

La productividad en las Pymes manufactureras mexicanas en 2015 y 2018, un enfoque desde los microdatos¹

ADRIANA BECERRIL GUTIÉRREZ*
PABLO MEJÍA REYES**

RESUMEN

El objetivo de este artículo es estimar la Productividad Total de los Factores (PTF) en las pequeñas y medianas empresas (Pymes) para los años 2015 y 2018 a través de una función de producción Cobb-Douglas, considerando como insumos al capital físico, trabajo, consumo de energía, materiales y servicios. Se utilizan los microdatos de la Encuesta Nacional de Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas. Los resultados indican que los materiales tienen un coeficiente elevado en las Pymes manufactureras mexicanas, seguido del capital. Además, las empresas basadas en la ciencia obtienen mejores resultados en la estimación de la PTF, mientras que las intensivas en escala y las dominadas por el proveedor presentan un nivel medio de PTF, y las de oferentes especializados tienen un comportamiento inferior en la PTF.

Palabras clave: productividad, pymes manufactureras, microdatos.

Clasificación JEL: C10, C14, D24.

* Egresada del Doctorado en Ciencias Económico-Administrativas, Facultad de Economía, Universidad Autónoma del Estado de México, México. Correo-e: adriana.becerril@hotmail.com. ORCID: 0009-0004-2828-660X.

** Profesor-investigador, Facultad de Economía, Universidad Autónoma del Estado de México, México. Correo-e: pmejia@ yahoo.co.uk. ORCID: 0000-0002-9222-1526.

¹ Se agradece al Laboratorio de Microdatos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) por las facilidades otorgadas para el acceso a la información a los microdatos de la ENAPROCE mediante el proyecto LM 2053. Las conclusiones y opiniones expresadas en esta investigación es responsabilidad de los autores y no forman parte de las estadísticas oficiales del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica ni del INEGI.

ABSTRACT

Productivity in Mexican manufacturing SMEs in 2015 and 2018, an approach from microdata

The objective of this paper is to estimate Total Factor Productivity (TFP) in Mexican manufacturing small and medium-sized enterprises (SMEs) for the years 2015 and 2018 through a Cobb-Douglas production function, considering physical capital, labor, energy consumption, materials and services as inputs. We use microdata from the National Survey of Productivity and Competitiveness of Micro, Small and Medium Enterprises. The results indicate that materials have a high coefficient in Mexican manufacturing SMEs, followed by capital. In addition, science-based firms perform better in the TFP estimation, while scale-intensive and supplier-dominated firms have a medium level of TFP, and specialized suppliers have a lower TFP performance.

Keywords: productivity, manufacturing SMEs, microdata.

JEL Classification: C10, C14, D24.

INTRODUCCIÓN

La productividad es una medida de la eficiencia con la que se utilizan los recursos para producir bienes y servicios. La productividad se puede medir a nivel de empresa, industria, región o país, y se suele expresar como la relación entre el valor de la producción y el valor de los insumos utilizados. Su importancia radica en que tiene implicaciones tanto para la economía en su conjunto como para las empresas. Para la economía, la productividad es un determinante clave del crecimiento económico y el bienestar de un país, lo que, a su vez, permite aumentar el ingreso per cápita, el poder adquisitivo y la demanda de bienes y servicios, reduciendo con ello la pobreza (Banco de México, 2018; Dieppe *et al.*, 2021; Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE], 2015; Remes *et al.*, 2018). Para las empresas, la productividad es un indicador clave del éxito, competitividad, crecimiento y desempeño empresarial, ya que, al existir mayores ganancias, existen mayores posibilidades de ganar mercado, invertir, crear empleos e internacionalizarse (Cammeraat *et al.*, 2021).

En México, se observa una notable brecha entre las grandes empresas y las Pymes del sector manufacturero. En 2020, las grandes empresas aportaron el 94.9% de las exportaciones, mientras que las Pymes contribuyeron con el 5.0% de las exportaciones (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2022). Asimismo, de las 579,800 unidades económicas del sector manufacturero, el 0.8% (4,500 unidades económicas) son grandes empresas que generan el 75.5% del valor agregado, mientras que las Pymes tienen una participación de 5.5% en el total de las unidades económicas y contribuyen con el 21.2% del valor agregado (INEGI, 2020).²

A pesar de su menor tamaño, las Pymes son fundamentales para la economía mexicana. De acuerdo con el Censo Económico de 2018, estas empresas constituyen el 12.1% de las unidades económicas del país y generan el 17.5% del valor agregado bruto de la industria (INEGI, 2020). Se caracterizan por su capacidad de innovación, adaptación y diversificación, así como por su potencial para crear empleos y exportar sus productos al extranjero, además de que son las principales proveedoras de bienes intermedios y finales para otros sectores económicos, como el automotriz, el eléctrico, el electrónico, el textil y el alimentario (Demuner y Mercado, 2011). Sin embargo, las Pymes manufactureras también enfrentan diversos retos y desafíos, tales como la falta de financiamiento, la escasez de capital humano calificado, la competencia desleal, la inseguridad, la informalidad y la regulación excesiva (INEGI, 2018).

Por lo anterior, hay indicios para pensar que existe una baja productividad de las Pymes manufactureras. Por ello, considerando la importancia que tienen para la economía mexicana, el gobierno y la iniciativa privada han emprendido acciones con el fin de apoyarlas (Banco Mundial, 2021). No obstante, para instrumentar políticas públicas y programas de apoyo efectivos, es imprescindible una medición adecuada de su productividad que permita identificar sus fortalezas y debilidades, así como las áreas de oportunidad para mejorar su eficiencia y calidad.

Sin embargo, medir la productividad no es una tarea sencilla. En la literatura se ha medido la productividad empleando índices unifactoriales o multifactoriales (CEPAL, 2016). Los primeros solo consideran un factor de producción por lo que son fáciles de calcular y tienen datos

² Las microempresas aportan el 0.1% de las exportaciones, representan el 93.7% de las unidades económicas y generan el 3.2% del valor agregado.

disponibles, pero no consideran todos los factores del proceso productivo ni sus interacciones, lo que puede dar una visión parcial o distorsionada de la productividad real de una empresa o sector (Dieppe *et al.*, 2021 y CEPAL, 2016). Los segundos miden la producción por unidad de varios factores como trabajo, capital y energía. Se expresan mediante la PTF, que refleja la parte de la producción que no se explica por los factores tradicionales y que se atribuye a la tecnología, la innovación y otros factores intangibles (Solow, 1956). Aunque estos índices muestran la eficiencia técnica y el progreso, son más complejos de calcular y requieren más información (CEPAL, 2016).

Además, las metodologías para medir la PTF varían según el nivel de agregación. Los estudios macro utilizan datos agregados de la economía, basándose en cuentas nacionales, pero pueden ocultar la heterogeneidad entre unidades productivas y presentar problemas de calidad de datos. En contraste, los estudios micro ofrecen una visión más detallada y dinámica, capturando la diversidad de las unidades productivas. Recientemente, ha crecido el interés en el análisis microeconómico debido a la disponibilidad de datos desagregados y avances en métodos estadísticos, lo que permite entender mejor el comportamiento de los agentes económicos y evaluar el impacto de políticas públicas. En este sentido, la Encuesta Nacional de Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (ENAPROCE) constituye una fuente valiosa de información detallada de las Pymes manufactureras, sin embargo, su aplicación en investigaciones anteriores ha tenido un alcance limitado, ya que rara vez se ha utilizado para medir la productividad mediante técnicas estadísticas avanzadas que aborden problemas como la simultaneidad y la selectividad que surgen al calcular la PTF utilizando Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO).

Aunado a lo anterior, haciendo una revisión de los estudios de la PTF en el sector industrial mexicano (se puede ver con mayor detalle en la sección 2.2.), generalmente se emiten los resultados de una manera generalizada y se tiende a ignorar los efectos moderadores relacionados con el ambiente, por lo que bajo una perspectiva de la teoría de la contingencia, valdría la pena determinar la PTF de las Pymes manufactureras conforme a las características tecnológicas de las empresas que permita entender bajo ciertos contextos tecnológicos, cómo varía la productividad por tipo de empresa.

En ese contexto, el objetivo del presente estudio es doble. En primer lugar, estimar los parámetros de la función de producción Cobb-Douglas de las Pymes del sector manufacturero en México empleando los microdatos de la ENAPROCE. El segundo lugar, extender la investigación más allá de las generalizaciones habituales en la literatura y proponer un análisis diferenciado según los contextos tecnológicos de las empresas, basado en los principios de la teoría de la contingencia, por lo que se calcula la PTF por trayectoria tecnológica de acuerdo con la taxonomía propuesta por Pavitt (1984).³

Al respecto, existen varias clasificaciones alternativas a la taxonomía de Pavitt (1984) que incorporan aspectos como servicios, TIC, dimensiones organizativas y paradigmas tecnológicos (Castellacci, 2008; Evangelista *et al.*, 1997; Marsili, 2001; Pavitt y Patel, 1995). Sin embargo, la taxonomía de Pavitt sigue siendo una herramienta válida y ampliamente utilizada para analizar la innovación en el sector manufacturero mexicano, especialmente en Pymes, como lo demuestran estudios de Dutrénit y Capdevielle (1993), Pérez (2008) y Rendón *et al.* (2013). Además, Bogliacino y Pianta (2016) destacan su vigencia tras adecuaciones para incluir sectores de servicios intensivos en TIC. Por tanto, aunque requiere actualización, esta investigación mantiene la taxonomía de Pavitt (1984) como marco adecuado para clasificar y evaluar el perfil tecnológico de las Pymes manufactureras mexicanas.

El artículo se estructura en cinco apartados adicionales. El primero presenta una revisión teórica y empírica sobre el concepto y la medición de la productividad. El segundo describe los antecedentes empíricos sobre las brechas de la productividad y de los artículos que han medido la PTF en el sector manufacturero mexicano empleando una función de producción Cobb-Douglas. El tercero explica la fuente de datos, las variables y la metodología utilizada para el análisis empírico. El cuarto presenta los resultados obtenidos y su discusión. El quinto ofrece las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio. Con esta investigación se espera contribuir a una comprensión más matizada de la productividad en las Pymes manufactureras mexicanas y proporcionar bases sólidas para futuras políticas públicas orientadas a mejorar su desempeño.

³ Aunque la taxonomía de Pavitt (1984) tiene limitaciones, se utiliza en esta investigación debido a su amplia validación, especialmente en el trabajo de Dutrénit y Capdevielle (1993), que aplicó esta clasificación al sector manufacturero mexicano con resultados relevantes. Además, es adecuada para clasificar y evaluar el perfil tecnológico de las Pymes manufactureras mexicanas, al capturar diferencias en patrones de innovación según características tecnológicas y su entorno.

1. MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD

La PTF, como medida multifactorial de la productividad, se calcula mediante diversas metodologías,⁴ adoptando en este caso un enfoque econométrico.⁵ Las metodologías pueden ser macro, enfocadas en la productividad agregada de países, regiones o industrias, o micro, centradas en la productividad a nivel de empresa o planta. Los estudios macro suelen usar contabilidad del crecimiento, mientras que los estudios micro han aumentado gracias al acceso a microdatos y nuevas técnicas estadísticas (Del Gatto *et al.*, 2011). Los métodos semiparamétricos son comunes para evitar problemas de simultaneidad y selectividad en las estimaciones por MCO.

En particular, la PTF también se conoce como el residuo de Solow, en honor al economista Robert Solow, quien en 1956 desarrolló un modelo neoclásico que explica el crecimiento de una economía a partir de la función de producción Cobb-Douglas, que depende de dos factores: el capital y el trabajo. La función de producción Cobb-Douglas asume que el producto es una función homogénea de grado uno de los factores de producción, es decir, que presenta rendimientos constantes a escala y supone que el progreso técnico es neutral y exógeno. La función de producción Cobb-Douglas tiene la siguiente forma:

$$Y_{it} = A_{it} K_{it}^{\beta_k} L_{it}^{\beta_l} \quad (1)$$

donde i corresponde a la i -ésima empresa y t al t -ésimo periodo; Y representa la producción física de la empresa, K el capital físico, L el trabajo, y A se refiere a la productividad.

Aplicando logaritmos naturales y reescribiendo con la letra minúscula correspondiente, se obtiene una función de producción lineal.

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_k k_{it} + \beta_l l_{it} + u_{it} \quad (2)$$

El residuo de Solow es la parte del crecimiento económico que se debe a la mejora en la eficiencia con que se combinan los factores de

⁴ Para una revisión exhaustiva de las metodologías se sugiere ver Fried *et al.* (2008).

⁵ Según Del Gatto *et al.* (2011), las clasificaciones se basan en dos criterios: estimación determinista y econométrica, y enfoques de frontera y no fronterizos. Las metodologías econométricas se dividen en paramétricas (con forma funcional) y semiparamétricas.

producción, y no al aumento de los mismos. Por lo tanto, la PTF se obtiene como la diferencia entre el crecimiento del producto y el crecimiento ponderado de los factores. En términos matemáticos partiendo de la ecuación (2), se estiman los coeficientes para k_{it} y l_{it} , por lo que la PTF se calcula como un residuo de acuerdo con lo siguiente:

$$PTF_{it} = y_{it} - \hat{\beta}_k k_{it} - \hat{\beta}_l l_{it} \quad (3)$$

Ahora bien, para estimar los coeficientes de k_{it} y l_{it} , generalmente se recurre al método de MCO, cuyos estimadores son insesgados, consistentes (en muestras grandes) y eficientes si se cumplen los supuestos de linealidad, exogeneidad, insesgadez, homocedasticidad, independencia y normalidad de los errores. Sin embargo, se ha encontrado en la literatura que el método de MCO para obtener la PTF como residuo de una regresión puede tener problemas de simultaneidad y selectividad que provocan que los estimadores no sean insesgados ni consistentes.

El problema de simultaneidad o endogeneidad fue identificado por Marschak y Andrews (1944), Griliches (1957) y Griliches y Mairesse (1995), quienes argumentan que las empresas eligen la productividad y los insumos al mismo tiempo, lo que puede generar un sesgo a la baja en la participación del capital en el producto y un sesgo al alza en la participación del trabajo y otros insumos intermedios (energía, materiales y servicios). Esto se debe a que los insumos se pueden elegir en función de las expectativas sobre la productividad, de tal manera que si la empresa espera un comportamiento positivo en su productividad probablemente aumente su demanda de insumos. En este sentido el problema de simultaneidad implica que no se cumple con el segundo supuesto del método por MCO.

El problema de selectividad se refiere a que las decisiones de entrada y salida del mercado de las empresas están relacionadas con diferencias de productividad, es decir, es más probable que una empresa con una productividad menor salga del mercado a diferencia de otra con una productividad mayor. Esto puede ocasionar un sesgo a la baja en la participación del capital, ya que las empresas que salen del mercado tienen una menor participación del capital en el producto, lo que implica que la muestra de empresas observadas no sea representativa de la población (Van Beveren, 2010).

El problema de dispersión de precios se refiere a que los precios de los insumos pueden variar entre las empresas debido a diferencias en la calidad, la localización, el poder de mercado o el acceso al crédito. Esto puede generar un sesgo en los estimadores de los coeficientes del modelo, ya que se estaría asumiendo que los precios reflejan el valor marginal de los insumos, lo que puede no ser cierto si hay imperfecciones en los mercados. Por lo tanto, se presenta un sesgo al alza en la participación de capital y un sesgo a la baja en la participación del trabajo y otros insumos intermedios (energía, materiales y servicios) (Comisión Nacional de Productividad, 2016).

Algunos otros problemas se refieren a la multicolinealidad (o dependencia condicional) en el que las funciones de demanda de insumos pueden depender de otras, y a la heterocedasticidad, pues la varianza del error puede diferir entre empresas (Del Gatto *et al.*, 2011).

Para abordar el problema de simultaneidad, de manera tradicional se ha empleado el método de variables instrumentales que consiste en reemplazar la variable endógena por otra que esté altamente correlacionada con ella (condición de relevancia), pero que no esté afectada por el error (condición de exogeneidad). Sin embargo, Akerberg *et al.* (2007) identifican algunas limitaciones con este método como son: 1) su aplicación depende de la disponibilidad y validez de un instrumento adecuado, lo cual no siempre es fácil de encontrar o justificar y 2) puede producir estimadores ineficientes o sesgados si el instrumento es débil o no cumple las condiciones requeridas.

Ante esta situación, Olley y Pakes (1996), Levinsohn y Petrin (2003) y Akerberg *et al.* (2015) han propuesto métodos para abordar el problema de simultaneidad y de selectividad. Su común denominador es que utilizan variables proxy que reflejan las decisiones de inversión, demanda de insumos intermedios o salida de las firmas, para identificar la productividad no observada y estimar los parámetros de la función de producción.

En particular, el método de Olley y Pakes (1996) (método OP) utiliza una variable *proxy* o de control que depende de la inversión y la productividad de la empresa. Esta variable permite eliminar la correlación entre los insumos variables y el término de error que contiene la productividad no observada. El método se basa en dos supuestos principales: que la inversión es una función monótona creciente de la productividad y que la productividad sigue un proceso markoviano de primer orden que implica que la distribución de probabilidad de la productividad en el período actual depende únicamente de su valor en el período anterior.

El método de Levinsohn y Petrin (2003) (método LP) únicamente aborda el problema de simultaneidad y es una variante del método OP que utiliza el gasto intermedio (como la energía o los materiales) en lugar de la inversión como variable *proxy*. El gasto intermedio tiene la ventaja de ser menos volátil y menos afectado por los problemas de medición que la inversión. El método de LP también se basa en dos supuestos principales: que el gasto intermedio es una función monótona creciente de la productividad y que la productividad sigue un proceso markoviano de primer orden.

El método de Akerberg *et al.* (2015) (método ACF) identifica que un problema que puede presentar el método LP es que el gasto intermedio puede estar correlacionado con el insumo variable (como el trabajo) si ambos dependen de la productividad, es decir, puede haber un problema de multicolinealidad. En este sentido, el método ACF propone utilizar una segunda variable *proxy* que depende del gasto intermedio y la productividad, pero no del insumo variable. Esta segunda variable *proxy* puede ser el capital o el producto. El método también requiere los mismos supuestos que el método LP.

En resumen, han surgido diversas metodologías para abordar los problemas comentados (de manera separada). En particular, el método OP busca solucionar los problemas de simultaneidad y selectividad, el método LP únicamente aborda el problema de simultaneidad y el método ACF trabaja en el problema de dependencia condicional. Por lo que a continuación, se ofrece un cuadro resumen con los problemas que ha identificado la literatura para medir la productividad por MCO, así como las metodologías que se han desarrollado para tratar el problema.

CUADRO 1
PROBLEMAS IDENTIFICADOS EN LA LITERATURA POR ESTIMAR LA PTF POR MCO

Problema	Definición	Dirección del sesgo	Metodologías para tratar el problema
Simultaneidad	Correlación entre los insumos de producción y la productividad no observada (W_{it}).	Sesgo al alza en β_l ($\hat{\beta}_{l,MCO} > \beta_l$) Sesgo al alza en β_i ($\hat{\beta}_{i,MCO} > \beta_i$) Sesgo a la baja en β_k ($\hat{\beta}_{k,MCO} > \beta_k$)	Variables instrumentales Olley y Pakes (1996) Levinsohn y Petrin (2003)
Selectividad	Correlación entre el capital y la productividad no observada (W_{it}).	Sesgo a la baja en β_k ($\hat{\beta}_{k,MCO} > \beta_k$)	Olley y Pakes (1996)

Nota: β_l representa el coeficiente de otros insumos intermedios tales como energía, materiales y servicios.
Fuente: elaborado con base en Van Beveren (2012) y Del Pozo-Loayza y Guzmán-Pacheco (2019).

2. BREVE REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Brechas de productividad

Existe evidencia que señala que el problema del desarrollo de América Latina (AL) es la baja productividad. Según Hofman *et al.* (2017), el crecimiento económico en cinco países de AL (Argentina, Brasil, Chile, Colombia y México) durante el período 1990-2010 se vio obstaculizado por la contribución negativa de la productividad en todos los países y en casi todos los sectores, a pesar de los esfuerzos de inversión realizados en las últimas dos décadas.

En el caso de México, se ha observado que la productividad ha tenido un comportamiento estancado o decreciente en las últimas décadas, lo que ha limitado el potencial de crecimiento económico y social del país (Bergoening *et al.*, 2002; Bosworth, 1998; Faal, 2005). De acuerdo con el Banco Mundial (2021), entre 1991 y 2020, el Producto Interno Bruto (PIB) por trabajador aumentó en un 0.1% anual, muy por debajo del promedio de la OCDE y de otras economías que partieron de niveles de ingreso comparables como la República de Corea (3.3%) y la República Checa (2.0%). Además, México presenta una gran heterogeneidad en la productividad entre sectores, regiones y tamaños de empresa, lo que refleja una asignación ineficiente de los recursos y una baja difusión de las innovaciones (Banco Mundial, 2021).

En relación con la heterogeneidad entre los sectores, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2016), al hacer un análisis al periodo de 1990 a 2012, concluye que las brechas de productividad son significativas y se han ampliado. En particular, las manufacturas presentaron el mayor crecimiento promedio anual de la productividad laboral en México (2.1%), mientras que el sector primario registró una contracción promedio anual del 0.1%. Aunado a lo anterior, el Banco Mundial (2021) concluye que existe una gran diferencia entre el 10.0% de las industrias más productivas (aquellas que emplean tecnología avanzada) y el 90.0% restante (que son informales o de subsistencia). Asimismo, sostiene que no se ha mejorado la productividad agregada porque la mano de obra se ha movido hacia los sectores menos productivos.

En cuanto a la heterogeneidad entre los tamaños de empresa, la CEPAL (2016) halla que la productividad laboral de las empresas grandes manufactureras supera a la de las empresas más pequeñas. De acuerdo con los Censos Económicos de 2004, 2009 y 2014 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2004, 2009 y 2014), en promedio, las empresas

grandes tienen una productividad 20.0% mayor que las microempresas, 7.0% mayor que las pequeñas y 5.0% mayor que las medianas. Sin embargo, estas diferencias varían según el sector industrial. Además, según el Banco Mundial (2021), las empresas grandes tienen una mayor probabilidad de exportar, adoptar tecnologías digitales, acceder al financiamiento y cumplir con la regulación que las pequeñas empresas.

En resumen, la baja productividad es un problema que afecta a diversos niveles de la economía, desde el internacional hasta el empresarial, y que tiene implicaciones para el crecimiento, la competitividad y el bienestar. Por ello, la literatura se ha enfocado en analizar el comportamiento de la productividad y los factores clave que la determinan. A nivel internacional, Dieppe *et al.* (2021) examinan la evolución de la PTF en las economías emergentes y en desarrollo desde 1980 hasta 2018, y encuentran que la PTF ha disminuido en promedio en estas economías, especialmente después de la crisis financiera global de 2008-2009. Los autores identifican algunos determinantes clave de la PTF, como la innovación, la difusión del conocimiento, la competencia, la apertura comercial, la calidad institucional y el entorno macroeconómico.

A nivel nacional, existe evidencia contundente de una baja productividad agregada y una gran heterogeneidad entre sectores, regiones y tamaños de empresa. Por ejemplo, Hernández-Laos (2005) argumenta que México ha enfrentado un problema de baja productividad durante las últimas décadas, lo que ha limitado su crecimiento económico y su convergencia con otros países de la OCDE. Además, la productividad mexicana se ha visto afectada por barreras a la productividad laboral y del capital, una mala asignación de recursos, una alta informalidad, una mala calidad institucional y una fuerte competencia de China en el sector manufacturero.

Aunado a lo anterior, las brechas de productividad entre sectores y regiones se debe a que la especialización productiva y comercial se ha enfocado en actividades vinculadas a cadenas globales de valor, que han generado poco valor tecnológico local y escasos encadenamientos con el resto de la economía. Además, ha habido un cambio significativo en la composición de la producción y la mano de obra entre sectores en México, y los sectores más dinámicos tienen una productividad relativamente menor (Capdevielle, 2012; López-Córdova y Rebolledo, 2016).

Asimismo, las brechas de productividad entre el tamaño de empresas se explican por factores que afectan de manera diferencial a las Pymes frente a las grandes. Entre estos factores se encuentran el acceso al

financiamiento, equipo y maquinaria, conocimientos tecnológicos, acceso a mercados de exportación y mano de obra calificada (CEPAL, 2016; Ferraro y Goldstein, 2011). Es decir, las Pymes tienen más dificultades para acceder a los mercados internacionales y para atraer talento especializado, lo que limita el potencial de crecimiento económico y social del país y generan desigualdades de ingresos y oportunidades.

2.2. Estudios de la PTF en el sector industrial mexicano

La PTF del sector manufacturero mexicano ha sido objeto de numerosos estudios que han intentado medir su evolución, sus determinantes y sus efectos sobre el crecimiento económico y el bienestar social. Sin embargo, estos estudios presentan resultados y metodologías muy diversos, lo que dificulta obtener una visión clara y coherente del fenómeno.

No obstante, los trabajos realizados sobre el estudio de la PTF se pueden clasificar en dos vertientes; por un lado, los que se basan en el enfoque de los números índice, y, por el otro, los que se basan en la teoría neoclásica del crecimiento. Dentro de los primeros se encuentra el trabajo de Domínguez-Villalobos y Brown (2004), y entre los segundos están los trabajos de De León-Arias (2008), Fernández-Xicoténcatl *et al.* (2013), Díaz-Bautista (2017) y Félix-Armenta *et al.* (2022).

El artículo de Domínguez-Villalobos y Brown (2004) tiene como objetivo analizar la dinámica de la productividad industrial en México en dos periodos: de 1984 a 1993 y de 1994 a 2000. Para ello, utiliza el índice de Malmquist de la PTF, que permite descomponer el cambio de la productividad en cambio del progreso técnico y cambio en la eficiencia técnica. Los principales resultados obtenidos son: 1) el sector manufacturero mejoró su posición en el crecimiento de la productividad en el segundo periodo (1994-2000), 2) el progreso técnico fue el principal componente del crecimiento de la productividad en los dos periodos, mientras que la eficiencia técnica no mostró cambios significativos en el primero y mejoró en el segundo debido al acercamiento a la escala óptima, 3) la industria de aparatos eléctricos y electrónicos fue la única que mantuvo índices positivos del progreso técnico y eficiencia en los dos periodos, mientras que otras industrias como la automotriz, minerales no metálicos y química perdieron en eficiencia en el segundo periodo y 4) la región centro-norte fue la que presentó el mayor crecimiento de la productividad y la mayor concentración de la industria manufacturera, mientras que la región sureste fue la que mostró el menor crecimiento y la menor concentración.

De León-Arias (2008) plantea un estudio de la PTF regional para el periodo de 1970 a 2004. Siguiendo la metodología del residuo de Solow empleando el capital y trabajo como insumos de producción, encuentra que el coeficiente técnico para el capital en México se ubica entre 0.6 y 0.7, mientras que en la mayoría de los países el coeficiente técnico para el capital es de alrededor de 0.3 a 0.4. Asimismo, se encuentra que la PTF nacional no tuvo un crecimiento significativo entre 1970 y 2004, pues su tasa fue de apenas 0.07%. Esto se debe a que la tasa fue negativa en los periodos 1970-1985 y 1993-2004, con valores de -2.10% y -0.89% respectivamente. Sólo en el periodo 1985-1993 la tasa fue positiva, con un valor de 6.72%, debido a una mayor utilización del capital.

Fernández-Xicoténcatl *et al.* (2013) analizan la PTF en la industria manufacturera de México entre 2003 y 2010, incorporando el consumo intermedio (por lo que le llama la PTF ampliada) como un factor de producción relevante en una función de producción tipo Cobb-Douglas. Obtienen los coeficientes de los insumos de producción empleando MCO y encuentran para la industria manufacturera que el coeficiente técnico para el capital se ubica entre 0.11 y 0.22, el del trabajo entre 0.09 y 0.22 y para el consumo intermedio entre 0.51 y 0.71. Por lo que concluye que el consumo intermedio es un factor clave para la producción de la industria manufacturera, y de hecho este factor tiene más relevancia que el capital y el trabajo en esta industria, a diferencia de la economía en general. Además, señala que más del 70.0% del consumo intermedio es importado principalmente de Estados Unidos, lo que implica un canal de transmisión de las crisis económicas y un problema estructural para la eficiencia de la industria mexicana. Posterior de calcular los coeficientes, se determina el índice de la PTF ampliada en el que el índice del sector manufacturero pasó a ser de 2.89 en 2003 a 2.65 en 2010 teniendo un comportamiento similar al de la economía en su conjunto.

Díaz-Bautista (2017) estima la PTF de la economía mexicana a nivel regional y nacional en el periodo 1985-1998. Para ello, utiliza el residuo de Solow con un modelo empírico basado en una función Cobb-Douglas. El autor encuentra que la PTF creció a una tasa de 2.33% impulsada por el aumento del empleo en las entidades de la región fronteriza norte. El autor también analizan el impacto de la apertura comercial y la inversión extranjera directa en la PTF regional y nacional.

Félix-Armenta *et al.* (2022) analiza la evolución de la PTF en la industria manufacturera de la región centro de México, que comprende las entidades

de Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla y Tlaxcala, en el periodo 1993-2018. Los autores utilizan el modelo de Solow con una función de producción tipo Cobb-Douglas para estimar la PTF. Los resultados muestran una baja eficiencia productiva en la región centro, con un crecimiento promedio anual de la PTF de solo 0.12% en el que se tuvo un crecimiento de 0.92% del empleo y de 1.88% del capital. Los autores concluyen que la región centro ha dejado de ser el mayor núcleo industrial del país y que se requieren políticas públicas que fomenten la innovación, el desarrollo tecnológico y la competitividad en el sector manufacturero.

Mendoza-Ramos y Díaz-González (2019) analizan la contribución de los factores de producción al desarrollo de la industria manufacturera de alta tecnología en México entre 2003 y 2013. Para ello, utiliza una función de producción *translog*, que permite evaluar la productividad de cada factor y la PTF, así como obtener resultados a nivel de año censal, estatal y por rama económica. Los resultados muestran que el trabajo contribuyó con 0.567 al proceso productivo, seguido de los bienes intermedios con 0.357 y el capital con 0.173. De lo anterior los autores infieren que aunque la industria manufacturera de alta tecnología depende en gran parte de la dotación de tecnología y maquinaria para el proceso de producción, el factor capital tiene una participación menor que los bienes intermedios debido a la presencia de empresas ensambladoras en esta industria, en donde la innovación tecnológica o el cambio técnico se incorpora al proceso de ensamblado de productos, en un proceso en el que el componente laboral tiene predominio. Asimismo, se encuentra que el año 2008 fue el de mayor productividad de 0.34, debido al establecimiento de nuevas empresas en el centro del país. Sin embargo, la productividad cayó en el periodo 2008-2013 por los efectos de la crisis mundial, que afectó el empleo, la inversión y el mercado de divisas.

En resumen, si bien todos estudios citados si bien se enfocan en analizar la PTF en México, en realidad utilizan distintas funciones de producción y periodos de tiempo. En particular, los factores de producción que se consideran en los artículos varían según la función de producción que se utilice. En general, los factores más comunes son el capital, el trabajo y el consumo intermedio. Por ejemplo, en los artículos de De León-Arias (2008), Díaz-Bautista (2017) y Félix-Armenta *et al.* (2022) se considera el capital y el trabajo como factores de producción, mientras que en los de Fernández-Xicoténcatl *et al.* (2013) y Mendoza-Ramos y Díaz-González (2019) adicional al capital y trabajo se incluye el consumo intermedio.

Aún con estas diferencias, el común denominador de estos estudios es que concluyen que la PTF en la industria manufacturera de México ha sido baja y con tendencia decreciente. En cuanto a los insumos de producción el factor trabajo ha sido el principal determinante del crecimiento de la PTF en la industria manufacturera de México, mientras que el factor capital ha tenido una menor participación. Asimismo, el consumo intermedio ha sido un factor clave para la producción de la industria manufacturera de México, especialmente en las industrias de alta tecnología, pero también ha implicado una mayor dependencia de las importaciones y una menor capacidad de innovación.

Finalmente, hay que destacar que el común denominador de estos estudios es que obtienen sus datos de las cuentas nacionales o de fuentes oficiales que recopilan información a nivel agregado. Por ejemplo, Fernández-Xicoténcatl *et al.* (2013) obtienen la información del Sistema de Cuentas Nacionales de México del INEGI; Félix-Armenta *et al.* (2022) emplean los datos de las manufacturas a partir de los últimos seis censos quinquenales realizados por INEGI pertenecientes a los años 1994, 1999, 2004, 2009, 2014 y 2019. Mendoza-Ramos y Díaz-González (2019) obtienen sus datos de los Censos Económicos del INEGI para los años 2004, 2009 y 2014.

Además, estos trabajos calculan la función de producción mediante MCO, a pesar de que la literatura advierte que obtener la PTF como residuo de una regresión por MCO puede tener problemas de simultaneidad y selectividad, lo que provoca que los estimadores no sean insesgados ni consistentes. En este sentido, debido a la mayor disponibilidad de datos a nivel firmas que existen en algunos países de América Latina, de manera reciente se han elaborado estudios que miden la PTF basándose en las metodologías semiparamétricas.

Solo por mencionar algunos ejemplos, Schor (2004) emplea el método de LP para el cálculo de la PTF en empresas de Brasil, Pavcnik (2002) usa el método OP para Chile, Casacuberta y Gandelman (2009) emplea el método LP para Uruguay. Tello (2012) y Del Pozo-Loayza y Guzmán-Pacheco (2019) estiman la PTF a nivel de firmas en el Perú; el primero emplea los métodos de LP y OP y los segundos ocupan el método ACF.⁶

⁶ Para un resumen más detallado de los estudios elaborados se sugiere ver el Cuadro 1 de Tello (2012).

Para el caso de México, Calderón-Madrid y Voicu (2004) con la finalidad de analizar el desempeño de alrededor de 3,994 empresas manufactureras mexicanas después de la liberalización comercial bajo el marco del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), para el periodo de 1993 a 2000, calculan la PTF utilizando el método de OP. Al comparar los resultados obtenidos entre el método de efectos fijos y el método de OP encuentra que los coeficientes de capital y mano de obra calificada son más altos, y los de mano de obra no calificada son más bajos, para todos los sectores. Esto concuerda con lo que se espera del sesgo de simultaneidad: los factores que se pueden ajustar fácilmente, como la mano de obra no calificada, tienen una correlación positiva con los *shocks* de productividad, lo que hace que las estimaciones de efectos fijos se sobrestimen. Lo opuesto sucede con los factores que se ajustan lentamente, como la mano de obra calificada. Los coeficientes de capital más altos se explican por la mayor probabilidad de supervivencia de las empresas grandes ante las perturbaciones negativas de la productividad.

Además, en el análisis de los coeficientes de los insumos de producción se encuentran variaciones por sector. Por ejemplo, en la industria química el coeficiente de capital es de 0.522, el de la mano de obra calificada de 0.500 y la no calificada de sólo 0.036. En cambio, en la industria del papel, el capital tiene una participación menor de 0.196, la mano de obra no calificada de 0.375 y la calificada de 0.391.

Otro artículo aplicado al caso mexicano es el Banco de México (2021) en el que, con el objetivo de estudiar el efecto de la liberalización comercial bajo el TLCAN sobre la productividad de la industria automotriz mexicana, se estima una función de producción de Cobb-Douglas por el método de LP usando un panel de establecimientos para el periodo 1994-2014. Los coeficientes estimados son todos positivos, y estadísticamente significativos; el coeficiente más alto es el de la electricidad, de 0.732, luego el del trabajo, de 0.431 y finalmente el de capital de 0.204.

3. METODOLOGÍA Y DATOS

En esta sección se especifica el modelo que se emplea para estimar la PTF mediante la metodología de OP. La disponibilidad de la información es un factor clave para aproximar los insumos de producción

y calcular la PTF. En otras palabras, para estimar la PTF se requiere contar con datos confiables y actualizados sobre el stock de capital, el empleo, las horas trabajadas, el nivel de educación y la calidad del capital humano. Sin embargo, en muchos países en desarrollo estos datos son escasos o inexistentes, lo que dificulta el análisis de la PTF y su contribución al crecimiento económico.

Asimismo, para medir la PTF con métodos semiparamétricos se debe tener datos a nivel de empresa o establecimiento que permitan estimar una función de producción. Además de contar con los siguientes datos: 1) la producción, medida en unidades físicas o en valor agregado, 2) los factores de producción tradicionales, como el capital, el trabajo, la energía, los materiales y los servicios, 3) las variables proxy o instrumentales que capturan la información sobre el proceso productivo y que pueden ser el precio de los insumos o el gasto en inversión, entre otras y 4) las variables de control que pueden afectar la producción y la productividad, como el tamaño de la empresa, el sector económico, la ubicación geográfica o el año de observación, entre otras.

3.1. Factores de producción a considerar

Una función de producción es una expresión matemática que relaciona la cantidad de producto que se puede obtener con las cantidades de los factores productivos empleados. Los factores productivos más comunes son el capital y el trabajo, pero también existen otros como los insumos intermedios. Los insumos intermedios son aquellos bienes y servicios que se utilizan en el proceso de producción, pero que no forman parte del producto final. En este sentido, los factores productivos empleados para medir la PTF han variado desde el modelo de Solow (1956) hasta la metodología KLEMS (Hofman *et al.*, 2017). El primero únicamente considera el capital y el trabajo como insumos de producción. En cambio, la metodología KLEMS, por su parte, desagrega los factores productivos en cinco componentes: capital (K), trabajo (L), energía (E), materiales (M) y servicios (S). Es así que, por la disponibilidad de la información, de manera más reciente los trabajos empíricos incluyen los insumos intermedios en una función de producción, en lugar de solo considerar el capital y el trabajo, para obtener una medida más precisa y desagregada de la PTF (Fernández-Xicoténcatl *et al.*, 2013).

Para el presente estudio se hace uso de la ENAPROCE (INEGI, 2015 y 2018), la cual proporciona información sobre las características, condiciones y desempeño de las empresas micro, pequeñas y medianas en México. Esta encuesta abarca los sectores de industria, comercio y servicios y ofrece información detallada sobre aspectos como tamaño, actividad económica, innovación, calidad, capacitación, financiamiento y comercio exterior de las empresas mexicanas.

Además, la ENAPROCE proporciona información que puede ser empleada para aproximar los factores de producción ya que recoge datos sobre el uso de insumos, la cantidad y calidad de la mano de obra, el capital fijo y el valor agregado de las empresas. Estos datos permiten estimar la productividad

Por lo anterior, los datos empleados en esta investigación provienen de la ENAPROCE que el INEGI levantó en 2015 y 2018 para conocer más a las Pymes manufactureras. El cuadro 2 muestra los indicadores que se usan para medir los factores de producción según la ENAPROCE.

CUADRO 2
ESTIMADORES DE LOS INSUMOS DE PRODUCCIÓN PARA CALCULAR LA PTF

Símbolo	Nombre	Estimadores
Y_{it}	Producción	Valor agregado neto. Para calcularlo se resta al total de ingresos que obtuvo la empresa la cantidad total por el consumo de bienes y servicios.
K_{it}	Capital	Valor presente o a costo de reposición de los activos fijos de la empresa como maquinaria y equipo, equipo de cómputo y periféricos y otros activos fijos (bienes inmuebles, transporte, mobiliario, equipo de oficina y otros).
L_{it}	Trabajo	Gasto monetario de los gastos de personal. Para calcularlo se considera el promedio anual de la remuneración y el personal ocupado que laboró en la empresa como personal directivo, de supervisión, operativo y de apoyo.
E_{it}	Energía	Cantidad que pagó la empresa por consumo de energéticos.
M_{it}	Materiales	Cantidad que pagó la empresa por materias primas, mercancías compradas para su reventa, maquila y consumo de otros bienes y servicios.
S_{it}	Servicios	Cantidad que pagó la empresa por telecomunicaciones y suministro de personal (<i>outsourcing</i>).
I_{it}	Inversión	Inversión que realizó la empresa (durante el año de referencia) en maquinaria y equipo, equipo de cómputo y periféricos y otros activos fijos (bienes inmuebles, transporte, mobiliario, equipo de oficina y otros).

Nota: La variable de inversión (I_{it}) se emplea para el método OP que se detalla más adelante. La variable energía se refiere al importe por el consumo de energía eléctrica, combustibles y otras fuentes de energía empleados para el funcionamiento de la maquinaria, equipo e instalaciones utilizadas en el proceso de producción (INEGI, 2018).

Fuente: elaboración con base en el descriptor de archivos de la ENAPROCE 2015 y 2018 (INEGI, 2015 y 2018).

Con base en la información de la ENAPROCE, se consideraron como insumos de producción: 1) el capital físico medido en términos del valor presente o a costo de reposición de los activos fijos de la empresa, 2) el trabajo aproximado con la remuneración anual al personal ocupado, 3) el consumo de energía calculado con la cantidad que pagó la empresa por consumo de energéticos como energía eléctrica y combustibles, 4) los materiales medidos por la cantidad que pagó la empresa por materias primas, maquila y consumo de otros bienes y servicios y 5) servicios como la cantidad que pagó la empresa por telecomunicaciones y suministro de personal (*outsourcing*). Por lo anterior, se parte de una función de producción Cobb-Douglas que tiene rendimientos constantes a escala como la siguiente:

$$Y_{it} = A_{it} K_{it}^{\beta_k} L_{it}^{\beta_l} E_{it}^{\beta_e} M_{it}^{\beta_m} S_{it}^{\beta_s} e^{u_{it}} \quad (4)$$

donde i corresponde a la i -ésima empresa ($i=1, \dots, N$) y t al t -ésimo periodo ($t=2015, 2018$). Y representa la producción física de la empresa, K al capital físico, L al trabajo, E al consumo de energía (eléctrica, combustible y otras fuentes), M a los materiales, S al pago de servicios y A a la productividad.

Aplicando logaritmos naturales y reescribiendo con la letra minúscula correspondiente, se obtiene una función de producción lineal.

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_k k_{it} + \beta_l l_{it} + \beta_e e_{it} + \beta_m m_{it} + \beta_s s_{it} + u_{it} \quad (5)$$

De (5), u_{it} se puede descomponer en un componente observable para las empresas, pero no para el investigador (η_{it})⁷ y un componente no observable ni para las empresas ni para los investigadores (ω_{it}) (Ackeberg *et al.*, 2015), es decir, son variables independientes e idénticamente distribuidas (*iid*) que representa desviaciones inesperadas de la media

⁷ En la literatura se dice que es un componente de la productividad transmitida a los factores y que puede afectar la elección de los insumos (shocks de productividad inobservable).

debido a errores de medición, retrasos inesperados u otras circunstancias externas. Entonces, la ecuación (5) se transforma en:

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_k k_{it} + \beta_l l_{it} + \beta_e e_{it} + \beta_m m_{it} + \beta_s s_{it} + \omega_{it} + \eta_{it} \quad (6)^8$$

Para estimar este modelo se aplican MCO como punto de referencia, aunque, considerando que su estimación pudiera reportar problemas de simultaneidad y selectividad, generando estimadores sesgados e inconsistentes, se consideró pertinente emplear un método semiparamétrico. Como se ha establecido previamente, mientras que el método OP busca solucionar los problemas de simultaneidad y selectividad, el método LP únicamente aborda el problema de simultaneidad y el ACF trabaja en el problema de dependencia condicional. En este sentido, debido a que los modelos de estimación por MCO asumen no colinealidad, únicamente se calcula la PTF con el método OP, lo cual se explica con mayor detenimiento a continuación.

El método OP busca abordar los problemas de simultaneidad y selectividad, por lo que emplean la decisión de la empresa en invertir más en capital como variable *proxy* de la productividad no observada, la cual, a su vez, depende del capital y la productividad observable para las empresas. Para ello emplea tres supuestos: 1) la inversión depende de la productividad observable para las empresas y del capital $i_{it} = i(k_{it}, \omega_{it})$,⁹ 2) la demanda de inversión de capital es una función monótona creciente con respecto a la productividad por lo que se asegura la invertibilidad de la función de demanda de inversión, es

⁸ Akerberg *et al.* (2015) proponen un método para resolver los problemas de endogeneidad y dependencia condicional (Método ACF) pues asumen que la productividad también depende del factor trabajo, por lo que no es posible identificar β_l en la primera etapa, pero proponen un método en dos etapas. Emplean tres supuestos: 1) la demanda de materiales dependen de la productividad y del capital y está condicionada al factor trabajo, $m_{it} = f(k_{it}, l_{it}, \omega_{it})$; 2) la demanda de materiales es una función monótona creciente con respecto a la productividad por lo que $\omega_{it} = f^{-1}(k_{it}, l_{it}, m_{it})$, y 3) la productividad sigue un proceso de Markov de primer orden, es decir, $\omega_{it} = E[\omega_{it} | \omega_{it-1}] + \xi_{it}$. Dado lo anterior, la ecuación (6) se convierte en:

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_k k_{it} + \beta_l l_{it} + \beta_e e_{it} + \beta_m m_{it} + \beta_s s_{it} + f^{-1}(k_{it}, l_{it}, m_{it}) + \eta_{it}$$

⁹ El trabajo es un factor no dinámico, por lo que no afecta las decisiones futuras de inversión (Rengifo, 2019). La demanda de inversión es incondicional al trabajo (Akerberg *et al.*, 2015) y el capital se considera un insumo fijo (Rengifo-Jaramillo, 2019).

decir, $\omega_{it} = h(k_{it}, i_{it})$, y 3) la productividad sigue un proceso de Markov de primer orden, es decir, $\omega_{it} = E[\omega_{it}|\omega_{it-1}] + \xi_{it} = g(\omega_{it-1}) + \xi_{it}$, donde ξ_{it} no está relacionado con el capital, pero sí con el trabajo, lo que implica que las empresas forman las expectativas de su productividad con base en lo observado un periodo atrás. Dado lo anterior, la ecuación (6) se convierte en:

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_k k_{it} + \beta_l l_{it} + \beta_e e_{it} + \beta_m m_{it} + \beta_s s_{it} + h_t(k_{it}, i_{it}) + \eta_{it} \quad (7)$$

Reescribiéndola se tiene que:

$$y_{it} = \beta_l l_{it} + \beta_e e_{it} + \beta_m m_{it} + \beta_s s_{it} + \phi_{it}(k_{it}, i_{it}) + \eta_{it} \quad (8)$$

donde:

$$\phi_{it} = \beta_0 + \beta_k k_{it} + h(k_{it}, i_{it}) \quad (9)$$

Debido a que no se conoce la forma funcional de $h(\bullet)$ no se puede estimar la ecuación por MCO pues es una ecuación parcialmente lineal, por lo que se propone un proceso de estimación en dos etapas. La primera estima la ecuación (8) por MCO y considera que la ecuación (9) puede ser aproximada a un polinomio de orden superior (de segundo orden de acuerdo con Yasar *et al.*, 2008, de tercer o cuarto orden¹⁰ de acuerdo con Del Gatto *et al.*, 2011) en capital e inversión. De esta manera las estimaciones de los coeficientes β_p , β_e , β_m y β_s serán consistentes ya que $\phi_{it}(\bullet)$ está capturando la productividad no observada y, por lo tanto, el error de la regresión ya no se relaciona con los insumos (Yasar *et al.*, 2008). En la segunda etapa se buscan estimadores del parámetro del capital (β_k). Para ello se parte del tercer supuesto, en el que la productividad sigue un proceso de Markov de primer orden, es decir,

$$\omega_{it} = E[\omega_{it}|\omega_{it-1}] + \xi_{it} = g(\omega_{it-1}) + \xi_{it}$$

Ahora bien, condicionado a la expectativa de supervivencia (X_{it}), se tiene que

$$E[\omega_{it}|\omega_{it-1}, \chi_{it}] = g(P_{it}, \phi_{it} - \beta_k k_{it}) \quad (10)$$

¹⁰ En la estimación en STATA se considera de cuarto orden.

donde P_{it} es la probabilidad de supervivencia de la empresa para el siguiente periodo, es decir, $P_{it} = Pr\{X_{it}=1\}$. En este sentido, se estima la probabilidad de supervivencia con un modelo probit.

Dado lo anterior, se obtiene una estimación consistente del coeficiente de capital sustituyendo los coeficientes estimados de mano de obra ($\hat{\beta}_l$), energía ($\hat{\beta}_e$), materiales ($\hat{\beta}_m$) y servicios ($\hat{\beta}_s$) de la primera etapa, así como la probabilidad de supervivencia estimada en la ecuación $\hat{P}_{it}$, por lo que se tiene:

$$y_{it} - \hat{\beta}_l l_{it} - \hat{\beta}_e e_{it} - \hat{\beta}_m m_{it} - \hat{\beta}_s s_{it} = \beta_0 + \beta_k k_{it} + g(\hat{P}_{it}, \hat{\phi}_{it-1} - \beta_k k_{it-1}) + \xi_{it} + \eta_{it} \quad (11)$$

donde la función $g(\bullet)$ se aproxima mediante un polinomio de segundo orden. El coeficiente del capital se puede obtener aplicando mínimos cuadrados no lineales en la ecuación (11). Los errores estándar se pueden calcular mediante *bootstrapping*.

Al respecto, las críticas que ha recibido este método son: 1) en realidad la inversión puede tener el mismo valor para los distintos niveles de productividad,¹¹ por lo que no se puede invertir la función de demanda de la inversión (Del Pozo-Loayza y Guzmán-Pacheco, 2019), y 2) se pierden muchas observaciones al delimitar el análisis únicamente a las empresas que han invertido.

En cuanto a la implementación del método OP,¹² se aproximaron las funciones de los modelos a un polinomio de grado cuatro según Del Gatto *et al.* (2011) y se hicieron 50 repeticiones de *bootstrap* para obtener las desviaciones estándar. El método OP, que se explica en el capítulo anterior, usa la inversión en capital como variable *proxy* de la productividad no observada. Esto implica que solo se estiman las empresas con inversión positiva, que son 4,104 en este caso.

Una vez que se estiman los coeficientes de los insumos, se puede estimar la PTF como un residual de la función de producción, en

¹¹ La productividad también pudiera depender de los costos de ajuste o a las restricciones de indivisibilidad del capital (Rengifo-Jaramillo, 2019).

¹² Para implementar el método OP, se usó el comando “prodest” en STATA 14, siguiendo a Rovigatti y Mollisi (2018). Este comando es preferible a “opreg” y “levpet” por su rapidez y personalización. “Prodest” requiere el trabajo como variable libre, el capital como variable de estado, y la electricidad, materiales y/o combustible como variable proxy. En este caso, se usó la electricidad como variable proxy.

términos matemáticos partiendo de la ecuación (5) se obtiene el residual conforme a lo siguiente:

$$PTF_{it} = y_{it} - \hat{\beta}_k k_{it} - \hat{\beta}_l l_{it} - \hat{\beta}_e e_{it} - \hat{\beta}_m m_{it} - \hat{\beta}_s s_{it} \quad (12)$$

4. RESULTADOS OBTENIDOS

En el cuadro 3 se presentan los resultados de la estimación de la ecuación (6) por el método OP presentando como modelo referencial la estimación por MCO. En la columna (2) se presentan los resultados obtenidos por el método OP donde los coeficientes estimados relacionados con la participación del capital, trabajo, energía, materiales y servicio en la función de producción son $\hat{\beta}_k=0.1537$, $\hat{\beta}_l=0.1391$, $\hat{\beta}_e=0.1450$, $\hat{\beta}_m=0.2710$ y $\hat{\beta}_s=0.1090$. De los resultados se pueden destacar varios aspectos.¹³

En primer lugar, los coeficientes estimados indican la elasticidad de la producción con respecto a cada factor productivo. Por ejemplo, el coeficiente de 0.1537 para el capital significa que si el capital aumenta en un 1.0%, la producción aumenta en un 0.1537%. El factor productivo con mayor elasticidad es el de los materiales porque tiene el coeficiente estimado más alto (0.2710). Esto significa que la producción es más sensible a los cambios en los materiales que en los otros factores. Por ejemplo, si los materiales aumentan en un 1.0%, la producción aumenta en un 0.2710%, lo que puede deberse a que los materiales son un insumo clave para la producción y que las empresas pueden ajustar fácilmente su uso de materiales según las condiciones del mercado.

Los resultados son congruentes con Fernández-Xicoténcatl *et al.* (2013), quienes encuentran que el coeficiente de materiales (de 0.5225) presenta un mayor impacto respecto al resto de los insumos, seguido por el capital, con un coeficiente de 0.1979. Esto significa que la producción

¹³ Para verificar que la estimación por MCO cumpla con los supuestos teóricos, se realizaron pruebas de multicolinealidad, heterocedasticidad y normalidad del error. Los resultados mostraron que no hay alta correlación entre variables (VIF), no hay problemas de heterocedasticidad (Breusch-Pagan), y aunque la normalidad del error no se cumple (Skewness-Kurtosis), el tamaño de muestra grande lo compensa. En general, los modelos cumplen con los supuestos de no colinealidad, homocedasticidad y normalidad.

de las Pymes manufactureras mexicanas depende en gran medida del uso de los materiales, que en su mayoría son importados de Estados Unidos, lo que identifica un canal de transmisión de la crisis económica estadounidense a la industria mexicana, lo que afecta su eficiencia y competitividad (Fernández-Xicoténcatl *et al.*, 2013; Mendoza-Cota, 2011; Moreno-Brid *et al.*, 2006).

Después del impacto de los materiales, se observa un mayor impacto del capital en comparación con el trabajo, incluso corrigiendo por los problemas de simultaneidad y selectividad. Esto también es congruente con los resultados obtenidos por De León-Arias (2008) y Félix-Armenta *et al.* (2022), quienes encontraron un mayor impacto del capital respecto al trabajo. De León-Arias (2008) argumenta que el coeficiente de capital en la mayoría de los países suele ser más bajo en comparación con el caso mexicano, lo cual se podría explicar por la menor intensidad de capital en las economías en desarrollo, donde la mano de obra es relativamente más abundante y barata.

Por el contrario, cuando Mendoza-Ramos y Díaz-González (2019) analizaron la industria manufacturera de alta tecnología en México, encontraron una predominancia del trabajo. Esto se podría explicar porque en la industria de alta tecnología, la innovación y el desarrollo de productos requieren una mayor inversión en capital humano especializado, lo que aumenta la importancia relativa del trabajo en comparación con otros factores productivos.

En segundo lugar, los coeficientes estimados dan cuenta de una sobreestimación del método de MCO de la participación del trabajo ($\hat{\beta}_{l,MCO} > \hat{\beta}_{l,OP}$) y los insumos ($\hat{\beta}_{ems,MCO} > \hat{\beta}_{ems,OP}$) y una subestimación en la participación del capital ($\hat{\beta}_{k,MCO} > \hat{\beta}_{k,OP}$) generado por la endogeneidad de los factores productivos. Los resultados obtenidos para el método OP son congruentes con la literatura internacional (Pavcnik, 2002; Tello, 2012) y su estimación permite que se corrijan los problemas identificados en la literatura que pueden generar estimadores sesgados. En el caso particular de México, Calderón-Madrid y Voicu (2004) obtienen conclusiones similares al comparar los resultados obtenidos entre el método de efectos fijos y el método de OP pues encuentran una sobreestimación del método de efectos fijos en la mano de obra no calificada y una subestimación en los coeficientes de capital y la mano de obra calificada.

CUADRO 3
RESULTADOS DE LA REGRESIÓN POR MÉTODOS SEMIPARAMÉTRICOS

Factores	Métodos	
	Modelo 1	Modelo 2
	MCO	OP
Capital	0.1388***	0.1537***
Trabajo	0.1608***	0.1391***
Energía	0.1503***	0.1450***
Materiales	0.2912***	0.2710***
Servicios	0.1213***	0.1090***
Observaciones	5,349	4,104

Nota: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

Fuente: elaboración con datos de la ENAPROCE 2015 y 2018.

Una vez obtenidos los coeficientes estimados de los insumos de producción, se calculó la PTF como se muestra en la ecuación (12) para el sector manufacturero. En el cuadro 4 se muestra la estadística descriptiva más relevante del cálculo realizado. Entre los aspectos más destacados, se observa que la mediana (p_{50}) está cerca de la media, lo que indica una distribución de datos relativamente simétrica, con una concentración de valores alrededor de la media. Además, la desviación estándar relativamente alta sugiere una gran heterogeneidad en la productividad de las Pymes manufactureras mexicanas. Esto implica que algunas empresas son muy productivas, mientras que otras podrían estar operando con pérdidas, como lo indica el valor mínimo obtenido de -2.6201.

CUADRO 4
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA PTF

Estadística	Número	Media	Dev. estándar	Min	Máx	p_{10}	p_{25}	p_{50}	p_{75}	p_{90}
PTF (OP)	6886	3.2954	0.8625	-2.6201	8.5562	2.3355	2.7663	3.2255	3.7347	4.3547

Fuente: elaboración con datos de la ENAPROCE 2015 y 2018.

Posteriormente, se calculó la PTF haciendo distinción por trayectoria tecnológica¹⁴ conforme a la taxonomía de Pavitt (1984): empresas

¹⁴ Por ejemplo, Camino-Mogro *et al.* (2018) calculan una función de producción del sector manufacturero ecuatoriano y con base en los coeficientes de los insumos de producción obtenidos calculan la PTF por tamaño de empresa.

Para clasificar a las Pymes por su trayectoria tecnológica, se elaboró una relación de los principales productos elaborados y su clasificación según la taxonomía de Pavitt (1984), basándose en Dutrénit y Capdevielle (1993), quienes agrupan las clases de actividad industrial mexicanas en las cuatro trayectorias tecnológicas.

dominadas por proveedores, empresas intensivas en escala, proveedores especializados y empresas basadas en la ciencia.¹⁵ En el cuadro 5 se presentan los resultados de la media de la PTF de las Pymes manufactureras conforme a la taxonomía de Pavitt (1984). Se encontró que las empresas basadas en la ciencia presentan los mejores resultados en la estimación de la PTF, las intensivas en escala y las dominadas por el proveedor presentan un nivel medio de PTF y las de oferentes especializados presentan un comportamiento inferior en la PTF.

CUADRO 5
RESULTADOS DE LA PTF POR TRAYECTORIA TECNOLÓGICA

Trayectoria tecnológica	PTF (OP)
Basado en la ciencia	3.4513
De oferentes especializados	3.2132
Intensivo en escala	3.3405
Dominado por el proveedor	3.3911
Total	3.2954

Notas: los datos presentados corresponden a la media de la PTF de las empresas que se clasifican dentro de cada trayectoria tecnológica.

Se comparó el puntaje obtenido por trayectoria tecnológica en relación con las demás conforme a la siguiente escala de color:

1 Inferior 2 Bajo 3 Medio 4 Alto 5 Superior

Fuente: elaboración con datos de la ENAPROCE 2015 y 2018.

Lo anterior, pudiera implicar que las empresas basadas en la ciencia, al dedicarse a actividades que requieren un alto nivel de conocimiento científico y tecnológico (como la biotecnología, la nanotecnología o la ingeniería avanzada) pueden presentar mayor PTF porque invierten más en I+D, innovación y capital humano, lo que les permite generar más producción con los mismos factores productivos o con menos.

Por el contrario, las empresas intensivas en escala y las dominadas por el proveedor, al caracterizarse por tener una gran dependencia de sus proveedores o por basarse en la explotación de las economías de escala, tienen una PTF media porque, aunque pueden aprovechar las ventajas de sus proveedores o de su tamaño, también están expuestas a problemas de competencia, regulación o adaptación a los cambios del mercado.

¹⁵ La taxonomía de Pavitt (1984) ha sido criticada por clasificar por industria en lugar de por empresas, sigue siendo la más conocida y aceptada, influyendo significativamente en la investigación sobre el cambio tecnológico (Archibugi, 2001).

Finalmente, las empresas de oferentes especializados, al dedicarse a actividades que requieren un alto grado de especialización y flexibilidad (como la consultoría, el diseño o los servicios profesionales), pueden tener dificultades para proteger su propiedad intelectual, competir con empresas más grandes o más diversificadas o acceder o crear tecnología que les permita optimizar sus métodos de producción o aumentar la calidad o la variedad de sus bienes o servicios.

CONCLUSIONES

En este estudio se emplea un enfoque econométrico riguroso para medir el PTF en las Pymes manufactureras mexicanas utilizando microdatos de ENAPROCE y aplicando el método OP, que aborda cuestiones de simultaneidad y sesgo de selección inherentes a la estimación de funciones de producción. Para ello, se hace la estimación utilizando una función de producción Cobb-Douglas considerando como insumos de producción al capital, al trabajo, a la energía, a los materiales y a los servicios. La estimación fue posible empleando los microdatos de la ENAPROCE que tienen la ventaja de captar los matices de la productividad a nivel de empresa y permiten una comprensión más detallada de los factores que influyen en la PTF.

Los resultados indican que los materiales poseen un alto coeficiente en la función de producción, lo que sugiere que desempeñan un papel fundamental en la mejora de la productividad. A este le sigue de cerca el capital, que también contribuye significativamente a la PTF. Desde una perspectiva económica, estos resultados implican que las medidas orientadas a mejorar la eficiencia y el uso óptimo de los materiales podrían generar mayores beneficios productivos. Sin embargo, también es necesario evaluar el costo marginal de incrementar cada insumo para determinar su rentabilidad real. Por ejemplo, aunque el capital y la energía tienen coeficientes menores (0.1537 y 0.1450 respectivamente), si su costo es relativamente bajo o si su mejora tecnológica reduce costos, podrían ser áreas rentables para invertir. En contraste, insumos con coeficientes más bajos, como los servicios (0.1090), podrían no justificar inversiones adicionales significativas y convendría mantenerlos en niveles eficientes sin aumentar su uso. Por lo tanto, la estrategia económica recomendada es priorizar la optimización de insumos rentables y mejorar la eficiencia de otros, buscando siempre maximizar la rentabilidad global.

En particular, el hecho de que el coeficiente de materiales sea mayor en comparación con el resto de los insumos implica que los materiales son insumos clave para la producción en las Pymes manufactureras mexicanas y significa que el costo y la calidad de los materiales influyen directamente en el nivel y la competitividad de la producción. Por lo tanto, las Pymes manufactureras mexicanas deben buscar proveedores confiables y eficientes de materiales, así como aprovechar las ventajas de la apertura comercial para acceder a insumos importados de mejor calidad o menor precio. También significa que las Pymes manufactureras mexicanas deben optimizar el uso de los materiales para reducir el desperdicio y mejorar la productividad.

Además, las ventajas del uso de la clasificación de Pavitt se demuestran con la confirmación de que las empresas basadas en la ciencia muestran resultados de PTF superiores en comparación con sus contrapartes que son intensivas en escala o dominadas por los proveedores. Esta variabilidad sugiere que la innovación y el avance tecnológico son vitales para mejorar la productividad en las Pymes manufactureras. Por el contrario, los proveedores especializados muestran un desempeño de PTF inferior.

Los resultados del estudio sugieren que la política económica debe diferenciarse según el nivel de productividad de cada sector. Para los sectores más productivos, especialmente los basados en ciencia, conviene fortalecer los incentivos a la innovación y la adopción tecnológica, facilitando el acceso a financiamiento y alianzas estratégicas para mantener su ventaja competitiva. En contraste, los sectores menos productivos, como los proveedores especializados, requieren programas de capacitación, acceso a créditos preferenciales y apoyo para modernizar procesos y optimizar el uso de insumos, especialmente materiales. Así, una política industrial segmentada—que combine incentivos a la innovación en sectores avanzados y asistencia técnica y financiera en los rezagados—permitiría elevar la productividad agregada y reducir las brechas entre empresas manufactureras mexicanas.

Estos hallazgos adquieren mayor relevancia al considerar las conclusiones de estudios recientes sobre el sector. En particular, la disminución en los retornos a escala y la productividad de la mano de obra en la manufactura mexicana, que encuentran Guzmán-Soria *et al.* (2024), sugieren la necesidad de abordar deficiencias en la asignación de crédito y la capacitación de la fuerza laboral. Dado que nuestro análisis identifica diferencias en la PTF según la trayectoria tecnológica de las empresas, resulta

crucial diseñar políticas diferenciadas que impulsen la eficiencia crediticia y el desarrollo de habilidades en cada tipo de Pyme manufacturera.

En conclusión, mejorar la PTF en las Pymes manufactureras mexicanas es un factor clave para fortalecer su competitividad y, con ello, impulsar el crecimiento económico del país. Los avances recientes en digitalización, industria 4.0 y automatización ofrecen oportunidades para optimizar procesos, reducir costos y mejorar la eficiencia, especialmente en un entorno post-pandemia marcado por demandas cambiantes y mayor globalización. Sin embargo, para aprovechar estas tendencias, es fundamental implementar políticas estratégicas que fomenten la adopción tecnológica, la innovación y la mejora continua en la gestión de insumos. Futuras investigaciones deberán evaluar, mediante estudios longitudinales, el impacto de estas medidas en la PTF, asegurando que las Pymes no solo se adapten, sino que también lideren la transformación productiva en México. Además, resulta pertinente analizar la influencia de factores institucionales, así como las dinámicas de competencia global y del mercado interno, que pueden interactuar con la productividad y la adopción tecnológica en estas empresas. La combinación de tecnología, políticas adecuadas y análisis continuo será determinante para consolidar un sector manufacturero más dinámico y sostenible.

REFERENCIAS

- Akerberg, D. A., Caves, K. y Frazer, G. (2015). Identification properties of recent production function estimators. *Econometrica*, 83(6), 2411–2451. <https://doi.org/10.3982/ECTA13408>
- Akerberg, D., Benkard, C. L., Berry, S. y Pakes, A. (2007). Econometric tools for analyzing market outcomes. En *Handbook of econometrics*, 6, pp.4171–4276. [https://doi.org/10.1016/S1573-4412\(07\)06063-1](https://doi.org/10.1016/S1573-4412(07)06063-1)
- Archibugi, D. (2001). Pavitt's taxonomy sixteen years on: A review article. *Economics of Innovation and New Technology*, 10(5), 415–425. <https://doi.org/10.1080/10438590100000016>
- Banco de México. (2018). *Crecimiento económico y productividad* [Recuadro 1, Extracto del Informe Trimestral Julio–Septiembre 2018]. <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/informes-trimestrales/recuadros/{81E83E11-CFE1-C761-B850-8949FC923C55}.pdf>
- Banco de México. (2021). *El impacto de la liberalización comercial sobre la industria automotriz de México: Evidencia de los primeros 20 años del TLCAN* [Documento de Investigación]. <https://www.banxico.org.mx/pu->

- blicaciones-y-prensa/documentos-de-investigacion-del-banco-de-mexico/{FFC9B032-ED9C-17F6-F69E-7F418C72467C}.pdf
- Banco Mundial. (2021). *Crecimiento de la productividad en México: Comprendiendo las dinámicas principales y los determinantes clave*. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099100003252239077/pdf/P1708290be62f50cc080390abdafc918431.pdf>
- Bergoeing, R., Kehoe, P. J., Kehoe, T. J. y Soto, R. (2002). A decade lost and found: Mexico and Chile in the 1980s. *Review of Economic Dynamics*, 5(1), 166–205. <https://doi.org/10.1006/redy.2001.0150>
- Bogliacino, F., y Pianta, M. (2016). The Pavitt Taxonomy, revisited: patterns of innovation in manufacturing and services. *Economia Politica*, 33, 153–180. <https://doi.org/10.1007/s40888-016-0035-1>
- Bosworth, B. (1998). *Productivity growth in Mexico* [Documento de trabajo para el Banco Mundial]. https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/06/07_mexico_bosworth.pdf
- Calderon-Madrid, A. y Voicu, A. (2004). *Total factor productivity growth and job turnover in Mexican manufacturing plants in the 1990s* (IZA Discussion Paper No. 993). <https://doi.org/10.2139/ssrn.494244>
- Camino-Mogro, S., Armijos-Bravo, G. y Cornejo-Marcos, G. (2018). Productividad total de los factores en el sector manufacturero ecuatoriano: Evidencia a nivel de empresas. *Revista de Economía y Finanzas*, 41(117), 241–261. <https://doi.org/10.32826/cude.v41i117.91>
- Cammeraat, E., Samek, L. y Squicciarini, M. (2021). *The role of innovation and human capital for the productivity of industries* (OECD Science, Technology and Industry Policy Papers No. 103). <https://doi.org/10.1787/197c6ae9-en>
- Capdeville, M. (2012). Las políticas macroeconómica y de desarrollo productivo: Situación actual de América Latina. *Economía Informa*, 377, 4–22. <http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/377/02mario.pdf>
- Casacuberta, C. y Gandelman, N. (2009). Productivity, exit and crisis in Uruguayan manufacturing and services sectors. *Banco Interamericano de Desarrollo*. <https://doi.org/10.1111/deve.12064>
- Castellacci, F. (2008). Technological paradigms, regimes and trajectories: Manufacturing and service industries in a new taxonomy of sectoral patterns of innovation. *Research Policy*, 37(6-7), 978–994. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.03.011>
- CEPAL (2016). *Productividad y brechas estructurales en México*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/50f6927f-e17f-4513-a97e-2c0193a950a4/content>
- Comisión Nacional de Productividad (2016). *Nota Técnica Sobre La Medición De La Productividad*. <http://archivospresidenciales.archivonacional.cl/index.php/nota-tecnica-sobre-la-medicion-de-la-productividad-documento->

de-trabajo-2

- De León Arias, A. (2008). Cambio regional del empleo y productividad manufacturera en México: El caso de la frontera norte y las grandes ciudades: 1970–2004. *Frontera Norte*, 20(40), 79–103. <https://doi.org/10.17428/rfn.v20i40.986>
- Del Gatto, M., Di Liberto, A. y Petraglia, C. (2011). Measuring productivity. *Journal of Economic Surveys*, 25(5), 952–1008. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6419.2009.00620.x>
- Del Pozo-Loayza, C. y Guzmán-Pacheco, E. (2019). Estimación de la productividad total factorial a nivel de firmas en el Perú: Nueva evidencia a través del método Akerberg, *Caves y Frazer*. CIES. https://cies.org.pe/wp-content/uploads/2019/09/estimacion_de_la_productividad_total_factorial_a_nivel_de_firmas_en_el_peru.pdf
- Demuner, M. R. y Mercado, P. (2011). Estrategia competitiva y tecnología de la estructura productiva en PyMES manufactureras de autopartes del estado de México. *Panorama Socioeconómico*, 29(42), 4–22. <https://www.redalyc.org/pdf/399/39922246001.pdf>
- Díaz-Bautista, A. (2017). Total factor productivity (TFP) in manufacturing and economic growth in Mexico. *Análisis Económico*, 32(79), 7–24. <https://analisiseconomico.azc.uam.mx/index.php/rae/article/view/2/2>
- Dieppe, A. (Ed.). (2021). Global productivity: Trends, drivers, and policies. *Banco Mundial*. <https://www.worldbank.org/en/research/publication/global-productivity>
- Domínguez-Villalobos, L. y Brown, F. (2004). Medición de capacidades tecnológicas en la industria mexicana. *Revista de la CEPAL*, 83, 135–151. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/10969-medicion-capacidades-tecnologicas-la-industria-mexicana>
- Dutrénit, G. y Capdevielle, M. (1993). El perfil tecnológico de la industria mexicana y su dinámica innovadora en la década de los ochenta. *El Trimestre Económico*, 60(239), 643–674. <https://www.jstor.org/stable/45401609>
- Evangelista, R., Perani, G., Rapiti, F., y Archibugi, D. (1997). Nature and impact of innovation in manufacturing industry: some evidence from the Italian innovation survey. *Research policy*, 26(4-5), 521–536. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(97\)00028-0](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(97)00028-0)
- Faal, E. (2005). *GDP growth, potential output, and output gaps in Mexico* (IMF Working Paper No. WP/05/93). FMI. <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2005/wp0593.pdf>
- Félix-Armenta, J., Félix-Miranda, L. y Parra-Aceviz, L. C. (2022). La productividad total de los factores en las manufacturas de la región centro de México: 1993–2018. *TELOS Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 24(3), 566–584. <https://doi.org/10.36390/telos243.07>
- Fernández-Xicoténcatl, R. I., Almagro-Vázquez, F. y Terán-Vargas, J. (2013). Un análisis de la productividad total de factores ampliada en la industria manufacturera de México 2003–2010. *Investigación Administrativa*,

- 42(112), 51–63. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=456045216004>
- Ferraro, C. A. y Goldstein, E. (2011). *Políticas de acceso al financiamiento para las pequeñas y medianas empresas en América Latina*. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/3909-politicas-acceso-al-financiamiento-pequenas-medianas-empresas-america-latina>
- Fried, H. O., Lovell, C. K., y Schmidt, S. S. (Eds.). (2008). *The measurement of productive efficiency and productivity growth*. Oxford University Press.
- Griliches, Z. (1957). Specification bias in estimates of production functions. *Journal of Farm Economics*, 39(1), 8–20. <https://doi.org/10.2307/1233881>
- Griliches, Z. y Mairesse, J. (1995). *Production functions: The search for identification* (NBER Working Paper No. 5067). <https://doi.org/10.3386/w5067>
- Guzmán-Soria, E., De la Garza-Carranza, M. T., Atlenco-Ibarra, Q. y Terrores-Cordero, A. (2024). La industria manufacturera en México: Un análisis de su productividad y eficiencia, 1993–2020. *Economía, Sociedad y Territorio*, 24(74). <https://doi.org/10.22136/est20241927>
- Hernández-Laos, E. (2005). La productividad en México: Origen y distribución, 1960–2002. *Economía UNAM*, 2(5), 1–25. <https://www.scielo.org.mx/pdf/eunam/v2n5/v2n5a1.pdf>
- Hofman, A., Mas, M., Aravena, C. y Fernández de Guevara, J. (2017). Crecimiento económico y productividad en Latinoamérica. *El proyecto LA-KLEMS. El Trimestre Económico*, 84(334), 259–306. <https://doi.org/10.20430/ete.v84i334.302>
- INEGI. (2022). Banco de Información Económica. <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores>
- INEGI. (1994). *Censos Económicos 1994 (Resultados definitivos)*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/1994/>
- INEGI. (1999). *Censos Económicos 1999 (Resultados definitivos)*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/1999/>
- INEGI. (2004). *Censos Económicos 2004 (Resultados definitivos)*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2004/>
- INEGI. (2009). *Censos Económicos 2009 (Resultados definitivos)*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2009/>
- INEGI. (2014). *Censos Económicos 2014 (Resultados definitivos)*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2014/>
- INEGI. (2019). *Censo Económico 2019*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/>
- INEGI. (2015). *Encuesta Nacional sobre Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (ENAPROCE)*. <https://www.inegi.org.mx/programas/enaproce/2015/>
- INEGI. (2018). *Encuesta Nacional sobre Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (ENAPROCE)*. <https://www.inegi.org.mx/programas/enaproce/2018/>

- Levinsohn, J. y Petrin, A. (2003). Estimating production functions using inputs to control for unobservables. *The Review of Economic Studies*, 70(2), 317–341. <https://www.jstor.org/stable/3648636>
- López-Córdova, E. y Rebolledo, J. (2016). Productivity in Mexico: Trends, drivers and institutional framework. *International Productivity Monitor*, 30, 28–42. <https://www.csls.ca/ipm/30/cordovaandpadilla.pdf>
- Marschak, J. y Andrews, W. H. (1944). Random simultaneous equations and the theory of production. *Econometrica*, 12(3/4), 143–205. <https://doi.org/10.2307/1905432>
- Marsili, O. (2001). *The anatomy and evolution of industries: technological change and industrial dynamics*. In *The Anatomy and Evolution of Industries*. Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781035304417>
- Mendoza-Cota, J. E. (2011). El impacto de la crisis automotriz de EUA en el subsector automóviles y camiones de México. *Economía Mexicana Nueva Época*, 20(2), 281–309. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=32320948002>
- Mendoza-Ramos, M. C. y Díaz-González, E. (2019). Análisis de la productividad total de factores en la industria de alta tecnología en México, 2003–2013. *Análisis Económico*, 34(86), 65–89. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41360954004>
- Moreno-Brid, J. C., Santamaría, J. y Rivas-Valdivia, J. C. (2006). Manufactura y TLCAN: Un camino de luces y sombras. *Economía UNAM*, 3(8), 95–114. <https://doi.org/10.22201/fe.24488143e.2006.008.268>
- OCDE. (2015). *The future of productivity*. <https://doi.org/10.1787/9789264248533-en>
- Olley, S. y Pakes, A. (1996). The dynamics of productivity in the telecommunications equipment industry. *Econometrica*, 64(6), 1263–1297. <https://doi.org/10.2307/2171831>
- Pavcnik, N. (2002). Trade liberalization, exit, and productivity improvements: Evidence from Chilean plants. *The Review of Economic Studies*, 69(1), 245–276. <https://doi.org/10.1111/1467-937X.00205>
- Pavitt, K. (1984). Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory. *Research Policy*, 13(6), 343–373. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(84\)90018-0](https://doi.org/10.1016/0048-7333(84)90018-0)
- Pavitt, K. y Patel, P. (1995). *Patterns of Technology Activity: Their Measurement and Interpretation*. Handbook of the Economics of Innovation and Technical Change. <https://www.econbiz.de/Record/patterns-of-technological-activity-their-measurement-and-interpretation-patel-parimal/10001299775>
- Pérez, M. D. P. M. (2008). Innovación en la industria manufacturera Mexicana. *Investigación económica*, 67(263), 131–162. <https://www.scielo.org.mx/pdf/ineco/v67n263/v67n263a5.pdf>

- Remes, J., Mischke, J. y Krishnan, M. (2018). Solving the productivity puzzle: The role of demand and the promise of digitization. *International Productivity Monitor*, 35, 28–51. <https://www.csls.ca/ipm/35/remes-mischke-Krishnan.pdf>
- Rendón, L., Mejía, P., y Salgado, M. D. C. (2013). *Especialización y crecimiento manufacturero en dos regiones del Estado de México: un análisis comparativo*. *Economía: teoría y práctica*, (38), 111-148. <https://www.scielo.org.mx/pdf/etp/n38/n38a5.pdf>
- Rengifo-Jaramillo, A. F. (2019). Funciones de producción, heterogeneidad y dispersión de la productividad. *Universidad del Valle*. <https://biblioteca-digital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/35a4d29a-11e7-4c76-a456-8>
- Rovigatti, G. y Mollisi, V. (2018). Theory and practice of total-factor productivity estimation: The control function approach using Stata. *The Stata Journal*, 18(3), 618–662. <https://doi.org/10.1177/1536867X1801800305>
- Schor, A. (2004). Heterogeneous productivity response to tariff reduction: Evidence from Brazilian manufacturing firms. *Journal of Development Economics*, 75(2), 373–396. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2004.06.003>
- Solow, R. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65–94. <https://doi.org/10.2307/1884513>
- Tello, M. D. (2012). Productividad total factorial en el sector manufacturero del Perú: 2002–2007. *Economía*, 35(70), 103–141. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/economia/article/view/3841/3816>
- Van Beveren, I. (2010). Total factor productivity estimation: A practical review. *Journal of Economic Surveys*, 26(1), 98–128. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6419.2010.00631.x>
- Yasar, M., Raciborski, R. y Poi, B. (2008). Production function estimation in Stata using the Olley and Pakes method. *The Stata Journal*, 8(2), 221–231. <https://doi.org/10.1177/1536867X0800800204>