.

1. Revisión de la literatura: Evidencia sobre el uso de la inteligencia artificial en empresas

En los últimos años se ha verificado un acelerado aumento en las capacidades de la inteligencia artificial (IA) medido a través de diferentes indicadores técnicos de desempeño (Maslej, Fattorini, Perrault *et al.*, 2024). Los avances han desatado tanto el entusiasmo por la capacidad de la IA para impulsar el crecimiento económico como la preocupación por el destino de los trabajadores en un mundo en el que las nuevas tecnologías pueden llevar a cabo muchas de las funciones que realizan los humanos (Acemoglu, 2024; Filippucci *et al.*, 2024; Jones, 2023).

En la última década, una extensa literatura sostiene que la adopción y uso de tecnología por parte de las empresas impacta significativamente en los mercados laborales y la economía (Acemoglu *et al.*, 2022; Agrawal *et al.*, 2019; Brynjolfsson *et al.*, 2019; Brynjolfsson y Mitchell, 2017; Gallego, Gutiérrez, *et al.*, 2015; Haller y Siedschlag, 2011). Sin embargo, la medición del uso de la IA a nivel de la empresa se ha retrasado considerablemente y, por ende, es poca la evidencia disponible acerca de la difusión y el impacto de la IA en las empresas¹. Raj y Seamans (2019) abogan por una recopilación más sistemática de datos sobre el uso de estas tecnologías a nivel empresarial, y tras realizar una exhaustiva revisión de la literatura sobre IA, concluyen que el uso de estadísticas agregadas a nivel de industria o país no permite conducir estudios en profundidad sobre la caracterización de las empresas que adoptan IA y las condiciones bajo las cuales la IA puede impactar en el desempeño a nivel de la empresa.

La escasez de evidencia empírica sobre la difusión de la IA en el ámbito empresarial puede atribuirse a una asincronía entre la rápida adopción de estas tecnologías y la capacidad de las oficinas estadísticas para capturar el fenómeno a causa de la pandemia de COVID-19. Esta hipótesis se sustenta en dos observaciones que es necesario vincular: primero, los indicadores proxy de adopción de IA en el ámbito empresarial –tales como las tendencias en la oferta de empleo relacionadas con IA y los patrones de inversión corporativa en IA (Maslej, Fattorini *et al.*, 2024)– sugieren que una integración significativa de la IA habría ocurrido entre 2017 y 2020 (véase el capítulo 4 en Maslej, Fattorini *et al.*, 2024); segundo, la irrupción de la pandemia de COVID-19 en 2020 afectó la capacidad de respuesta de los sistemas estadísticos nacionales para ejecutar estudios de campo que permitan medir la adopción de IA.

Ante la falta de microdatos a nivel de la empresa, los investigadores interesados en estudiar los efectos de la IA adoptaron diferentes estrategias para identificar parcialmente a las empresas adoptantes²: i) registros de propiedad intelectual

¹ La pandemia de COVID-19 contribuyó a este retraso, ya que coincidió con un aumento en la adopción de tecnologías digitales a la vez que se demoraban o suspendían las actividades de investigación de estos temas.

² Los primeros trabajos empíricos sobre IA utilizaban datos sobre robots, ya que la automatización mediante robots utiliza cada vez más las tecnologías de IA. Sin embargo, no toda la automatización robótica depende de la IA, y los robots que emplean IA representan solo una pequeña proporción del uso total de esta tecnología en las empresas.

para identificación de patentes relacionadas con IA (Alderucci, Branstetter, Hovy *et al.*, 2020; Damioli, Van Roy y Vertesy, 2021; Damioli, Van Roy, Vertesy *et al.*, 2024; Yang, 2022); ii) anuncios de inversión en la bolsa de valores vinculados a tecnologías relacionadas con la IA (El Moujahid, Murtinu y Sekerci, 2023; Fotheringham y Wiles, 2023; Ho, Gan, Jin *et al.*, 2022), y iii) ofertas de empleo relacionadas con la IA (Acemoglu *et al.*, 2022; Alekseeva, Azar, Giné *et al.*, 2021; Babina, Fedyk, He *et al.*, 2023; Babina, Fedyk, He *et al.*, 2024). Si bien estos esfuerzos contribuyeron a llenar parcialmente este vacío de conocimiento, ninguna de las estrategias permite por sí sola llevar a cabo una caracterización exhaustiva de la IA en la empresa.

En los últimos años, las oficinas estadísticas nacionales comenzaron a incluir en sus encuestas empresariales módulos sobre adopción de tecnologías emergentes en los que indagan sobre la adopción de diferentes tecnologías vinculadas a la IA. Sin embargo, como señalan Calvino y Fontanelli (2023b), estos avances aún se encuentran en una fase incipiente, especialmente fuera de Estados Unidos.

Zolas, Kroff, Brynjolfsson *et al.* (2020) condujeron uno de los estudios pioneros para comprender la adopción empresarial de la IA en Estados Unidos. Mediante el análisis de la Encuesta Empresarial Anual (Annual Business Survey, ABS) de 2018, obtienen información sobre la difusión de las tecnologías avanzadas entre las empresas estadounidenses. El estudio muestra que la adopción de tecnologías avanzadas es poco común y, generalmente, está liderada por empresas más grandes y antiguas. Los patrones de adopción son consistentes con una jerarquía de creciente sofisticación tecnológica, donde la mayoría de las empresas que adoptan la IA –u otras tecnologías avanzadas– también utilizan otras tecnologías más difundidas. Finalmente, si bien son pocas las empresas que se encuentran en la frontera tecnológica, estas tienden a ser de mayor tamaño, por lo que la exposición tecnológica del trabajador promedio es significativamente mayor. Además, si bien la adopción de tecnologías está estrechamente asociada con una serie de características empresariales observables, existe una importante heterogeneidad en la adopción que persiste incluso después de controlar por muchas de estas características.

McElheran *et al.* (2024) empalman la mencionada ABS con la Base de Datos Longitudinal de Empresas (LBD) y construyen una muestra representativa de más de 4 millones de empresas. Esto les permite realizar una de las caracterizaciones más exhaustivas hasta el momento sobre el uso temprano de la IA a nivel empresarial. La evidencia del trabajo muestra que cerca de 6% de las empresas de Estados Unidos utiliza alguna tecnología relacionada con la IA, siendo los sectores de manufactura, información y salud los más intensivos en su uso, con una tasa de adopción cercana a 12%. La mayoría de las grandes empresas informaron al menos algún uso de IA. Entre las empresas jóvenes y dinámicas, el uso de la IA fue mayor entre los emprendedores con mayor nivel de formación y experiencia. La adopción de IA también fue más común en las nuevas empresas que mostraban indicadores de mayor crecimiento, como financiación de capital de riesgo e innovación, entre otros. El trabajo también señala que la adopción

temprana de IA dista mucho de estar distribuida de forma uniforme en términos geográficos, sectoriales y de antigüedad en el mercado. Los autores concluyen que si persisten estos patrones de uso temprano de la IA, existe la posibilidad de que la "brecha de la IA" sea cada vez mayor.

En Corea, Cho, DeStefano, Kim *et al.* (2021) estudian los factores determinantes de la adopción de IA en las empresas durante una etapa más temprana de la tecnología (bienio 2017-18). Explotando un módulo de preguntas de adopción de tecnologías de "industria 4.0" incluido en la Encuesta de Actividades Empresariales, implementada por KOSTAT³, los autores estiman una tasa de adopción cercana a 3%, siendo los sectores de tecnologías de la información y la comunicación (TIC), servicios financieros y educación los más destacados. La mayoría de las empresas que adoptan IA lo hacen a través de desarrollos propios, en lugar de contratarla a terceros. Además de la diferencia de adopción entre sectores, el estudio muestra que tanto las empresas más grandes como las más jóvenes tienden a adoptar la IA a un ritmo superior que el resto de las empresas. Por otra parte, destaca la relevancia de los activos intangibles en la adopción de IA.

Calvino y Fontanelli (2023b) analizan las características de las empresas francesas que utilizan IA valiéndose del empalme de datos de la encuesta TIC 2019 (que mide el año 2018) de la Oficina Nacional de Estadística con los balances de las empresas. Los resultados muestran que un 11,4% de empresas francesas con más de 10 empleados utiliza algún tipo de tecnología relacionada con la IA. Existe una diferencia considerable entre los compradores y los desarrolladores de IA, que representa el 9,9% y el 3,2%, respectivamente. El uso de IA varía según la antigüedad de la empresa: las empresas compradoras de IA tienden a ser más antiguas, mientras que las que desarrollan sus propias soluciones de IA suelen ser más jóvenes. A nivel de sectores, las TIC presentan la mayor proporción de usuarios de IA, especialmente entre los desarrolladores. El estudio subraya la importancia de los activos complementarios en la adopción de IA, tales como capital humano, uso de otras tecnologías digitales, acceso a banda ancha de alta velocidad y presencia de competencias en TIC.

Czarnitzki *et al.* (2023) utilizan microdatos de la contribución alemana a la Encuesta Comunitaria sobre Innovación (CIS) de la Comisión Europea. La información recopilada refiere al año 2018 y es representativa de todas las empresas alemanas con al menos cinco empleados en los sectores manufacturero, minero, de servicios públicos y de servicios orientados a las empresas. Alrededor de 7% de las empresas alemanas utilizan IA. De estas, aproximadamente 60% la emplea en productos o servicios; 56%, en automatización de procesos; 34%, en análisis de datos, y 22%, en interacción con clientes. Las empresas que utilizan IA son, en promedio, más grandes en términos de empleo y ventas, y registran una tasa más acelerada de crecimiento en ventas. El desempeño innovador es superior entre los adoptantes de IA, lo que se

³ La agencia nacional de estadísticas del país.

evidencia en mayores niveles de gasto en investigación y desarrollo (I+D) por empleado y una mayor proporción de empresas que reportan resultados de innovación. A diferencia de lo hallado en el caso de Corea, Estados Unidos y Francia, no se observan diferencias significativas en la antigüedad de las empresas que utilizan IA al compararlas con otras.

En resumen, la evidencia empírica se concentra en países de ingresos altos, donde la adopción de IA es desigual y dominada por empresas grandes y sectores específicos como las TIC. Los estudios muestran que la adopción de IA está influenciada tanto por el tamaño como por la edad de la empresa, así como por la presencia de otros activos intangibles.

2. Datos y estadísticas descriptivas

Bases de datos

Para caracterizar a las empresas del sector manufacturero que adoptan inteligencia artificial (IA) en Colombia se utiliza información suministrada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) de Colombia. Se construyó un panel de datos que surge de combinar los microdatos de tres encuestas: i) la Encuesta Anual Manufacturera (EAM) para los años 2018, 2019 y 2020; ii) la Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica (EDIT) para los años 2018, 2019 y 2020, y iii) la Encuesta de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (ENTIC) aplicada a las empresas para los años 2019 y 2020⁴. El número de observaciones para este análisis es de 12.765 empresas. Este número de establecimientos representa el censo económico del país en el sector manufacturero para empresas que cuentan con 10 o más empleados; es decir, constituye el universo de empresas formales del sector manufacturero.

Con la EAM se obtienen indicadores que permiten identificar la composición de la producción, el consumo, las ventas, el personal ocupado, entre otros. Por su parte, con la EDIT se accede a información sobre innovación en las empresas, mientras que con la ENTIC se dispone de indicadores especializados de acceso y uso de las tecnologías de la información y la telecomunicación (TIC) en las empresas, especialmente aquellas ligadas a la IA.

La ENTIC incluye diferentes preguntas que describen no solo si la empresa adopta la IA, sino también el tipo de adopción⁵. Específicamente, la variable *IA_propia* mide si la empresa posee una unidad que desarrolla IA dentro de la empresa. La variable *IA_terceros* mide si la empresa subcontrata IA, y la variable *IA_uso* agrega ambas categorías para medir la adopción independientemente de donde se desarrolle. Además, se mide la adopción avanzada de la IA con una medida más estricta, a través del uso de Machine Learning (ML) (*IA_ml*)⁶.

La ENTIC también permite caracterizar la adopción de IA por objetivo. Es decir, identifica el área o proceso empresarial en el cual se aplica la IA: procesos productivos o de prestación de servicios (*IA_ps*); procesos administrativos o de apoyo (*IA_pa*); procesos logísticos (*IA_pl*), y procesos comerciales o de marketing

⁴ Esta encuesta abarca los datos disponibles más recientes. Si bien este periodo mide una etapa temprana de la adopción de esta tecnología, pueden identificarse factores generales y compararse con otros contextos, alimentando así el diseño de la política pública.

⁵ Para el periodo de recolección (2019 y 2020), la ENTIC define a la IA de la siguiente forma: "La Inteligencia Artificial (IA) hace referencia a sistemas computacionales capaces de realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como el aprendizaje automático y profundo, la resolución de problemas y el reconocimiento de patrones".

⁶ ML es una disciplina del campo de la IA que desarrolla algoritmos para procesar grandes cantidades de datos, identificar patrones y elaborar predicciones. Entre las aplicaciones de ML que se consideraron en la ENTIC se incluyen, entre otros: mantenimiento predictivo, visión artificial, control de calidad, optimización de recursos y clasificación de productos.

(*IA_pc*). Por último, se describe la adopción de IA profundizando según el tipo de aplicación tecnológica utilizada, a saber: procesamiento de texto (*IA_pt*)⁷; visión artificial (*computer vision*)⁸ (*IA_cv*); reconocimiento del habla (*speech recognition*)⁹ (*IA_sr*); robótica basada en inteligencia artificial (*AI Robotics*) (*IA_robotics*), y sistemas expertos (*IA_se*)¹⁰.

En el cuadro 1 se definen las variables de adopción de IA consideradas en el análisis de las empresas del sector manufacturero en Colombia. Se agrupan las variables o factores asociados y los posibles factores determinantes de la adopción de IA en tres categorías. El primer grupo se relaciona con las características estructurales de las empresas, que incluye antigüedad y tamaño; capital humano, definido como el porcentaje de profesionales con títulos universitarios o superiores, y la presencia de capital extranjero. El segundo grupo comprende los factores de desempeño de las empresas, medidos por la presencia de patentes y la tasa de crecimiento promedio anual de las ventas en los últimos tres años, siguiendo la definición de McElheran *et al.* (2024)¹¹. El tercer grupo de variables mide las capacidades gerenciales, mediante un índice que mide la calidad de las habilidades y prácticas gerenciales en la empresa¹²; las de innovación, a través de la introducción de innovaciones de productos o procesos, y las de digitalización, mediante la presencia de la empresa en las redes sociales.

⁷ Por ejemplo, procesamiento del lenguaje natural, traducción, chatbots y recuperación de información.

⁸ Por ejemplo, visión por computadora, reconocimiento de objetos, seguimiento de objetos en movimiento, entre otros.

⁹ Como voicebots o transcripción de voz a texto (speech to text).

¹⁰ Por ejemplo, diagnóstico médico asistido, configuración de hardware personalizado y asesoría financiera automatizada.

¹¹ En particular, McElheran *et al.* (2024) miden las trayectorias de crecimiento temprano como el promedio de los logaritmos entre la diferencia del ingreso anual en los tres primeros años de la empresa. Dado que en el estudio los autores se concentran en caracterizar las startups y sus decisiones de adopción de IA, esta medida también se considera como una medida de alta calidad de la empresa. En nuestro trabajo, solo es un indicativo de la actividad de la empresa y por ello nos concentramos en los últimos tres años antes de la adopción en 2019 y 2020.

¹² Las habilidades y prácticas gerenciales se miden a través del índice de Bloom, que es un promedio no ponderado del puntaje de cada una de las 16 preguntas denominadas “gestión estructurada” (Bloom *et al.*, 2019). Las respuestas a cada pregunta se califican en una escala de 0 a 1. Por lo tanto, el índice también se encuentra en la escala de 0 a 1, donde 0 representa una empresa que recibió el puntaje más bajo, y 1 representa una empresa que obtuvo la puntuación más alta. Podrán consultarse más detalles en el cuadro A2 del apéndice en Bloom *et al.* (2019).

Cuadro 1. Definición de las variables de adopción de IA

Variable	Descripción
Adopción de IA	
<i>IA_propia</i>	Variable binaria igual a 1 si la empresa responde que cuenta con un área o personal dedicado al diseño, operación o mantenimiento de soluciones o herramientas basadas en IA, y 0 si responde que no.
<i>IA_terceros</i>	Variable binaria igual a 1 si la empresa responde que terceriza el diseño, operación o mantenimiento de soluciones o herramientas basadas en IA con una empresa o contratista externo, y 0 si responde que no.
<i>IA_uso</i>	Variable binaria igual a 1 si la empresa usa IA, y 0 de otra forma.
Adopción avanzada de IA	
<i>IA_ml</i>	Variable binaria igual a 1 si la empresa responde que en el uso de alguna de las tecnologías de IA utilizó aprendizaje automático (<i>Machine Learning</i>), y 0 si responde que no.
Adopción de IA por área/proceso	
<i>IA_ps</i>	Variable binaria igual a 1 si la empresa usa IA en los procesos productivos o de prestación de servicios, y 0 de otra forma.
<i>IA_pa</i>	Variable binaria igual a 1 si la empresa usa IA en los procesos administrativos o de apoyo, y 0 de otra forma.
<i>IA_pl</i>	Variable binaria igual a 1 si la empresa usa IA en los procesos logísticos, y 0 de otra forma.
<i>IA_pc</i>	Variable binaria igual a 1 si la empresa usa IA en los procesos comerciales o de marketing, y 0 de otra forma.
Adopción de IA por tecnología	
<i>IA_pt</i>	Variable binaria igual a 1 si la empresa usa tecnologías de procesamiento de texto, y 0 de otra forma.
<i>IA_cv</i>	Variable binaria igual a 1 si la empresa usa tecnologías de visión artificial, y 0 de otra forma.
<i>IA_sr</i>	Variable binaria igual a 1 si la empresa usa tecnologías de reconocimiento de habla, y 0 de otra forma.
<i>IA_robotics</i>	Variable binaria igual a 1 si la empresa usa robótica basada en IA, y 0 de otra forma.
<i>IA_se</i>	Variable binaria igual a 1 si la empresa usa sistemas expertos, y 0 de otra forma.

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, el cuadro 2 presenta la descripción de las variables consideradas como factores asociados y posibles factores determinantes de la adopción de IA en Colombia.

Cuadro 2. Definición de los factores asociados y posibles factores determinantes de la adopción de IA

Variable	Descripción
<i>Edad</i>	Logaritmo del número de años de vida de la empresa.
<i>Tamaño</i>	Logaritmo del número de empleados.
<i>Capital humano</i>	Porcentaje promedio del total de empleados que tienen título universitario dentro de la empresa.
<i>Invextranjera</i>	Variable binaria igual a 1 si 10% o más de la inversión de la empresa es extranjera.
<i>Ventas</i>	Tasa de crecimiento del ingreso anual promedio para tres (3) años.
<i>Patente</i>	Variable binaria igual a 1 si la empresa tiene patente(s), y 0 de otra forma.
<i>Gerencia</i>	Índice de calidad de gestión de Bloom <i>et al.</i> (2019).
<i>INN</i>	Variable binaria igual a 1 si la empresa tiene un producto o proceso de innovación, y 0 de otra forma.
<i>Redes</i>	Variable binaria igual a 1 si la empresa tiene presencia en redes sociales, y 0 de otra forma.

Fuente: Elaboración propia.

Estadísticas descriptivas

El cuadro 3 muestra las principales características de la empresa promedio incluida en la base de datos, y compara la caracterización entre empresas que utilizan/no utilizan IA¹³.

La empresa manufacturera promedio de Colombia registra una antigüedad de 28 años y tiene un tamaño de 89 empleados. En 5% de las empresas, la presencia de capital extranjero es igual o superior a 10%. El nivel promedio de habilidades y prácticas gerenciales es débil (0,36) (Bloom *et al.*, 2019). El porcentaje de empleados con al menos un título universitario que realizan tareas en el área de I+D es de 16%. El 24,7% de las empresas declaró innovar en producto o proceso, en tanto que solo el 0,03% declaró tener una patente. Por último, se observa que un 62,7% de las empresas cuentan con presencia en redes sociales.

¹³ Las correlaciones entre las variables de adopción de IA y los factores asociados se presentan en el anexo 1.

El análisis de medias revela que las empresas que utilizan IA difieren en varias características observables. Las empresas manufactureras que adoptan IA son significativamente más grandes en términos de empleo y ventas, y tienen una mayor antigüedad. Además, cuentan con una mayor proporción de empleados altamente cualificados y, con mayor frecuencia, capital extranjero. Estas empresas también destacan por niveles superiores de habilidades gerenciales, capacidades de innovación y competencias digitales en comparación con aquellas que no adoptan IA.

Cuadro 3. Estadísticas descriptivas de los factores asociados como factores determinantes de la adopción de IA

	Todas las empresas		Empresas que usan IA		Empresas que no usan IA		Diferencia de medias	
Variable	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Dif.	t-stat
Obs.	12.765		778		11.987			
<i>Edad</i>	28,59	15,04	33,33	19,26	28,29	14,67	-5,039***	(-7,165)
<i>Tamaño</i>	89,04	208,04	258,52	431,55	78,04	178,97	-180,47***	(-11,600)
<i>Capital h</i>	0,16	0,139	0,20	0,158	0,16	0,137	-0,047***	(-8,095)
<i>Invextranj</i>	0,05	0,223	0,14	0,346	0,05	0,212	-0,092***	(-7,317)
<i>Ventas</i>	39.507	296.498	175.099	823.562	30.706	219.950	-144.393***	(-4,879)
<i>Patente</i>	0,00	0,056	0,02	0,128	0,00	0,047	-0,014**	(-3,130)
<i>Gerencia</i>	0,36	0,187	0,49	0,204	0,36	0,182	-0,138***	(-18,367)
<i>INN</i>	0,20	0,400	0,40	0,49	0,19	0,39	-0,210***	(-11,699)
<i>Redes</i>	0,63	0,484	0,84	0,369	0,61	0,487	-0,225***	(-16,132)

Fuente: Elaboración propia.

Notas: Las ventas corresponden a millones de pesos colombianos. DE = Desviación estándar. Obs. = Observaciones.

3. La adopción empresarial de inteligencia artificial en Colombia

¿Quiénes adoptan inteligencia artificial en el sector manufacturero de Colombia?

Un 6,1% de las empresas de la muestra adopta inteligencia artificial (IA). Esta tasa de adopción es casi la mitad de la encontrada por McElheran *et al.* (2024) para el sector manufacturero en Estados Unidos. El 2,2% de las empresas utiliza sus propias capacidades para desarrollar IA, mientras que un 4,4% adquiere el desarrollo a terceros. La mayor proporción de empresas que adopta a través de la tercerización es similar a la observada en Francia (Calvino y Fontanelli, 2023b) pero contrasta con la de Corea (Cho *et al.*, 2021).

Para analizar la adopción en el sector manufacturero de manera más detallada se calculan las tasas de adopción según tres grupos que diferencian a las empresas por las características que estudios en otros países han revelado como importantes para determinar la adopción de IA: i) tamaño (grandes empresas, más de 250 empleados; y microempresas, 10 empleados¹⁴); ii) edad (*startups*, empresas jóvenes menores de 5 años); iii) capacidad tecnológica (intensidad tecnológica del sector en el que opera, adaptado de Galindo-Rueda y Verger [2016])¹⁵. Estos resultados se presentan en el cuadro 4.

El porcentaje de adopción de IA en las grandes empresas es de 20,7%, y el 9% la desarrolla de manera interna. Por otro lado, no es sorprendente que las microempresas muestren una tasa de adopción significativamente inferior, de 2,7%; de ellas, menos del 1% desarrolla la IA intramuros. Las empresas jóvenes tienen una tasa de adopción del 5,7%, cercana al promedio de la industria, mientras que la tasa de desarrollo interno de este grupo es de 3,5%, cifra superior al promedio de la manufactura del país. Las empresas que operan en sectores intensivos en tecnología también presentan una tasa de adopción superior al promedio, con un 7% que adopta IA y un 3% que la desarrolla con capacidades internas. Al restringir la definición de IA a *Machine Learning* (ML), la tasa de adopción es de 1,5%, manteniéndose las diferencias en intensidad de desarrollo interno o subcontratado según el tamaño, la edad de la empresa y el sector en que opera.

El cuadro 4 también presenta las tasas de adopción de IA en diferentes áreas de la empresa y por tipo de tecnología de IA. En estas categorías, las tasas de adopción son muy bajas y no se aprecian diferencias marcadas. Sin embargo, resulta interesante observar los primeros usos que se le está dando a la IA en la empresa, en el contexto de país emergente que presenta Colombia. Al analizar los procesos o áreas internas donde las empresas han adoptado IA, se observa que mayoritariamente se utiliza IA en los procesos productivos (2,9%), seguidos por los procesos comerciales y administrativos (2,5% y 2,4%, respectivamente), siendo la

¹⁴ El tamaño mínimo de la población objetivo de las encuestas utilizadas.

¹⁵ CIIU 20, 26, 27, 28, 29, 30 y 3250.

logística la función con menor uso relativo de IA, con un 1,8% de empresas. El uso mayoritario de IA para la producción es una tendencia que se mantiene independientemente del tamaño de la empresa, la edad y la sofisticación tecnológica. La menor preferencia relativa de uso de IA en el sector de logística también se mantiene entre empresas de diferente tamaño y sofisticación tecnológica, pero es diferente en las empresas más jóvenes, sugiriendo mayores costos de adaptación en estas actividades en empresas establecidas.

Al analizar los tipos de tecnologías de IA adoptadas, se observan diferencias más marcadas. El 2,9% de las empresas utiliza procesamiento de texto, siendo esta la tecnología con mayor adopción. En contraste, solo 0,6% emplea reconocimiento del habla, la tecnología con menor penetración en todas las categorías analizadas. Las diferencias en el uso de visión artificial (1,2%), robótica (0,9%) y sistemas expertos (0,6%) son menos marcadas. Estas variaciones en la adopción de IA pueden estar relacionadas tanto con la complejidad de cada tecnología como con la necesidad de inversiones complementarias para utilizarlas, ya sea en activos tangibles como intangibles, que aumentan el costo de implementación. Los avances recientes, como las aplicaciones basadas en *Large Language Models*¹⁶ (LLM) y la IA Generativa Multimodal¹⁷, han reducido la barrera tecnológica para incorporar funciones como procesamiento de texto, reconocimiento de habla o sistemas expertos. Por esto, es probable que las tasas de adopción hayan aumentado desde que se recopilaron los datos analizados en el presente estudio. Sin embargo, si la principal limitación es la necesidad de cambios organizacionales e inversiones complementarias, el crecimiento en la adopción de estas tecnologías podría ser menor de lo esperado.

¹⁶ Son modelos de procesamiento del lenguaje natural basados en redes neuronales profundas, capaces de generar y comprender texto de manera avanzada.

¹⁷ La IA generativa multimodal combina texto, imágenes y otros tipos de datos para crear contenido a través de múltiples formatos.

Cuadro 4. Estadísticas descriptivas de la adopción de IA

	Total		Micro		Grandes		Startup		High-tech	
Obs.	12.765		1.821		1.193		139		2.398	
Variable	%	DE	%	DE	%	DE	%	DE	%	DE
Adopción de IA										
<i>IA_propia</i>	2,24	0,148	0,82	0,090	9,05	0,287	3,59	0,186	3,04	0,171
<i>IA_terceros</i>	4,41	0,205	1,97	0,139	14,3	0,350	5,03	0,219	4,58	0,209
<i>IA_usos</i>	6,09	0,239	2,74	0,163	20,7	0,405	5,75	0,233	7,00	0,255
Adopción avanzada de IA										
<i>IA_ml</i>	1,52	0,122	0,43	0,066	7,62	0,265	3,59	0,186	2,25	0,148
Adopción de IA por área/proceso										
<i>IA_ps</i>	2,85	0,166	1,26	0,111	9,89	0,298	5,03	0,219	3,41	0,181
<i>IA_pa</i>	2,42	0,153	1,20	0,109	7,79	0,268	2,15	0,145	2,29	0,149
<i>IA_pl</i>	1,78	0,132	0,60	0,077	7,54	0,264	3,59	0,186	1,62	0,126
<i>IA_pc</i>	2,52	0,156	1,15	0,106	8,63	0,280	2,87	0,167	3,00	0,170
Adopción de IA por tecnología										
<i>IA_pt</i>	2,92	0,168	1,37	0,116	11,31	0,316	3,59	0,186	2,91	0,168
<i>IA_cv</i>	1,20	0,109	0,71	0,084	4,27	0,202	2,87	0,167	1,41	0,118
<i>IA_sr</i>	0,56	0,074	0,10	0,033	2,51	0,156	1,43	0,119	0,66	0,081
<i>IA_robotics</i>	0,87	0,093	0,16	0,040	4,61	0,209	2,15	0,145	1,16	0,107
<i>IA_se</i>	1,01	0,100	0,43	0,066	4,35	0,204	2,15	0,145	1,33	0,114

Fuente: Elaboración propia. DE = Desviación estándar. Obs = Observaciones.

¿Dónde se está llevando a cabo la adopción de IA del sector manufacturero en Colombia?

En los cuadros 5 y 6 identificamos los departamentos y los sectores donde se está adoptando IA. El cuadro 5 presenta en la columna 3 el porcentaje de empresas que usan IA en cada departamento sobre el total nacional, como una medida de la concentración de la adopción en el territorio. Las columnas 4 y 5 presentan la forma en que las empresas usuarias de IA han adoptado esta tecnología en cada

departamento, dividiendo entre IA desarrollada con capacidades internas de la empresa (IA_propia) y tecnologías IA que se adquieren en el mercado (IA_terceros).

En primer lugar, se observa una alta variabilidad en la adopción entre los departamentos de Colombia. Cinco departamentos, incluido el Distrito Capital de Bogotá, concentran cerca de 80% del total de empresas que adoptan IA. Estos departamentos son Bogotá, que concentra un 28,8% de las empresas usuarias; Antioquia, un 22,3%; Valle del Cauca, un 10,8%; Cundinamarca, un 9,4%, y Atlántico, un 7,0%. Los demás departamentos con alguna empresa adoptante se reparten el 20% restante, con porcentajes no mayores a 3%. Esta concentración refleja la distribución de la actividad económica en el país.

En los cinco departamentos de Colombia que concentran la mayor adopción de IA, más del 70% de las empresas adquiere tecnologías de IA de parte de terceros. Por ejemplo, en Bogotá D. C., de las 4.423 empresas manufactureras, 227 han adoptado IA. De estas, 36% desarrolla la IA internamente, mientras que 71% adquiere tecnologías de IA en el mercado. Esta tendencia se atenúa en los departamentos con menor cantidad de empresas adoptantes, lo cual puede deberse tanto a características particulares de las empresas que operan en departamentos económicamente más rezagados como a restricciones en la oferta de servicios tecnológicos en esos mismos departamentos.

Cuadro 5. Porcentaje de empresas que adoptan IA por departamento

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Departamento	Observaciones	Concentración de la adopción	IA_propia	IA_terceros
Bogotá D. C.	4.423	28,8%	36%	71%
Antioquia	2.793	22,3%	31%	79%
Valle del Cauca	1.627	10,8%	38%	73%
Cundinamarca	997	9,4%	37%	71%
Atlántico	530	7,0%	36%	71%
Bolívar	170	3,1%	56%	75%
Caldas	242	2,8%	42%	68%
Risaralda	292	2,8%	53%	47%
Santander	548	2,1%	46%	54%
Cauca	148	1,4%	36%	73%
Magdalena	73	1,4%	57%	43%
Boyacá	116	1,4%	50%	63%
Tolima	140	1,4%	36%	64%
Meta	84	1,0%	33%	89%
Quindío	65	1,0%	100%	0%
Caquetá	7	0,7%	100%	0%
Norte de Santander	202	0,7%	29%	86%
Casanare	22	0,7%	100%	100%
Cesar	53	0,7%	100%	50%
Córdoba	38	0,3%	25%	100%
Huila	86	0,3%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Para analizar la distribución sectorial en la manufactura, se utiliza una clasificación de sectores según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) a dos dígitos. El cuadro 6, además de las columnas presentadas en el cuadro 5, incluye una columna adicional con la tasa de adopción, que muestra el número de empresas de cada sector que adoptan IA sobre el total de empresas del mismo sector¹⁸. Estos porcentajes de adopción de IA sectorial se muestran en la columna 9 del cuadro 6.¹⁹ A diferencia de la alta concentración en la adopción de IA a nivel regional, la heterogeneidad es menor entre los sectores industriales. Los cinco sectores con mayor número de adopciones representan menos de la mitad del

¹⁸ La distribución de empresas por la CIIU es más homogénea, y esto no afecta la tasa de adopción en casos extremos, como es el caso de las regiones donde hay pocas empresas y algunas de ellas adoptan IA llevando la tasa de adopción a altos niveles sin un sentido económico real.

¹⁹ Los nombres de las divisiones CIIU se detallan en el anexo 2.

total de empresas que implementan IA. Entre las divisiones con mayor tasa de adopción (superior a 10%) se encuentran: fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos (División 26) con un 18,5%; elaboración de bebidas (División 11) con un 14,6%; coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y mezcla de combustibles (División 19) con un 13%; fabricación de otros tipos de equipo de transporte (División 30) con un 10,9%, y fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos de uso farmacéutico (División 21) con un 10,9%.

Cuadro 6. Porcentaje de empresas que adoptan IA por división de la CIIU

(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
División CIIU	Observaciones	Concentración de la adopción	Tasa de adopción de IA	IA_propia	IA_terceros
10	2.286	16,7%	5,7%	25,4%	79,9%
14	1.362	9,9%	5,7%	36,3%	70,1%
20	944	9,9%	8,2%	42,8%	67,5%
22	1.182	8,0%	5,2%	32,3%	72,5%
23	635	6,9%	8,5%	29,5%	87,1%
25	951	5,7%	4,6%	40,9%	72,7%
21	340	4,8%	10,9%	46,0%	62,1%
18	694	4,8%	5,3%	43,2%	67,5%
28	651	3,9%	4,6%	30,0%	80,0%
13	437	3,5%	6,2%	22,2%	85,3%
11	171	3,2%	14,6%	68,0%	68,0%
27	315	3,1%	7,6%	58,3%	58,3%
31	551	3,1%	4,4%	33,3%	70,8%
32	388	3,0%	5,9%	39,0%	65,2%
24	241	2,3%	7,5%	55,5%	50,0%
29	278	2,2%	6,1%	35,2%	64,6%
17	204	1,9%	7,4%	20,0%	80,0%
19	108	1,8%	13,0%	35,6%	85,7%
16	261	1,4%	4,2%	18,1%	81,7%
33	195	1,3%	5,1%	50,0%	69,9%
15	475	1,3%	2,1%	40,0%	70,0%
30	64	0,9%	10,9%	57,2%	42,8%
26	27	0,6%	18,5%	60,0%	40,0%

Fuente: Elaboración propia.

Nota: CIIU = Clasificación Industrial Internacional Uniforme.

Las divisiones con una tasa de adopción inferior al 10% pero superior al 6% promedio de manufactura del país son: fabricación de otros productos minerales no metálicos (División 23) con el 8,5%; fabricación de sustancias y productos químicos (División 20) con el 8,2%; fabricación de aparatos y equipo eléctrico (División 27) con el 7,6%; fabricación de productos metalúrgicos básicos (División 24) con el 7,5%; fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón (División 17) con el 7,4%; fabricación de productos textiles (División 13) con el 6,2%, y fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques (División 29) con el 6,1%.

En la mayoría de las divisiones industriales, las empresas tienden a depender más de la IA desarrollada por terceros que de las soluciones propias. Por ejemplo, en la fabricación de productos alimenticios, 79,9% de las empresas que adopta IA utiliza soluciones de terceros. Esta tendencia se mantiene en varios sectores, como en la fabricación de productos textiles, con 85,3%, y en la fabricación de productos de caucho y plástico, con 72,5%. Sin embargo, hay sectores donde las empresas demuestran una mayor capacidad para desarrollar soluciones de IA internamente. Un ejemplo es la fabricación de aparatos y equipo eléctrico, donde 58,3% de las empresas utiliza IA propia. De manera similar, en la fabricación de productos metalúrgicos básicos, 55,5% de las empresas adoptan soluciones de IA desarrolladas internamente.

En suma, la evidencia indica que la adopción de IA en el sector manufacturero en Colombia se concentra principalmente en Bogotá y los departamentos de Antioquia, Valle del Cauca, Cundinamarca y Atlántico. Sin embargo, en la mayoría de ellos, los procesos de adopción de IA son poco significativos, dado que el número de empresas adoptantes es muy reducido en comparación con el volumen total del tejido empresarial en estas áreas. En cuanto a las actividades económicas, las mayores tasas de adopción de IA se observan en la fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos, la refinación de petróleo y la mezcla de combustibles, la fabricación de otros tipos de equipo de transporte y la fabricación de productos farmacéuticos.²⁰

¿Cuáles son los factores asociados a la adopción de IA en las empresas manufactureras de Colombia?

Para abordar esta pregunta de investigación se aplica un modelo probabilístico no lineal sobre los diferentes indicadores vinculados al uso de IA (cuadro 1). El conjunto de covariables es el presentado en el cuadro 2. Para controlar la

²⁰ La literatura reciente acerca del impacto de la IA habla de un efecto de desplazamiento de la fuerza de trabajo en sectores con alta adopción de la tecnología, cuando la IA se enfoca más en automatización de procesos. Como forma de evaluar preliminarmente dicha hipótesis estimamos la correlación entre la tasa de adopción de IA y la participación del empleo a nivel de la CIIU de dos dígitos de la industria. El resultado es una correlación negativa de solo 15%. Aunque es baja, muestra una relación negativa, y presenta una alerta de potencial de desplazamiento de fuerza de trabajo por adopción de IA.

heterogeneidad sectorial y geográfica, todas las estimaciones incluyen controles a nivel de departamento, sector y año. Los resultados deben ser leídos con cautela, dado que no es posible descartar que exista un sesgo de selección y simultaneidad entre las diferentes características de la empresa y la probabilidad de adoptar IA. Si bien los resultados no pueden leerse como causales, permiten destacar correlaciones muy ilustrativas sobre los factores asociados a la adopción de IA en la empresa.

El cuadro 7 muestra los efectos marginales estimados para la probabilidad de adoptar IA, considerando tanto el tipo de adopción (interna o subcontratada) como la presencia de un uso avanzado de IA, para los años 2019 y 2020. En línea con la evidencia de países de mayor ingreso, los resultados indican una fuerte relación positiva entre el tamaño de la empresa y la adopción de IA en sus diferentes formas. El coeficiente del logaritmo de empleados es altamente significativo ($p < 0,01$), con un efecto marginal de 0,18. Este efecto de escala podría estar impulsado por el hecho de que las empresas más grandes cuentan con mayores recursos financieros para invertir en IA, pueden beneficiarse de las economías de escala en la implementación de IA, y podrían a su vez tener fuentes de datos más grandes o de mejor calidad, lo que facilita el despliegue de IA. Por otro lado, el desempeño reciente de la empresa, medido en función del crecimiento en las ventas, no es predictor de la adopción de IA, lo cual sugiere que la percepción sobre los beneficios de la tecnología se distribuye de manera balanceada entre empresas rezagadas y líderes. Esta relación es similar al efecto neutro del nivel de productividad en la decisión de adoptar IA en Corea (Cho *et al.*, 2021)²¹.

La edad de la empresa no muestra una relación clara con la adopción de IA; sin embargo, sí se observa una relación negativa entre la edad de la empresa y la probabilidad de desarrollar IA dentro de la empresa (-0,111; $p < 0,05$). Esto puede responder a altos costos de ajustes en las empresas establecidas para desarrollar nueva tecnología, similares a los observados en otros estudios sobre adopción de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en Colombia (Gallego, Gutierrez, *et al.*, 2015). Un fenómeno similar se replica en el efecto marginal de la variable que indica la presencia de capital extranjero, el cual solo es positivo y significativo en la probabilidad de desarrollar IA de manera interna. Este resultado resulta llamativo, porque la pertenencia a conglomerados empresariales entrega una escala que debería facilitar en general la adopción de tecnologías, independientemente de si es desarrollada dentro o fuera de la empresa. Además, la posibilidad de adoptar modelos desarrollados en los mercados desde donde proviene el capital podría afectar positivamente la adopción de IA desarrollada por terceros.

Los efectos positivos y significativos, tanto de la proporción de empleados con educación universitaria y superior (0,757) como el indicador de calidad gerencial

²¹ En el anexo 3 se presenta la estimación del cuadro A3.3 considerando no linealidades en edad y tamaño. Solo el tamaño presenta una relación no lineal positiva.

(0,695) subrayan la importancia del capital humano en la adopción de IA, en línea con una tecnología –al menos en sus etapas tempranas– sesgada hacia las habilidades más sofisticadas. Por otro lado, la importancia de la calidad del gerenciamiento se relaciona con las condiciones organizacionales que las empresas deben tener para adoptar exitosamente la IA, un fenómeno similar al observado con las TIC en general (Bloom *et al.*, 2012; Crespi, Criscuolo y Haskel, 2007).

Los coeficientes positivos de las variables que miden la innovación y las patentes sugieren fuertes complementariedades entre las actividades de innovación tradicionales y la adopción de IA. Las empresas que recientemente han introducido innovaciones en productos o procesos tienen 11,3 puntos porcentuales más de probabilidades de adoptar IA, todo lo demás constante. El efecto sube a 42,6 puntos porcentuales en el caso de las empresas que patentan, impulsado más que nada por el efecto del desarrollo de IA al interior de la empresa. Por último, las capacidades digitales, medidas por la presencia en redes sociales, también se relaciona de manera directa con la adopción de IA, tanto la desarrollada internamente como la subcontratada.

La relación con las capacidades de innovación merece ser explorada en mayor profundidad, aunque escapa el alcance de este trabajo. Además de la complementariedad entre innovación e IA sugerida por estos resultados, la relación de las variables estructurales de la empresa con la adopción de IA es muy similar a la observada por estas mismas variables en la probabilidad de innovar, tanto en Colombia como en otros países de ALC (Crespi *et al.*, 2016; Gallego, Gutiérrez y Taborda, 2015). Emerge como principal diferencia que si bien las empresas con capital extranjero tienen mayor probabilidad de adoptar IA, tienen a su vez menor probabilidad de invertir en innovación. Este contraste se puede deber a que la difusión de la IA aún se encuentra en etapa temprana, y que son las empresas más sofisticadas las que la incorporan; entre ellas, las empresas con capital extranjero.

En el anexo 3 (cuadros A3.1 y A3.2) se presentan además las estimaciones para dos grupos de empresas: las que cuentan con más de 250 ocupados, y las que operan en sectores de intensidad tecnológica alta. Los resultados no difieren significativamente de los ya presentados, lo cual sugiere que la heterogeneidad por tamaño y contenido tecnológico está positivamente asociada con esta caracterización.

Cuadro 7. Estimación de los factores determinantes de la adopción de IA

	IA_usos	IA_propia	IA_terceros	IA_ml
Edad	0,00743 (0,0366)	-0,111** (0,0503)	0,0438 (0,0410)	-0,00548 (0,0598)
Tamaño	0,183*** (0,0205)	0,202*** (0,0285)	0,165*** (0,0229)	0,262*** (0,0370)
Capital h	0,757*** (0,155)	0,767*** (0,213)	0,531*** (0,172)	1,061*** (0,246)
Ventas	-0,0297 (0,120)	0,0168 (0,162)	-0,0983 (0,134)	-0,257 (0,197)
Redes	0,316*** (0,0470)	0,204*** (0,0686)	0,342*** (0,0527)	0,193** (0,0874)
Invextranjera	0,0584 (0,0724)	0,272*** (0,0922)	-0,113 (0,0828)	0,118 (0,106)
Gerencia	0,695*** (0,129)	0,629*** (0,196)	0,640*** (0,139)	0,553** (0,220)
INN	0,113** (0,0442)	0,125** (0,0614)	0,0981** (0,0491)	0,0632 (0,0760)
Patentes	0,416** (0,202)	0,511** (0,244)	0,305 (0,230)	0,510* (0,289)
Pseudo R ²	0,133	0,163	0,122	0,221
Obs.	12.765	12.765	12.765	12.765
EF	Sí	Sí	Sí	Sí
	IA_usos	IA_propia	IA_terceros	IA_ml
Edad	0,00743 (0,0366)	-0,111** (0,0503)	0,0438 (0,0410)	-0,00548 (0,0598)
Tamaño	0,183*** (0,0205)	0,202*** (0,0285)	0,165*** (0,0229)	0,262*** (0,0370)
Capital h	0,757*** (0,155)	0,767*** (0,213)	0,531*** (0,172)	1,061*** (0,246)
Ventas	-0,0297 (0,120)	0,0168 (0,162)	-0,0983 (0,134)	-0,257 (0,197)
Redes	0,316*** (0,0470)	0,204*** (0,0686)	0,342*** (0,0527)	0,193** (0,0874)
Invextranjera	0,0584 (0,0724)	0,272*** (0,0922)	-0,113 (0,0828)	0,118 (0,106)
Gerencia	0,695*** (0,129)	0,629*** (0,196)	0,640*** (0,139)	0,553** (0,220)
INN	0,113** (0,0442)	0,125** (0,0614)	0,0981** (0,0491)	0,0632 (0,0760)
Patentes	0,416** (0,202)	0,511** (0,244)	0,305 (0,230)	0,510* (0,289)
Pseudo R ²	0,133	0,163	0,122	0,221
Obs.	12.765	12.765	12.765	12.765
EF	Sí	Sí	Sí	Sí

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Errores estándar. Los clúster a nivel de departamento figuran entre paréntesis. Efectos fijos (EF) por sector, departamento y año. Obs. = Observaciones.

*** p < 0,01, ** p < 0,05, * p < 0,1.

Por último, el análisis también se realiza según el área en que se implementa la IA, y según el tipo de tecnología de IA utilizada. En ambos casos, las conclusiones del modelo general se mantienen. Las principales diferencias se observan en un primer lugar, donde la relación positiva de la innovación con la adopción de IA se debe principalmente a la aplicación en procesos de comercialización de la empresa, sugiriendo una complementariedad para rentabilizar los esfuerzos de innovación de la empresa, y que la relación positiva de las empresas que patentan con la adopción de IA se debe al efecto en el uso de IA para procesos administrativos, lo que indica un énfasis en ganancias en eficiencia para las empresas que ya alcanzaron cierto nivel de sofisticación tecnológica. En segundo lugar, existen menores diferencias evidentes en las características observables de la empresa en cuanto a la probabilidad de adoptar las diferentes tecnologías de IA capturadas en los datos utilizados. Mientras que la relación de las patentes con la adopción de IA se debe principalmente a la adopción de IA para el procesamiento de texto y la visión artificial, la innovación se relaciona más directamente con la adopción de sistemas expertos. Ambos modelos se presentan en el anexo 3, cuadros A3.4 y A3.5, respectivamente.

4. Conclusiones

La penetración de la inteligencia artificial (IA) en el sector manufacturero colombiano es aún limitada. La evidencia presentada en este estudio, basado en datos de 12.765 empresas manufactureras durante el periodo 2019-20, revela que solo un 6% de estas empresas ha adoptado alguna forma de IA. Esta cifra, que representa aproximadamente la mitad de la tasa de adopción observada en el sector manufacturero de Estados Unidos en 2018, revela que Colombia aún se encuentra en una fase inicial en la integración de este tipo de tecnología.

Los resultados muestran una significativa concentración geográfica de la adopción de IA en los departamentos del país con mayor actividad y desarrollo económico. Este patrón sugiere que los factores de entorno, como la aglomeración económica, la infraestructura tecnológica y la disponibilidad de capital humano especializado, inciden de manera significativa en la difusión de la IA. Además, la adopción de IA es heterogénea dentro del sector manufacturero. En línea con la evidencia internacional, las tasas más altas de adopción se observan en sectores de alta intensidad tecnológica. Sin embargo, en Colombia surge la peculiaridad de una alta tasa de adopción relativa en sectores tradicionalmente considerados de baja intensidad tecnológica, como la elaboración de bebidas. La heterogeneidad sectorial y geográfica de la adopción de IA es comparable con lo observado también en economías como la de Estados Unidos.

De forma compatible con los resultados de la adopción de IA en economías de mayor ingreso, las empresas más grandes y aquellas con mayor disponibilidad de activos intangibles, como son capital humano avanzado, mejor capacidad de gestión e innovación y experiencia en el manejo de tecnologías digitales, tienen una probabilidad significativamente mayor de adoptar IA. Por otro lado, tanto las empresas con capital extranjero como las más jóvenes muestran una mayor

probabilidad de desarrollar internamente las aplicaciones de IA, lo que sugiere la existencia de ventajas organizacionales que facilitan este desarrollo en comparación con la subcontratación.

Los factores determinantes de la adopción de IA identificados en este estudio son extremadamente similares a los factores determinantes de la innovación en general en Colombia y en el resto de los países de América Latina y el Caribe (ALC). Es probable que las mismas fallas de mercado que obstaculizan la actividad innovadora sean relevantes para la adopción de IA. De esta manera, las políticas que aborden estas fallas de mercado pueden ser igualmente efectivas para promover la adopción de IA. De todos modos, se precisan nuevos estudios que puedan probar esta relación así como identificar factores determinantes específicos de la adopción de IA.

Por último, este estudio arroja luz sobre la necesidad de conducir más investigaciones para explorar el impacto a largo plazo de la adopción de IA en la productividad, el crecimiento y el desempeño en general de las empresas, así como las diferencias entre la IA desarrollada internamente y la subcontratada. Asimismo, subraya la necesidad de investigar los factores que afectan el surgimiento de *startups* que lideren el desarrollo de IA propia y el cambio en los retornos a la inversión en activos intangibles complementarios a la IA.

Bibliografia

- Acemoglu, D. (2024). *The Simple Macroeconomics of AI*.
<https://doi.org/10.3386/w32487>
- Acemoglu, D., Autor, D., Hazell, J., & Restrepo, P. (2022). Artificial Intelligence and Jobs: Evidence from Online Vacancies. *Journal of Labor Economics*, 40(S1), S293–S340. <https://doi.org/10.1086/718327>
- Aghion, P., Jones, B. F., & Jones, C. I. (2019). Artificial Intelligence and Economic Growth. In *The Economics of Artificial Intelligence* (pp. 237–290). University of Chicago Press. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226613475.003.0009>
- Agrawal, A., Gans, J., & Goldfarb, A. (2019). Prediction, Judgment, and Complexity. In *The Economics of Artificial Intelligence* (pp. 89–114). University of Chicago Press. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226613475.003.0003>
- Alderucci, D., Branstetter, L., Hovy, E., Runge, A., & Zolas, N. (2020). *Quantifying the impact of AI on productivity and labor demand: Evidence from U.S. Census microdata*.
- Alekseeva, L., Azar, J., Giné, M., Samila, S., & Taska, B. (2021). The demand for AI skills in the labor market. *Labour Economics*, 71, 102002.
<https://doi.org/10.1016/j.labeco.2021.102002>
- Babina, T., Fedyk, A., He, A., & Hodson, J. (2023). *Firm Investments in Artificial Intelligence Technologies and Changes in Workforce Composition*.
<https://doi.org/10.3386/w31325>
- Babina, T., Fedyk, A., He, A., & Hodson, J. (2024). Artificial intelligence, firm growth, and product innovation. *Journal of Financial Economics*, 151, 103745.
<https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2023.103745>
- Bloom, N., Brynjolfsson, E., Foster, L., Jarmin, R., Patnaik, M., Saporta-Eksten, I., & Van Reenen, J. (2019). What Drives Differences in Management Practices? *American Economic Review*, 109(5), 1648–1683.
<https://doi.org/10.1257/aer.20170491>
- Bloom, N., Sadun, R., & Van Reenen, J. (2012). Americans do IT better: US multinationals and the productivity miracle. *American Economic Review*, 102(1), 167–201. <https://doi.org/10.1257/aer.102.1.167>
- Brynjolfsson, E., & Mitchell, T. (2017). What can machine learning do? Workforce implications. *Science*, 358(6370), 1530–1534.
<https://doi.org/10.1126/science.aap8062>
- Brynjolfsson, E., Rock, D., & Syverson, C. (2017). *Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics*.
<https://doi.org/10.3386/w24001>

- Brynjolfsson, E., Rock, D., & Syverson, C. (2019). Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox. In *The Economics of Artificial Intelligence* (pp. 23–60). University of Chicago Press.
<https://doi.org/10.7208/chicago/9780226613475.003.0001>
- Buendía Pastrana, J. C., Osorio Mass, R. C., Rangel Bolaños, J. E., & Miranda Villera, M. R. (2017). La desindustrialización en Colombia desde la apertura económica. *Revista CIFE: Lecturas de Economía Social*, 18(28), 71.
<https://doi.org/10.15332/s0124-3551.2016.0028.03>
- Calvino, F., & Fontanelli, L. (2023a). *A portrait of AI adopters across countries: Firm characteristics, assets' complementarities and productivity* (02; Technology and Industry Working Papers).
- Calvino, F., & Fontanelli, L. (2023b). *Artificial intelligence, complementary assets and productivity: evidence from French firms* (25).
- Cho, J., DeStefano, T., Kim, H., & Paik, J. (2021). *What determines AI?*
- Cockburn, I. M., Henderson, R., & Stern, S. (2019). The Impact of Artificial Intelligence on Innovation. In *The Economics of Artificial Intelligence* (pp. 115–148). University of Chicago Press.
<https://doi.org/10.7208/chicago/9780226613475.003.0004>
- Crespi, G., Criscuolo, C., & Haskel, J. (2007). *Information Technology, Organisational Change and Productivity Growth: Evidence from UK Firms* (783; CEP Discussion Paper). www.cepr.org
- Crespi, G., Tacsir, E., & Vargas, F. (2016). Innovation dynamics and productivity: Evidence for Latin America. In *Firm Innovation and Productivity in Latin America and the Caribbean: The Engine of Economic Development* (pp. 37–71). Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1057/978-1-349-58151-1_2
- Czarnitzki, D., Fernández, G. P., & Rammer, C. (2023). Artificial intelligence and firm-level productivity. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 211, 188–205. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2023.05.008>
- Damioli, G., Van Roy, V., & Vertesy, D. (2021). The impact of artificial intelligence on labor productivity. *Eurasian Business Review*, 11(1), 1–25.
<https://doi.org/10.1007/s40821-020-00172-8>
- Damioli, G., Van Roy, V., Vértesy, D., & Vivarelli, M. (2024). Drivers of employment dynamics of AI innovators. *Technological Forecasting and Social Change*, 201, 123249. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123249>
- El Moujahid, O., Murtinu, S., & Sekerci, N. (2023). Artificial Intelligence and Firm Performance during COVID-19. *SSRN Electronic Journal*.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.4544691>

- Fernández-Arias, E., & Rodríguez-Apolinar, S. (2016). The Productivity Gap in Latin America: Lessons from 50 Years of Development. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2956692>
- Filippucci, F., Cecilia Jona-Lasinio, Alvaro Leandro, Giuseppe Nicoletti, & Peter Gal. (2024). *The impact of Artificial Intelligence on productivity, distribution and growth: Key mechanisms, initial evidence and policy challenges* (15; Artificial Intelligence Papers).
- Fotheringham, D., & Wiles, M. A. (2023). The effect of implementing chatbot customer service on stock returns: an event study analysis. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 51(4), 802–822. <https://doi.org/10.1007/s11747-022-00841-2>
- Francesco Filippucci, Peter Gal, Cecilia Jona-Lasinio, Alvaro Leandro, & Giuseppe Nicoletti. (2024, May 2). *Should AI stay or should AI go: The promises and perils of AI for productivity and growth* / CEPR. <https://cepr.org/voxeu/columns/should-ai-stay-or-should-ai-go-promises-and-perils-ai-productivity-and-growth>
- Galindo-Rueda, F., & Verger, F. (2016). OECD taxonomy of economic activities based on R&D intensity. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, 4, 24.
- Gallego, J. M., Gutierrez, L. H., & Lee, S. H. (2015). A firm-level analysis of ICT adoption in an emerging economy: evidence from the Colombian manufacturing industries. *Industrial and Corporate Change*, 24(1), 191–221. <https://doi.org/10.1093/icc/dtu009>
- Gallego, J. M., Gutiérrez, L. H., & Taborda, R. (2015). Innovation and productivity in the colombian service and manufacturing industries. *Emerging Markets Finance and Trade*, 51(3), 612–634. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2015.1026698>
- Goldin, I., Koutroumpis, P., Lafond, F., & Winkler, J. (2024). Why Is Productivity Slowing Down? *Journal of Economic Literature*, 62(1), 196–268. <https://doi.org/10.1257/jel.20221543>
- Haller, S. A., & Siedschlag, I. (2011). Determinants of ICT adoption: evidence from firm-level data. *Applied Economics*, 43(26), 3775–3788. <https://doi.org/10.1080/00036841003724411>
- Ho, L. T., Gan, C., Jin, S., & Le, B. (2022). Artificial Intelligence and Firm Performance: Does Machine Intelligence Shield Firms from Risks? *Journal of Risk and Financial Management*, 15(7), 302. <https://doi.org/10.3390/jrfm15070302>
- Jones, C. (2023). *The A.I. Dilemma: Growth versus Existential Risk*. <https://doi.org/10.3386/w31837>

- Korinek, A., & Suh, D. (2024). Scenarios for the Transition to AGI. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4769834>
- Maslej, N., Fattorini, L., Perrault, R., Parli, V., Reuel, A., Brynjolfsson, E., Etchemendy, J., Ligett, K., Lyons, T., Manyika, J., Niebles, J. C., Shoham, Y., Wald, R., & Clark, J. (2024). *The AI Index 2024 Annual Report*.
- McElheran, K., Li, J. F., Brynjolfsson, E., Kroff, Z., Dinlersoz, E., Foster, L., & Zolas, N. (2024). AI adoption in America: Who, what, and where. *Journal of Economics & Management Strategy*, 33(2), 375–415. <https://doi.org/10.1111/jems.12576>
- Raj, M., & Seamans, R. (2019). AI, Labor, Productivity, and the Need for Firm-Level Data. In *The Economics of Artificial Intelligence* (pp. 553–566). University of Chicago Press. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226613475.003.0022>
- Yang, C.-H. (2022). How Artificial Intelligence Technology Affects Productivity and Employment: Firm-level Evidence from Taiwan. *Research Policy*, 51(6), 104536. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2022.104536>
- Zolas, N., Kroff, Z., Brynjolfsson, E., McElheran, K., Beede, D., Buffington, C., Goldschlag, N., Foster, L., & Dinlersoz, E. (2020). *Advanced Technologies Adoption and Use by U.S. Firms: Evidence from the Annual Business Survey*. <https://doi.org/10.3386/w28290>

Anexo 1. Matriz de correlaciones

Cuadro A1.1. Tabla de correlaciones

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	IA_propia	1									
2	IA_terceros	0,1529*	1								
3	IA_usos	0,5942*	0,8439*	1							
4	IA_ml	0,3998*	0,4270*	0,4889*	1						
5	IA_ps	0,4670*	0,5678*	0,6725*	0,4315*	1					
6	IA_pa	0,4204*	0,5069*	0,6182*	0,3752*	0,3283*	1				
7	IA_pl	0,4352*	0,4315*	0,5293*	0,4413*	0,4069*	0,3982*	1			
8	IA_pc	0,4391*	0,5391*	0,6314*	0,4321*	0,3536*	0,3875*	0,4272*	1		
9	IA_pt	0,4609*	0,5715*	0,6810*	0,4790*	0,4929*	0,5114*	0,4612*	0,5179*	1	
10	IA_cv	0,3615*	0,3673*	0,4338*	0,4835*	0,4553*	0,3514*	0,3914*	0,3620*	0,3089*	1
11	IA_sr	0,3137*	0,2485*	0,2956*	0,4426*	0,2762*	0,2944*	0,3847*	0,3815*	0,3347*	0,4228*
12	IA_robotics	0,3150*	0,3109*	0,3693*	0,4403*	0,3876*	0,2913*	0,3805*	0,2634*	0,2779*	0,3435*
13	IA_se	0,3128*	0,3327*	0,3966*	0,4089*	0,4156*	0,2797*	0,3412*	0,2934*	0,2150*	0,2830*
14	edad	0,0444*	0,0749*	0,0802*	0,0664*	0,0575*	0,0596*	0,0467*	0,0499*	0,0625*	0,0624*
15	tamaño	0,1696	0,1638*	0,2075*	0,1779*	0,1397*	0,1628*	0,1680*	0,1424*	0,1726*	0,1301*
16	capital h invextranje ra	0,0711*	0,0548*	0,0810*	0,0718*	0,0610*	0,0671*	0,0392*	0,0587*	0,0739*	0,0410*
17	ventas	0,1019*	0,0553*	0,0985*	0,0823*	0,0693*	0,0725*	0,0583*	0,0696*	0,0925*	0,0576*
18	gerencia	0,0293	0,0322	0,0416*	0,0176	0,0287	0,0217	0,029	0,0335	0,0256	0,0196
19	2	0,1232	0,1401*	0,1737*	0,1203*	0,1248*	0,1075*	0,1032*	0,1095*	0,1415*	0,0914*
20	INN	0,0817*	0,0964*	0,1194*	0,0770*	0,0724*	0,0719*	0,0724*	0,0865*	0,0799*	0,0517*
21	patentes	0,0578*	0,0493*	0,0619*	0,0616*	0,0409*	0,0824*	0,0348	0,0357	0,0569*	0,0580*
22	redes	0,0687*	0,0950*	0,1113*	0,0631*	0,0767*	0,0625*	0,0539*	0,0869*	0,0800*	0,0482*

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A1.2. Tabla de correlaciones

		11	12	13	14	15	16
11	IA_sr	1					
12	IA_robotics	0,4192*	1				
13	IA_se	0,2748*	0,2761*	1			
14	edad	0,0687*	0,0657*	0,0508	1		
15	tamaño	0,1175*	0,1719*	0,1312*	0,2875*	1	
16	capital h invextranje	0,0359	0,0521*	0,0429*	0,0822*	0,0392*	1
17	ra	0,0713*	*	0,0464*	0,2089*	0,2721*	0,1714*
18	ventas	0,011	0,026	0,0149	-0,0175	0,0935*	0,0004
19	gerencia	0,0754*	0,1117*	0,0852*	0,1697*	0,3611*	0,1766
20	INN	0,0297	0,0553*	0,0676*	0,1293*	0,2678*	0,1016*
21	patentes	0,0519*	*	0,0364	0,0515*	0,1310*	0,0258
22	redes	0,0322	0,0483*	0,0440	*	0,0742*	0,1551*
							0,1045*

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A1.3. Tabla de correlaciones

		17	18	19	20	21	22
17	invextranje ra	1					
18	ventas	0,0201	1				
19	gerencia	0,2536*	0,2494*	1			
20	INN	0,1430*	0,3480*	0,7299*	1		
21	patentes	0,0245	0,0697*	0,0770*	0,0720	1	
22	redes	0,0736*	0,2044*	0,1815*	0,2076*	0,0259	1

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2. Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU)

Cuadro A2.1. Descripción de las divisiones de la CIIU

División CIIU	Nombre
10	Elaboración de productos alimenticios
11	Elaboración de bebidas
12	Elaboración de productos de tabaco
13	Fabricación de productos textiles
14	Confección de prendas de vestir
15	Curtido y recurtido de cueros; fabricación de calzado; fabricación de artículos de viaje, maletas, bolsos de mano y artículos similares, y fabricación de artículos de talabartería y guarnicionería; adobo y teñido de pieles
16	Transformación de la madera y fabricación de productos de madera y de corcho, excepto muebles; fabricación de artículos de cestería y espartería
17	Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón
18	Actividades de impresión y de producción de copias a partir de grabaciones originales
19	Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y actividad de mezcla de combustibles
20	Fabricación de sustancias y productos químicos
21	Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos de uso farmacéutico
22	Fabricación de productos de caucho y de plástico
23	Fabricación de otros productos minerales no metálicos
24	Fabricación de productos metalúrgicos básicos
25	Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo
26	Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos
27	Fabricación de aparatos y equipo eléctrico
28	Fabricación de maquinaria y equipo n.c.p.
29	Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques
30	Fabricación de otros tipos de equipo de transporte
31	Fabricación de muebles, colchones y somieres
32	Otras industrias manufactureras 3250 Fabricación de materiales médicos y odontológicos
33	Instalación, mantenimiento y reparación especializada de maquinaria y equipo

Fuente: Elaboración propia con información del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Anexo 3. Estimaciones auxiliares para la adopción de IA

Cuadro A3.1. Estimación de los factores determinantes de la adopción de IA para empresas grandes (empresas con más de 250 empleados)

	IA_propia	IA_terceros	IA_usos IA_procesos	IA_ml
Edad	-0,116 (0,115)	0,125 (0,106)	0,0292 (0,0902)	0,152 (0,119)
Tamaño	0,202* (0,105)	0,245** (0,0970)	0,215** (0,0853)	0,291* (0,113)
Capital h	-1,265** (0,550)	0,825* (0,468)	0,154 (0,409)	0,674 (0,674)
Ventas	-0,157 (0,546)	-0,0160 (0,465)	-0,0222 (0,413)	-0,562 (0,479)
Redes	0,436* (0,228)	0,334* (0,183)	0,370** (0,159)	0,218 (0,244)
Invextranjera	0,444*** (0,170)	-0,122 (0,142)	0,0888 (0,124)	0,294* (0,170)
Gerencia	1,538*** (0,456)	0,218 (0,372)	0,913*** (0,336)	1,059** (0,471)
INN	0,166 (0,151)	-0,0197 (0,122)	0,00428 (0,109)	-0,163 (0,165)
Patentes	0,812 (0,501)	0,726* (0,401)	1,433*** (0,475)	0,625 (0,483)
Pseudo R ²	0,229	0,126	0,123	0,210
EF	Sí	Sí	Sí	Sí

Fuente: Elaboración propia.

Notas: Errores estándar. Los clúster a nivel de departamento figuran entre paréntesis. Efectos fijos (EF) por sector, departamento y año.

*** p < 0,01, ** p < 0,05, * p < 0,1.

Cuadro A3.2. Estimación de los factores determinantes de la adopción de IA para empresas *High Tech*

	IA_propia	IA_terceros	IA_usos IA_procesos	IA_ml
Edad	0,0223 (0,125)	-0,0103 (0,112)	-0,00360 (0,0955)	0,130 (0,132)
Tamaño	0,212*** (0,0493)	0,249*** (0,0528)	0,261*** (0,0438)	0,386*** (0,0738)
Capital h	0,976*** (0,372)	0,168 (0,354)	0,678** (0,308)	0,972** (0,490)
Ventas	0,0251 (0,323)	0,0576 (0,362)	0,170 (0,303)	-0,306 (0,519)
Redes	0,153 (0,138)	0,338*** (0,136)	0,324*** (0,114)	0,0607 (0,191)
Invextranjera	0,159 (0,167)	0,0742 (0,161)	0,135 (0,136)	0,401** (0,191)
Gerencia	0,464 (0,387)	0,260 (0,298)	0,383 (0,273)	-0,0635 (0,481)
INN	0,0982 (0,121)	0,140 (0,111)	0,0881 (0,0961)	0,227 (0,159)
Patentes	0,121 (0,569)	0,759* (0,433)	0,569 (0,429)	0,119 (0,793)
Pseudo R ²	0,161	0,122	0,133	0,221
EF	Sí	Sí	Sí	Sí

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Errores estándar. Los clúster a nivel de departamento figuran entre paréntesis. Efectos fijos (EF) por sector, departamento y año.

*** p < 0,01, ** p < 0,05, * p < 0,1.

Cuadro A3.3. Estimación de los factores determinantes de la adopción de IA para empresas con efectos no lineales de edad y tamaño

	IA_propia	IA_terceros	IA_usos IA_procesos	IA_ml
Edad	-0,00744 (0,00502)	-0,00154 (0,00375)	-0,00156 (0,00352)	-0,00305 (0,00531)
Edad*Edad	3,25e-05 (5,68e-05)	4,11e-05 (4,25e-05)	1,78e-05 (4,10e-05)	2,82e-05 (5,44e-05)
Tamaño	0,00159*** (0,000210)	0,00106*** (0,000173)	0,00134*** (0,000156)	0,00148*** (0,000258)
Tamaño*Tamaño	-4,52e-07*** (1,00e-07)	-2,84e-07*** (7,73e-08)	-3,54e-07*** (6,90e-08)	-3,81e-07*** (1,27e-07)
Capital h	0,567*** (0,196)	0,0348** (0,161)	0,547*** (0,144)	0,792*** (0,217)
Ventas	0,108 (0,131)	-0,000758 (0,105)	0,0589 (0,0958)	-0,0947 (0,152)
Redes	0,238*** (0,0690)	0,367*** (0,0518)	0,344*** (0,0465)	0,232*** (0,0854)
Invextranjera	0,354*** (0,101)	-0,145 (0,0977)	0,0775 (0,0828)	0,214* (0,119)
Gerencia	0,717*** (0,191)	0,795*** (0,132)	0,832*** (0,123)	0,827*** (0,212)
INN	0,132*** (0,0628)	0,112** (0,0502)	0,124*** (0,0450)	0,0893 (0,0781)
Patentes	0,3229 (0,242)	0,130 (0,243)	0,249 (0,207)	0,321 (0,304)
EF	Sí	Sí	Sí	Sí

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Errores estándar. Los clúster a nivel de departamento figuran entre paréntesis. Efectos fijos (EF) por sector, departamento y año.

*** p < 0,01, ** p < 0,05, * p < 0,1.

Cuadro A3.4. Estimación de los factores determinantes de la adopción de IA por área/proceso

	IA_ps	IA_pa	IA_pl	IA_pc
Edad	-0,0185 (0,0476)	0,00497 (0,0493)	-0,0574 (0,0538)	0,0283 (0,0504)
Tamaño	0,159*** (0,0277)	0,136*** (0,0284)	0,207*** (0,0321)	0,156*** (0,0263)
Capital h	0,658*** (0,201)	0,899*** (0,199)	0,772*** (0,232)	0,814*** (0,197)
Ventas	0,0576 (0,159)	-0,0548 (0,154)	0,147 (0,182)	0,220 (0,166)
Redes	0,316*** (0,0606)	0,211*** (0,0638)	0,147** (0,0715)	0,423*** (0,0723)
Invextranjera	0,0765 (0,0893)	0,161* (0,0936)	0,0337 (0,104)	0,0532 (0,0926)
Gerencia	0,735*** (0,171)	0,538*** (0,170)	0,484** (0,207)	0,470*** (0,176)
INN	0,00451 (0,0576)	0,0788 (0,0591)	0,128* (0,0676)	0,163*** (0,0595)
Patentes	0,119 (0,274)	0,854*** (0,221)	0,298 (0,276)	0,221 (0,259)
Pseudo R ²	0,124	0,127	0,150	0,135
EF	Sí	Sí	Sí	Sí

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Errores estándar. Los clúster a nivel de departamento figuran entre paréntesis. Efectos fijos (EF) por sector, departamento y año.

*** p < 0,01, ** p < 0,05, * p < 0,1.

Cuadro A3.5. Estimación de los factores determinantes de la adopción de IA por tecnologías

	IA_pt	IA_cv	IA_sr	IA_robotics	IA_se
Edad	0,0225 (0,0476)	0,0441 (0,0654)	0,198* (0,107)	-0,0444 (0,0730)	0,000984 (0,0726)
Tamaño	0,158*** (0,0268)	0,161*** (0,0375)	0,123** (0,0497)	0,265*** (0,0458)	0,166*** (0,0446)
Capital h	0,896*** (0,196)	0,754*** (0,276)	0,518* (0,312)	0,718** (0,308)	0,717** (0,294)
Ventas	-0,0505 (0,146)	0,0852 (0,216)	0,273 (0,324)	0,179 (0,285)	-0,173 (0,290)
Redes	0,278*** (0,0615)	0,176** (0,0881)	0,106 (0,128)	0,154 (0,110)	0,201** (0,0942)
Invextranjera	0,135 (0,0879)	0,157 (0,119)	0,382*** (0,147)	0,310** (0,122)	0,0647 (0,135)
Gerencia	0,924*** (0,163)	0,676*** (0,249)	0,906** (0,358)	1,217*** (0,297)	0,508* (0,266)
INN	0,0762 (0,0586)	0,0107 (0,0821)	-0,0981 (0,123)	-0,0963 (0,0973)	0,165* (0,0846)
Patentes	0,442* (0,246)	0,597** (0,298)	0,507 (0,317)	0,515 (0,316)	0,384 (0,296)
Pseudo R ²	0,152	0,169	0,225	0,279	0,168
Observaciones	12.765	12.765	12.765	12.765	12.765
EF	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Errores estándar. Los clúster a nivel de departamento figuran en paréntesis. Efectos fijos (EF) por sector, departamento y año.

*** p < 0,01, ** p < 0,05, * p < 0,1.