

¿CONTRIBUYE LA INDUSTRIA DE ALTA TECNOLOGÍA EN LA EFICIENCIA PRODUCTIVA DE LAS ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO?

DOES THE HIGH TECHNOLOGY INDUSTRY CONTRIBUTE TO THE PRODUCTIVE EFFICIENCY OF THE METROPOLITAN AREAS OF MEXICO?

Julio César Arteaga García

julio.arteagagr@uanl.edu.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4613-1677>

Profesor de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Nuevo León – UANL.

David Sandoval Coronado

david.sandoval@banxico.org.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7808-3809>

Analista en la oficina de Comercio Exterior del Banco de México – BANXICO.

RECIBIDO	[01/12/2021]	ACEPTADO	[20/01/2022]	PUBLICADO	[28/02/2022]	
Pág. 35 - 50						BY NC

RESUMEN

Estudiar la eficiencia productiva a nivel regional es relevante, ya que puede dar pauta a políticas que influyan en la reasignación de recursos entre los diferentes sectores económicos, y así incrementar el valor de la producción. Esta investigación aplica el análisis envolvente de datos para generar indicadores de eficiencia productiva en las 74 zonas metropolitanas (ZM) del país y los relaciona con los sectores que conforman la industria de alta tecnología. Los resultados indican que el nivel de eficiencia productiva no está relacionado con la ubicación geográfica de las ZM. Asimismo, se comprueba que más unidades económicas dedicadas a actividades de alta tecnología (una ZM) mejoran su eficiencia productiva. Para las medidas relativas, los resultados no son robustos.

► Palabras clave

Eficiencia productiva, alta tecnología, DEA, zona metropolitana, México.

ABSTRACT

Studying productive efficiency at the regional level is relevant, since it can guide policies that influence the reallocation of resources between the different economic sectors, and thus increase the value of production. This research applies data envelopment analysis to generate productive efficiency indicators in the 74 metropolitan areas (ZM) of the country and relates them to the sectors that make up the high-tech industry. The results indicate that the level of productive efficiency is not related to the geographical location of the ZM. Likewise, it is verified that more economic units dedicated to high-tech activities (a ZM) improve their productive efficiency. For relative measures, the results are not robust.

► Keywords

Productive efficiency, high technology, DEA, metropolitan area, Mexico.

INTRODUCCIÓN

La industria de la alta tecnología engloba a los sectores de la economía que utilizan la tecnología más desarrollada que esté disponible en el mercado. Su importancia radica en tener el mayor potencial para extender el progreso tecnológico en el resto de la economía. Esto es, innovaciones que surgen en este sector eventualmente son incorporados en los procesos de producción de otros sectores.

Para una economía, las fuentes de crecimiento son la abundancia de sus insumos, la calidad del trabajo y el progreso tecnológico; esto es, su frontera de posibilidades de producción se desplaza en la medida en que cuenta con más insumos, mejora la calidad de los mismos o la manera en que los combina. En particular, el concepto de eficiencia productiva se relaciona con la manera en que se combinan insumos para generar producción; bajo una orientación hacia la producción, una economía es relativamente más eficiente que otra si es capaz de producir más unidades con la misma cantidad de insumos.

Sandoval (2020) menciona que el enfoque metropolitano no ha sido tan utilizado para estudiar temas relacionados con el crecimiento económico en nuestro país, a pesar de que las 74 zonas metropolitanas (ZM) generan el 87.3% del valor de la producción a nivel nacional y se constituyen por 16.9% de los 2465 municipios que existen en todo México.

Debido a los efectos multiplicadores que puede tener la industria de la alta tecnología, el propósito de este trabajo es ver cómo influye la presencia de esta industria en la manera en que se transforman los insumos de las ZM de México en productos o servicios. Para ello, se generan indicadores de eficiencia productiva para las 74 ZM del país por medio del análisis envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés) y se utilizan modelos Tobit y mínimos cuadrados ordinarios para estimar la relación que hay entre estos indicadores y variables que miden la presencia de los sectores que componen la industria de alta tecnología en cada ZM. Los resultados muestran que entre más unidades económicas dedicadas a estas actividades tenga una ZM, su eficiencia productiva mejora. Sin embargo, los resultados no son robustos para medidas en términos relativos de la presencia de esta industria.

El resto del trabajo se organiza como sigue. La siguiente sección presenta una revisión de literatura relacionada con la eficiencia productiva y los sectores de alta tecnología,

mientras que la sección 3 define los sectores económicos que conforman la industria de alta tecnología y muestra su evolución en las ZM del país. En la sección 4, se describe y se aplica el método DEA para estimar los indicadores de eficiencia productiva, mientras que la sección 5 presenta los resultados de la relación causal entre la eficiencia productiva y la alta tecnología en las ZM del país. La sección 6 concluye con recomendaciones de política derivadas de este trabajo.

DESARROLLO

Revisión de literatura

En esta sección, se revisan investigaciones que han medido el impacto de diversos factores sobre la eficiencia productiva de las regiones. De igual manera, se presentan trabajos que describen el impacto de la industria de la alta tecnología en el crecimiento regional, así como la relación que puede tener la innovación y el crecimiento de las empresas.

Diversas investigaciones han estudiado cómo algunos factores pueden incidir sobre la eficiencia productiva de las regiones en México. Esto es, tratan de encontrar determinantes que puedan contribuir a mejorar la asignación de recursos. Por ejemplo, Martínez (2012) estudia el impacto que tiene la heterogeneidad regional sobre la asignación de recursos, o eficiencia productiva, para 2004. Para ello, agrega información de empresas a nivel regional; es decir, sus unidades de observación son regiones, las cuales están compuestas por entidades del país con base en diversos esquemas de regionalización propuestos por otros autores. Muestra que las distorsiones intrarregionales son el componente más importante de las ganancias potenciales en la productividad agregada, aunque el peso relativo de las distorsiones entre regiones depende de la cantidad de regiones utilizada. Por su parte, Borrayo y Quintana (2018) agregan información de empresas para 59 ZM del país para indagar acerca de la relación entre la eficiencia en la producción y la presencia de industrias creativas. Para generar medidas de productividad a nivel de ZM siguen el trabajo de Battese y Coelli (1995) y estiman si las unidades económicas y la cantidad de trabajadores que se encuentran en las industrias creativas de cada ZM influyen sobre la eficiencia productiva. Encuentran que en la medida en que haya más empresas dedicadas a la industria creativa en las ZM del país, tanto en términos absolutos como relativos, habrá una menor eficiencia productiva en las ZM.

El estudio acerca de determinantes de la eficiencia productiva de las regiones también se ha hecho para otros países. Entre los trabajos que han utilizado el análisis envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés) para estimar la eficiencia podemos mencionar a Caragliu *et al.* (2012), quienes estiman la eficiencia productiva de nueve ciudades europeas cercanas al mar del Norte y encuentran que el atractivo cultural de las ciudades se relaciona positivamente con la eficiencia. Fang *et al.* (2013) utilizan información de 23 provincias de China para los años 2002 y 2007; para generar medidas de eficiencia productiva también utilizan el DEA. Entre sus resultados se encuentra que la eficiencia está positivamente relacionada con la proporción de trabajadores que son técnicos e investigadores y con la proporción del gasto financiero que se dedica a I+D. Por su parte, Monkam (2014) calcula medidas de eficiencia productiva en 231 municipios de Sudáfrica para el año 2007 a través del DEA. Encuentra que los municipios en ese país son más eficientes en la medida en que los ingresos propios representan una mayor proporción de sus ingresos totales. Bendodo *et al.* (2019) se interesan en conocer los factores que condicionan la eficiencia de municipios con orientación turística en una región de España. Con información de 103 municipios encuentran que tener una distinción (como municipio de gran afluencia turística o municipio turístico de Andalucía) incrementa la eficiencia municipal.

La influencia de la alta tecnología en el crecimiento económico de las regiones ha sido explorada en la academia. Hartog et al. (2012) encuentran que cuando aumenta la proporción de industrias relacionadas con la alta tecnología en una región de Finlandia, su PIB también aumenta, mientras que aumentos en las proporciones de las industrias con media y baja intensidad tecnológica no logran explicar un mejor desempeño económico regional. Por su parte, Andrés-Rosales *et al.* (2017) muestran que entidades más desarrolladas tienen industrias de alta tecnología en su estructura productiva. También muestran que este tipo de sector manufacturero genera efectos spillover positivos sobre los estados vecinos.

A nivel empresa, diversos estudios han investigado los efectos que tiene la innovación. Bailly *et al.* (1987) argumentan que el sector servicios tiene un papel fundamental en la actividad económica pues, en las últimas décadas, con la producción teniendo niveles cada vez más altos de especialización, las empresas destinan cada vez más recursos a I+D para desarrollar nuevos productos, mejor logística, marketing, asesoría legal y contable, entre muchos otros tipos de servicios. García-Pérez *et al.* (2016) investigan el impacto que tiene la innovación en el crecimiento de las empresas en los países pertenecientes a la Alianza del Pacífico. Utilizan una muestra de 386 micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes) de Chile, Colombia, México y Perú y encuentran una relación estadísticamente significativa entre el crecimiento de las ventas y de las utilidades de las mipymes y la innovación de productos, procesos y de gestión. Moyeda y Arteaga (2016a) utilizan información de empresas mexicanas obtenida a través de la Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico (Esidet) de 2012 publicada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) y comprueban que la inversión en I+D y el personal capacitado en I+D aumentan la propensión a innovar; de igual manera, muestran que la productividad de las empresas se incrementa como consecuencia del gasto en I+D que realizan.

Industria de alta tecnología y su presencia en México

Desde el trabajo seminal de Solow (1956), los modelos de crecimiento económico tienen entre sus determinantes al progreso tecnológico. El modelo de crecimiento endógeno presentado en Romer (1996) presenta una función de producción $Y(L, K, A)$, donde Y es el nivel de producción, L es el factor trabajo, K es el capital y A es la tecnología disponible. En particular, la tasa de crecimiento de la tecnología, g_A , es la que propicia el crecimiento económico de las naciones a través de cambios tecnológicos, o innovaciones que nacen de los procesos de Investigación y Desarrollo (I+D). En ese sentido, las regiones que apoyan la creación y la difusión del conocimiento y de las innovaciones crecerán a una mayor tasa de manera sostenida en el largo plazo.

Para México, Moyeda y Arteaga (2016b) usan información de la Esidet de 2012 y encuentran que 11.9% de las empresas reporta haber gastado en alguna actividad innovadora, siendo la actividad de I+D tecnológico la más reportada (6.9%). Sin embargo, no existe una definición única de alta tecnología, por lo que no es posible identificar claramente a los sectores que la desarrolla. La razón es que, por su propia naturaleza, la alta tecnología de hoy puede ser, si ya no hay innovaciones en ese sector, una tecnología tradicional más adelante. De esta manera, un método que ha sido muy utilizado para identificar a los sectores que la componen es calculando el porcentaje que cada sector invierte en I+D, ya sea con respecto a sus ingresos o al valor total de su producción. El cuadro 1 muestra los tres sectores que más invierten en I+D como porcentaje de sus ingresos totales en México, de acuerdo con la Esidet de 2014. El sector Investigación y desarrollo, que destina casi una cuarta parte de sus ingresos a I+D, pertenece al sector terciario de la economía (servicios), mientras que los sectores Aviones e Instrumentos médicos, de precisión y ópticos, relojes y cronómetros son las únicas industrias manufactureras que reportan invertir más de 1% de sus ingresos en actividades relacionadas con I+D.

Tabla 1.*Sectores económicos de México que más invierten en I+D*

Industria (según clasificación ISIC 3.1)	Proporción de ingresos destinada a I+D
Investigación y desarrollo	23.86%
Aviones	1.52%
Instrumentos médicos, de precisión y ópticos, relojes y cronómetros	1.08%

Nota. Elaboración propia sobre la base de la información de Inegi (2014)

Sin considerar el sector Investigación y desarrollo, la proporción promedio de los ingresos que se destinan a I+D en México es muy baja, pues se ubica en casi una quinta parte de un punto porcentual (0.21 %). Así, para propósitos de esta investigación, la industria de alta tecnología en México se conforma de los tres sectores presentados en la tabla 1, ya que destinan una proporción de sus ingresos que es más de cinco veces el promedio nacional.

La Esidet utiliza la *International Standard Classification of all Economic Activities* (ISIC) revisión 3.1 para ubicar a las empresas en los sectores económicos correspondientes. La ISIC es la base que utiliza la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) para clasificar a los sectores productivos. Por otro lado, la actividad económica que captan los Censos Económicos en nuestro país utiliza el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) para ubicar a las empresas en los sectores económicos correspondientes. De esta manera, para poder obtener información detallada de los sectores que conforman la industria de la alta tecnología en México, se realiza una equivalencia entre los sistemas de clasificación ISIC 3.1 y el SCIAN a seis dígitos. La tabla 2 presenta los resultados de la equivalencia.

Tabla 2.*Equivalencias de alta tecnología entre las clasificaciones internacionales*

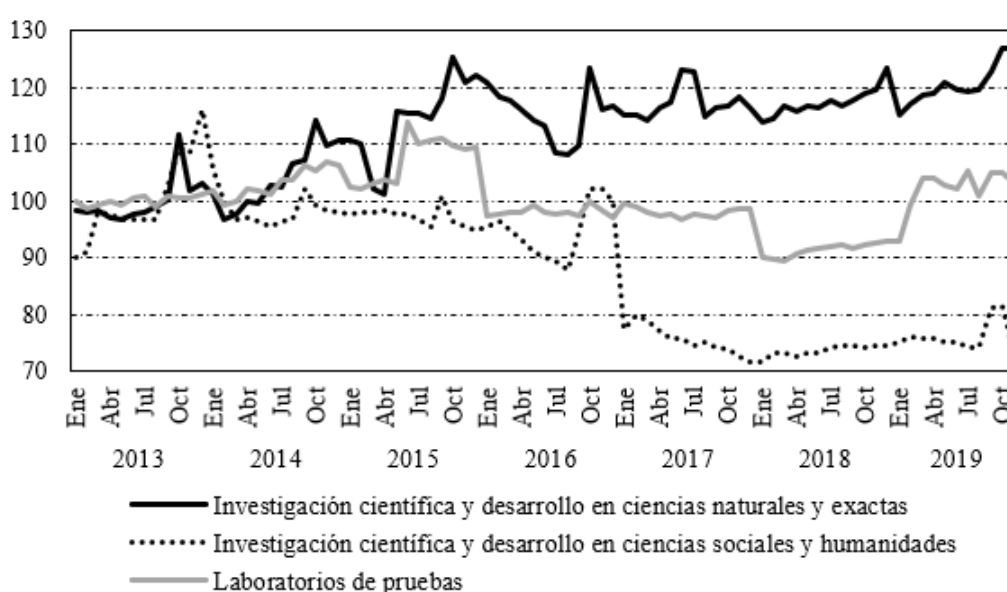
ISIC 3.1	SCIAN 2013
73 Investigación y desarrollo	541711 Servicios de investigación científica y desarrollo en ciencias naturales y exactas ingeniería y ciencias de la vida prestados por el sector privado.
	541721 Servicios de investigación científica y desarrollo en ciencias sociales y humanidades prestados por el sector privado.
	5417CC Clases agrupadas por el principio de confidencialidad.
	541380 Laboratorios de pruebas.
353 Aviones	336410 Fabricación de equipo aeroespacial.
33 Instrumentos médicos, de precisión y ópticos, relojes y cronómetros	334511 Fabricación de relojes.
	334519 Fabricación de otros instrumentos de medición control navegación y equipo médico electrónico.
	33451C Clases agrupadas por el principio de confidencialidad.
	339111 Fabricación de equipo no electrónico para uso médico dental y para laboratorio.

Nota. Elaboración propia con información de las Naciones Unidas (2005) e Inegi (2013)

De acuerdo con la equivalencia presentada en el cuadro 2, por la proporción de los ingresos que se destinan a I+D, la industria de alta tecnología se compone tanto de elementos del sector servicios como del sector manufacturero. Cabe señalar que esta integración difiere de las utilizadas tanto por Andrés-Rosales *et al.* (2017) como por Mendoza y Díaz (2019) en sus estudios para México¹. El principal integrante de la industria de alta tecnología, el sector Investigación y desarrollo, se compone por (1) los Servicios de investigación científica y desarrollo en ciencias naturales y exactas ingeniería y ciencias de la vida prestados por el sector privado, (2) los Servicios de investigación científica y desarrollo en ciencias sociales y humanidades prestados por el sector privado, (3) los Laboratorios de pruebas y (4) las Clases agrupadas por el principio de confidencialidad. La figura 1 muestra la evolución de los índices de empleo en las actividades asociadas al sector Investigación y desarrollo ya que el sector servicios no reporta la cantidad de gente empleada.

Figura 1.

Evolución del empleo en el sector Investigación y desarrollo (2013-2019)²



Nota. Elaboración propia con datos de Inegi (2020)

En el periodo 2013-2019, de las actividades que conforman el sector Investigación y desarrollo, la que más ha crecido más en términos de empleo ha sido la investigación y desarrollo en ciencias naturales y exactas, mientras que la investigación y desarrollo en ciencias sociales y humanidades prestados por el sector privado es la que más ha caído.

La figura 2 muestra la evolución del empleo total en los sectores considerados de alta tecnología en México dentro del sector manufacturero. La línea sólida muestra la evolución del empleo en el sector manufacturero (eje izquierdo). Se observa que tiene una tendencia positiva, aunque comienza a decrecer a partir de junio de 2019. Por su

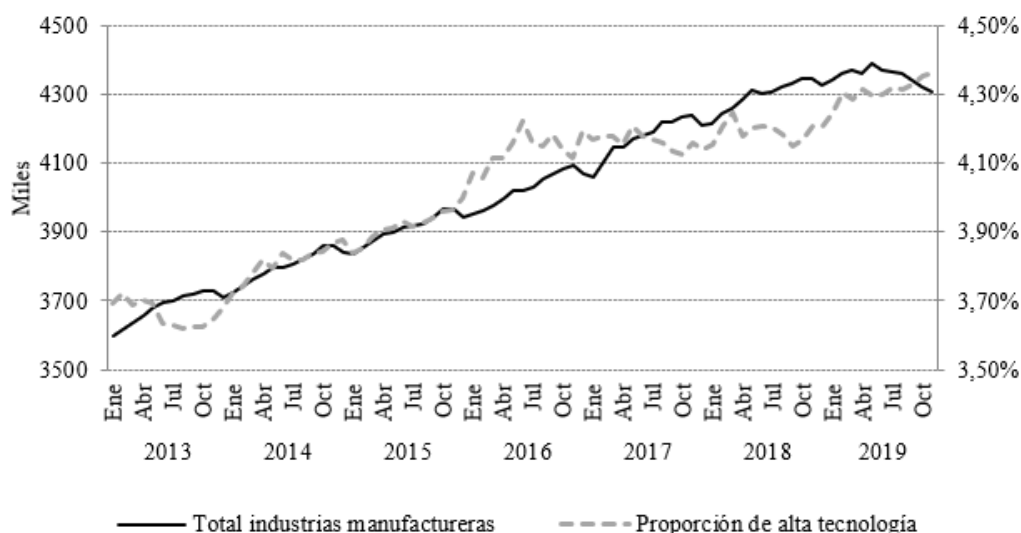
¹ Estos trabajos también tienen diferencias entre sí para integrar la industria de alta tecnología. Andrés-Rosales *et al.* (2017) utilizan (1) fabricación de maquinaria y equipo, (2) fabricación de equipo de computación, comunicación, medición y de otros equipos, componentes y accesorios electrónicos, (3) fabricación de accesorios, aparatos eléctricos y equipo de generación de energía eléctrica, (4) fabricación de equipo de transporte, y (5) fabricación de productos farmacéuticos del SCIAN. Por su parte, Mendoza y Díaz (2019) consideran alta tecnología a (1) aviones y naves espaciales, (2) productos farmacéuticos, (3) maquinaria de oficina, contabilidad e informática, (4) equipo de radio, televisión y comunicaciones, (5) instrumentos médicos, de precisión y ópticos.

² Información disponible hasta noviembre de 2019.

parte, la línea punteada muestra la proporción del empleo manufacturero que se dedica a actividades de alta tecnología (eje derecho). Proporcionalmente, se ha incrementado la cantidad de empleados dedicado a estas actividades entre 2013 y 2019.

Figura 2.

Empleo manufacturero y de alta tecnología en México (2013-2019)³



Nota. Elaboración propia con datos de Inegi (2020)

Dado que las ciencias naturales y exactas incluyen a las ingenierías y el hecho de observar un crecimiento en la proporción de empleados en las industrias manufactureras de alta tecnología sugieren que los esfuerzos en I+D de las empresas en México durante los últimos años se han enfocado a la investigación aplicada.

Cimoli *et al.* (2005) encuentran que los sectores difusores de conocimiento en América Latina tienen una menor participación que en las economías desarrolladas. Esto es, en Latinoamérica se invierte poco en I+D, lo cual es un factor adicional para que crezca más despacio que los países avanzados y se haya rezagado tecnológicamente. Con base en la información presentada más reciente para México, la situación no es diferente; las empresas dedican pocos recursos monetarios y humanos en las actividades de I+D.

Las unidades de observación en esta investigación son las ZM de México. De acuerdo con el informe *Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2015*, el cual es un esfuerzo conjunto por parte de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (Sedatu), el Consejo Nacional de Población (Conapo) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi), había 56 ZM en 2004. Para el año 2009, ya se consideraban 59 ZM, mientras que, en 2014, 74⁴. Se adopta el enfoque a nivel metropolitano para cumplir con el propósito de esta investigación puesto que, como se observa en la "Tabla 3", salvo en el caso del sector primario, las ZM del país concentran la mayor parte de la producción del país.

³ Información disponible hasta noviembre de 2019.

⁴ De acuerdo con el informe, una ZM se define si cumple con alguna de las siguientes condiciones: (1) entre dos o más municipios contienen una ciudad de al menos 100 mil habitantes, (2) si un solo municipio tiene una ciudad de más de 500 mil habitantes, (3) si un solo municipio cuenta con ciudades de 200 mil o más habitantes y se ubican en la franja fronteriza norte, sur o en la zona costera, o (4) si en un municipio se asienta la capital de un estado y no pertenece a una ZM, de acuerdo con las condiciones anteriores.

Tabla 3.*Concentración de la producción en las ZM de México por sector económico⁵*

Año	Primario	Secundario	Terciario	Total
2004	17.41 %	65.60 %	86.34 %	76.79 %
2009	14.86 %	79.77 %	87.60 %	84.01 %
2014	37.83 %	84.82 %	89.34 %	87.26 %

Nota. Elaboración propia con datos de los censos económicos 2004, 2009 y 2014 de Inegi

De acuerdo con los porcentajes del valor agregado censal bruto del país que son generados en las ZM por sector económico, estas concentran la mayor parte del valor de la producción de los sectores secundario y terciario. En el caso de la información relativa a las industrias de alta tecnología presentada en la tabla 4, se observa que también se han concentrado en las ZM del país.

Tabla 4.*Presencia de la alta tecnología en las ZM de México⁶*

Año	Establecimientos	Trabajadores
2004	82.71 %	96.63 %
2009	82.65 %	96.29 %
2014	92.72 %	98.93 %

Nota. Elaboración propia con datos de los censos económicos 2004, 2009 y 2014 de Inegi

La tabla 4 muestra las proporciones de unidades económicas (i.e., establecimientos) y de trabajadores de la industria de alta tecnología que se localizan en las ZM del país en los últimos tres censos económicos. Para 2014, casi 93% de los establecimientos y 99% de los trabajadores relacionados con la industria de alta tecnología se ubican en alguna de las ZM del país. En este sentido, se puede decir que los efectos que tenga la industria de la alta tecnología sobre la eficiencia productiva de las ZM se extienden para el país en su conjunto.

Medición de la eficiencia productiva de las zonas metropolitanas en México

La hipótesis de esta investigación es que la presencia de industrias de alta tecnología contribuye a mejorar la eficiencia productiva de las ZM del país, lo cual puede traducirse en que el país tenga mayor crecimiento económico ya que ayudaría a mejorar la asignación de recursos. La intuición es que las regiones donde existe una mayor presencia de este tipo de industrias pueden ser las primeras en introducir mejoras en su proceso productivo u operacional, logrando mayores eficiencias en el corto plazo.

El concepto de eficiencia productiva se relaciona con la manera en que se combinan insumos para generar producción. Bajo una orientación hacia la producción, una unidad económica es relativamente más eficiente que otra si es capaz de producir más unidades con la misma cantidad de insumos. Alternativamente, la orientación a los insumos indica que es más eficiente si el mismo nivel de producción es alcanzado utilizando menos insumos. En el caso de la eficiencia productiva de las ZM, se sigue a Cook *et al.* (2014) quienes indican que la orientación hacia la producción es más

⁵ Los porcentajes reportados corresponden al valor agregado censal bruto de cada sector económico.

⁶ Se considera alta tecnología la clasificación presentada en la tabla 2.

adecuada dado que una ZM cuenta con cierta cantidad de trabajadores y de acervo de capital por lo que hay que encontrar la combinación de estos factores que maximice la producción.

Dada la orientación hacia la producción utilizada en esta investigación, se utiliza el DEA para generar medidas de ineficiencia relativa de las ZM del país. El DEA es un método no paramétrico que calcula estas medidas para Unidades Tomadoras de Decisiones (DMU, por sus siglas en inglés). En nuestro caso, las DMU son las ZM del país. La intuición del método es que construye una frontera tecnológica a partir de los datos disponibles sin necesidad de especificar alguna relación funcional entre los insumos y los productos. Las ZM más eficientes se ubican en la frontera, mientras que las ZM ineficientes, por debajo de la misma. Bajo la orientación hacia la producción, el DEA encuentra una combinación que maximiza la cantidad de los distintos productos, dados los niveles de insumos que están siendo utilizados⁷.

Banker *et al.* (1984) introducen una variante del método DEA que permite que la frontera de producción tenga rendimientos variables a escala (RVE). El problema a resolver cuando la orientación es hacia la producción es el siguiente:

$$\text{Max } \phi \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{i0}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq \phi y_{r0}, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (4)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad (5)$$

Donde ϕ es la proporción en que los productos pueden ser expandidos, λ_j es la intensidad de la ZM j en la construcción de la ZM de referencia, x_{ij} es la cantidad del insumo i utilizado por la ZM j , y_{rj} es la cantidad del producto r hecho en la ZM j . Como se puede observar, este método no limita la cantidad de insumos ni productos.

Dada la interpretación de ϕ_j , el método DEA con orientación hacia la producción genera medidas de ineficiencia; es decir, cuando ϕ_j es mayor a 1 significa que la ZM j es menos eficiente que la ZM construida como referencia, mientras que si es igual a 1, entonces es igual de eficiente que la ZM de referencia. La interpretación de los valores se relaciona con $\phi_j - 1$; es decir, dado el nivel de insumos con el que cuenta, la ZM j puede incrementar su producción un porcentaje equivalente a $\phi_j - 1$. Para asociar directamente los valores de ϕ_j al concepto de eficiencia, en esta investigación se utiliza el inverso de ϕ_j como medida de eficiencia, ya que $1/\phi_j$ está entre 0 y 1, siendo 1 en el caso de ZM eficientes.

Para calcular las medidas de eficiencia productiva de las ZM del país por medio del DEA, se utiliza como insumo la formación bruta de capital fijo dividida entre los trabajadores en cada ZM (FBL). Como productos que se incluyen, por separado, los valores agregados censales brutos (VACB) de los sectores primario, secundario y terciario divididos por los

⁷ El método DEA, independientemente de la orientación hacia los insumos o la producción, estima la misma frontera tecnológica y, por definición, identifica a las mismas DMU como eficientes.

trabajadores de cada ZM (S1L, S2L y S3L, respectivamente)⁸. Las medidas de eficiencia se calculan con base en información del Censo Económico de 2014. Este censo reporta información a nivel municipal, por lo que es necesario agregarla con base en los 417 municipios que integran alguna de las 74 ZM. Cabe señalar que la inclusión de las variables para estimar la eficiencia de cada ZM sigue el trabajo de Borrayo y Quintana (2018), quienes generan medidas de (in)eficiencia utilizando un método paramétrico a partir de una función de producción donde el VACB por trabajador de cada ZM depende exclusivamente de la FBL.

La tabla 5 muestra que las ZM de Coatzacoalcos, Mazatlán, Nuevo Laredo, Tehuantepec, Tula y Valle de México obtienen el indicador más alto de eficiencia productiva, 1. Por su parte, las seis ZM con menores indicadores de eficiencia en el país son Moroleón-Uriangato, Zacatecas-Guadalupe, Nogales, San Francisco del Rincón, Teziutlán y Tehuacán. El indicador de Tehuacán implica que reasignando la FBL entre los sectores de actividad económica podría aumentar el VACB alrededor de 400 %.

Tabla 5.

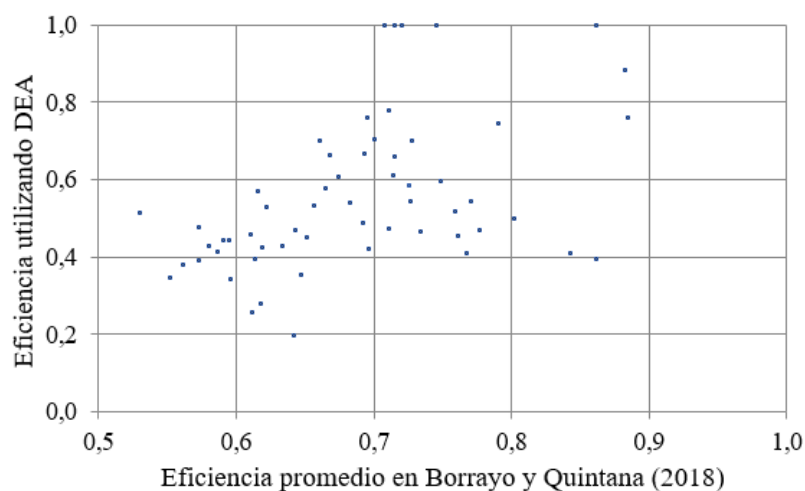
Zonas metropolitanas del país con mayor y con menor eficiencia productiva

ZM	$1/\phi_i$	ZM	$1/\phi_i$
Coatzacoalcos	1	Tehuacán	0.198
Mazatlán	1	Teziutlán	0.258
Nuevo Laredo	1	San Francisco del Rincón	0.279
Tehuantepec	1	Nogales	0.338
Tula	1	Zacatecas-Guadalupe	0.342
Valle de México	1	Moroleón-Uriangato	0.346

Nota. Elaboración propia con datos del censo económico 2014 de Inegi

El nivel de eficiencia promedio de las 74 ZM se ubica en 0.548, mientras que el valor mediano, en 0.492. Por otro lado, Borrayo y Quintana (2018) utilizan métodos de frontera de producción estocástica para medir la eficiencia de 59 ZM del país en tres periodos de tiempo. La figura 3 muestra la relación que hay entre los indicadores de eficiencia que se obtienen utilizando el método DEA y la medida de eficiencia promedio para cada ZM reportada por Borrayo y Quintana (2018). A pesar de que la información presentada por estos autores es un promedio, no un valor específico para el año 2014, y que solo consideran 59 de las 74 ZM, el coeficiente de correlación entre ambas series es 0.47.

⁸ Para calcular el VACB de los sectores primario, secundario y terciario se toma como referencia el SCIAN 2013 y se procede a sumar el VACB de las actividades económicas pertenecientes a cada sector.

Figura 3.*Relación entre coeficientes de ineficiencias para las ZM de México*

Nota. Elaboración propia con información de Borrayo y Quintana (2018)

Asimismo, se utiliza el índice de Moran para probar la existencia de autocorrelación espacial entre las medidas de ineficiencia de las ZM⁹. En ningún caso se puede rechazar la hipótesis nula de que la autocorrelación espacial entre los coeficientes de eficiencia sea igual a 0. Esto significa que, a pesar de que México es un país de gran extensión territorial con regiones heterogéneas entre sí, no hay evidencia de que la ubicación de las ZM afecte sus indicadores de ineficiencia productiva.

Relación causal entre eficiencia productiva y la alta tecnología

Para probar la hipótesis de que la presencia de industrias de alta tecnología contribuye a mejorar la eficiencia productiva de las ZM del país, se utilizan los indicadores de eficiencia obtenidos en la sección previa como variables y la presencia de la industria de alta tecnología se aproxima por medio del número de establecimientos y de los trabajadores que emplean los sectores asociados a esta industria. La ecuación (1) presenta la forma más general que se utiliza para estimar el efecto de la industria de alta tecnología sobre la eficiencia productiva de las ZM del país.

$$EF_i = \beta_0 + \beta_1 UE_i^{AT} + \beta_2 L_i^{AT} + \beta_3 p^{AT}UE_i + \beta_4 p^{AT}L_i + \beta_5 Ext_i + \beta_6 Mun_i + \varepsilon_i, \quad (1)$$

donde EF_i es el indicador de eficiencia productiva de la ZM i , UE_i^{AT} es la cantidad de unidades económicas del sector de alta tecnología que se localiza en la ZM i , L_i^{AT} es el personal ocupado que labora en la industria de alta tecnología de la ZM i . La presencia de la industria de alta tecnología también se aproxima en términos relativos, por lo que $p^{AT}UE_i$ y $p^{AT}L_i$ son los porcentajes de unidades económicas y personal ocupado que se dedican a actividades de alta tecnología, respectivamente. Se utilizan como controles la extensión territorial, Ext_i , y la cantidad de municipios, Mun_i , de cada ZM, pensando en que el tamaño de la ZM incide en la eficiencia en que esta puede transformar insumos en productos. La extensión territorial de cada ZM es la suma de las extensiones territoriales de los municipios que la conforman, en km^2 .

⁹ Este índice es un coeficiente de correlación espacial. Valores distintos de cero indican que la ineficiencia productiva de una ZM se ve afectada por su ubicación geográfica. Un valor de cero implica que el patrón espacial de las ineficiencias productivas es aleatorio.

La tabla 6 presenta las estadísticas descriptivas de las variables que se utilizan para probar la relación causal entre la eficiencia productiva y la presencia de la industria de alta tecnología en las ZM de México.

Tabla 6.

Estadísticas descriptivas (N = 74)¹⁰

Variable	Nombre	Promedio	desv.est	Mediana	Min	Max
EF_i	Eficiencia	0.548	0.194	0.492	0.198	1.000
UE_i^{AT}	UE de alta tecnología	22.203	50.118	6.000	0.000	390.000
L_i^{AT}	Personal de alta tecnología	1133.000	3364.422	35.000	0.000	21646.000
$p^{AT}UE_i$	Porcentaje de UE en alta tecnología	0.057	0.073	0.035	0.000	0.425
$p^{AT}L_i$	Porcentaje de personal en alta tecnología	0.481	1.216	0.038	0.000	5.332
Ext_i	Extensión	4365.24	7209.98	2150.00	53123.00	241.00
Mun_i	Municipios	5.64	10.24	3	1	76

Nota. Elaboración propia con datos del censo económico 2014 de Inegi

Se puede observar que todas las variables explicativas tienen una desviación estándar que es mayor que el promedio, lo cual es un indicio de la heterogeneidad que existe entre las ZM del país. En promedio, una ZM tiene 22 unidades económicas y 1,133 empleados cuyas actividades enfocadas en algunos de los sectores considerados de alta tecnología. Por otro lado, Nogales es la ZM que proporcionalmente tiene más presencia de sectores clasificados como de alta tecnología, al ocupar poco más del 5.3% del personal y poco menos de medio punto porcentual de unidades económicas.

En relación con el método de estimación de la ecuación (1), existe un debate con respecto a cuál es el mejor enfoque. Por un lado, algunos autores argumentan que se debe utilizar el modelo Tobit ya que el método DEA genera indicadores cuyo valor máximo es 1. Sin embargo, también se señala que el DEA produce indicadores de eficiencia por un proceso de datos en fracciones y no por uno censurado. En este sentido, en esta investigación se opta por estimar la ecuación (1) por medio del método Tobit y, también, usando mínimos cuadrados ordinarios (MCO), pero solo para aquellas observaciones cuyo indicador de eficiencia es menor a 1. Para cada método, se estiman tres versiones de la ecuación (1); una en donde se consideran de manera simultánea la presencia de la industria de alta tecnología tanto en términos absolutos como en términos relativos y otras dos versiones en donde se considera el tipo de presencia por separado.

La tabla 7 presenta los resultados de estimar las tres versiones de la ecuación (1) utilizando ambos métodos econométricos. En relación con las variables de control, se opta por presentar el resultado que tenga un mejor ajuste, de manera que el número de municipios que componen las ZM del país solo es estadísticamente significativo cuando la presencia de la industria de alta tecnología se mide solo a través de variables relativas.

¹⁰ Las proporciones están multiplicadas por 100; es decir, $p^{AT}UE_i = 100 \cdot (UE_i^{AT}/UE_i)$ y $p^{AT}L_i = 100 \cdot (L_i^{AT}/L_i)$.

Tabla 7.*Efecto de la industria de alta tecnología sobre la eficiencia productiva¹¹*

Variable	Ambos tipos de presencia		Presencia absoluta		Presencia relativa	
	Tobit	MCO	Tobit	MCO	Tobit	MCO
	A	B	C	D	E	F
Constante	0.538*** (0.031)	0.472*** (0.023)	0.509*** (0.028)	0.459*** (0.021)	0.500*** (0.035)	0.446*** (0.027)
UE_i^{AT}	0.0027*** (0.0009)	0.0022** (0.0009)	0.0016** (0.0006)	0.0014* (0.0007)		
L_i^{AT}	-0.000039*** (0.000014)	-0.000022* (0.000011)	-0.000009 (0.000007)	-0.000008 (0.000005)		
$p_i^{AT}UE_i$	-1.486** (0.579)	-0.707 (0.487)			-0.376 (0.483)	0.103 (0.346)
$p_i^{AT}L_i$	0.137*** (0.050)	0.062 (0.043)			0.025 (0.029)	-0.008 (0.021)
Ext_i	5.09E-06 (3.13E-06)	7.29E-06*** (2.26E-06)	5.13E-06 (3.20E-06)	7.45E-06*** (2.20E-06)	6.39E-06* (3.28E-06)	8.33E-06*** (2.30E-06)
Mun_i					0.007** (0.003)	0.005* (0.003)
R^2		0.234		0.207		0.199
Pseudo R^2	-6.450		-3.649		-3.630	
AIC	-0.099	-1.120	-0.044	-1.144	-0.017	-1.105
Schwarz	0.119	-0.925	0.111	-1.013	0.170	-0.941
Estadístico F		3.798***		5.559***		3.914***
Prueba LR	18.441***		10.431**		10.377**	
Prob	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.01
Observaciones	74	68	74	68	74	68

Nota. Elaboración propia

Las columnas A y B del cuadro 7 presentan los resultados de estimar el efecto de la presencia de la industria de alta tecnología en términos absolutos y relativos sobre la eficiencia productiva de las ZM del país. Aunque todos los coeficientes de interés bajo la estimación Tobit son diferentes de cero, se observa que solamente los coeficientes relacionados con la presencia de la industria en términos absolutos son consistentemente diferentes de cero en ambas columnas. Para el caso de las unidades económicas, se infiere que entre más negocios se dediquen a actividades que integran la alta tecnología se mejora la manera en que se distribuye la formación bruta de capital por trabajador entre los sectores primario, secundario y terciario. Lo opuesto ocurre con el número de trabajadores; esto es, más trabajadores dedicándose a la alta tecnología, reducen la eficiencia productiva de las ZM del país. Con respecto a las variables que miden la presencia en términos relativos, llama la atención que solo son estadísticamente diferentes de cero con el modelo Tobit y, además, los signos son los contrarios a las variables que miden la presencia en términos absolutos.

El efecto exclusivo de las variables en términos absolutos se presenta en las columnas C y D. Se observa que la significancia del efecto del número de trabajadores sobre la eficiencia productiva se desvanece, mientras que la cantidad de unidades económicas sigue teniendo un impacto positivo. Por su parte, al aislar el efecto de las variables

en términos relativos (columnas E y F), se pierde la significancia de los coeficientes de ambas variables en el modelo Tobit y continúan siendo no significativos cuando se emplea MCO. De esta manera, los resultados de esta investigación permiten afirmar de manera robusta que el número de unidades económicas dedicadas a actividades de alta tecnología contribuye a mejorar la eficiencia productiva de las ZM del país. En el caso de las otras mediciones de la presencia de esta industria, los efectos encontrados no se pueden generalizar.

En relación con las variables de control, se observa que al utilizar MCO, estas son significativas. Esto es, la extensión territorial de las ZM y el número de municipios que la conforman (en la columna F) inciden directamente en su eficiencia productiva. Este resultado parecería ser contrario a la intuición de que ciudades compactas son más eficientes pues sus habitantes destinan menos tiempo y recursos monetarios en traslados, aunado a que parecería ser relativamente más sencillo el suministro de bienes, de servicios y de insumos si la extensión territorial de las ZM fuera menor.

Conjuntando los resultados de esta investigación con el de Andrés-Rosales *et al.* (2017), relativo a que el desarrollo de las entidades de México se asocia con la presencia de industrias de alta tecnología en su estructura productiva, se puede decir que aquellas ZM que tengan más unidades económicas enfocadas a la alta tecnología mejorarán su eficiencia productiva, lo cual traerá como consecuencia un mayor desarrollo. Por otro lado, el signo de los coeficientes de las variables en términos relativos de las columnas A y B coinciden con los de Borrayo y Quintana (2018), quienes miden el impacto que tiene la industria creativa sobre la eficiencia productiva de las ZM; sin embargo, las variables en términos absolutos presentan los signos contrarios. Por otro lado, a diferencia de Hartog *et al.* (2012), quienes relacionan positivamente la proporción de industrias relacionadas con la alta tecnología y el crecimiento económico, en esta investigación el efecto sobre la eficiencia productiva es, en el mejor de los casos, nulo.

CONCLUSIONES

Dado el desarrollo tecnológico de vanguardia que genera la industria de alta tecnología y sus posibles efectos *spillover*, a nivel regional se considera importante tener insumos enfocados en estas actividades. Por otro lado, el estudio de la eficiencia productiva a nivel regional es relevante ya que puede dar pauta a políticas que influyan en la reasignación de recursos entre los diferentes sectores económicos y, así, incrementar el valor de la producción regional.

Un problema al que se enfrentan quienes estudian la industria de la alta tecnología es que no existe una definición única de este tipo de industria; debido a su propia naturaleza, la alta tecnología de ayer puede ya no ser de vanguardia hoy. En este sentido, en esta investigación se consideran sectores que componen la industria de alta tecnología a aquellos que invierten más de 1% de sus ingresos en I+D. Se observa que para 2014, casi 93% de los establecimientos y 99% de los trabajadores relacionados con estos sectores se ubican en alguna de las 74 ZM del país.

Esta investigación aplica el método DEA con orientación hacia la producción para generar indicadores de eficiencia productiva en las 74 ZM del país y los relaciona con la presencia de sectores que conforman la industria de alta tecnología en cada una de ellas. El análisis de los indicadores de eficiencia productiva no encuentra evidencia de que estos estén relacionados con la ubicación geográfica de las ZM. Por otro lado, al analizar la relación con la presencia de la alta tecnología, se observa que la única medida consistentemente significativa es el número de unidades económicas. Entre más unidades económicas

dedicadas a actividades de alta tecnología haya en una ZM, se mejora su eficiencia productiva. Para las medidas relativas, los resultados no son robustos.

En este sentido, una política coordinada por parte de las autoridades municipales que componen una ZM cuyo propósito sea incrementar el número de empresas dedicadas a la alta tecnología traería beneficios en términos de la asignación de recursos en toda la ZM; sin embargo, fomentar la especialización de la ZM en actividades relacionadas con esta industria no necesariamente mejoraría la eficiencia productiva ya que, para las medidas relativas, los resultados de esta investigación no son robustos.

REFERENCIAS

- Andrés-Rosales, R., Ramírez, R. & Navarro, E. (2017). La concentración de las industrias de alta tecnología y manufactureras en las regiones mexicanas: un análisis con SDM, 2004-2014. *Paradigma Económico. Revista de Economía Sectorial y Regional*, 9(2), 65-91. <https://paradigmaeconomico.uaemex.mx/article/view/9392>
- Bailly, A., Maillat, D. & Coffey, W. (1987). Service Activities and Regional Development: Some European Examples. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 19(5), 653-668. <https://doi.org/10.1068/a190653>
- Banker, R., Charnes, A. & Cooper, W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- Battese, G. & Coelli, T. (1995). A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data. *Empirical Economics*, 20(2), 325-332. <https://bit.ly/33DivoB>
- Bendodo, E., Fernández, M. & Sánchez, J. (2019). Un análisis de la eficiencia de municipios turísticos españoles. *Cuadernos de Turismo*, (43), 147-168. <http://dx.doi.org/10.6018/turismo.43.06>
- Borrayo, R. & Quintana, L. (2018). Creatividad, eficiencia y concentración espacial en México. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 49(193), 33-66. <https://doi.org/10.22201/iiiec.20078951e.2018.193.63181>
- Caragliu, A., Del Bo, C., Kourtit, K., Nijkamp, P. & Suzuki, S. (2012). In Search of Incredible Cities by Means of Super-Efficiency Data Envelopment Analysis. *Studies in Regional Science*, 42(1), 129-144. <https://doi.org/10.2457/srs.42.129>
- Cimoli, M., Porcile, G., Primi, A. & Vergara, S. (2005). Cambio estructural, heterogeneidad productiva y tecnología en América Latina. En M. Cimoli (Ed.), *Heterogeneidad estructural, asimetrías tecnológicas y crecimiento en América Latina* (pp. 9-39). Santiago de Chile: Naciones Unidas. <http://hdl.handle.net/11362/2800>
- Cook, W., Tone, K. & Zhu, J. (2014). Data Envelopment Analysis: Prior to Choosing a Model. *Omega*, 44, 1-4. <http://www.deafontier.net/papers/OMEGAPriori.pdf>
- Fang, C., Guan, X., Lu, S., Zhou, M. & Deng, Y. (2013). Input-Output Efficiency of Urban Agglomeration in China: An Application of Data Envelopment Analysis (DEA). *Urban Studies*, 50(13), 2766-2790. <https://bit.ly/3qujXmg>

- García-Pérez, D., Gálvez-Albarracín, E. & Maldonado-Guzmán, G. (2016). Efecto de la innovación en el crecimiento y el desempeño de las mipymes de la Alianza del Pacífico. Un estudio empírico. *Estudios Gerenciales*, 32(141), 326-335. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0123592316300444/pdf>
- Hartog, M., Boschma, R. & Sotarauta, M. (2012). The Impact of Related Variety on Regional Employment Growth in Finland 1993-2006: High-Tech Versus Medium/Low-Tech. *Industry and Innovation*, 19(6), 1-34. <http://econ.geo.uu.nl/peeg/peeg1205.pdf>
- Inegi (2013). *Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, México. SCIAN 2013*. México: Autoedición. <https://bit.ly/3rlYz1s>
- Inegi (2014). Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico (Esidet) 2014. <https://www.inegi.org.mx/programas/esidet/2014>
- Inegi (2020). Banco de Información Económica. Autoedición. <https://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>
- Martínez, P. (2012). Distorsiones regionales en la asignación de recursos y productividad de las manufacturas en México. *Estudios Económicos*, 27(1), 3-59. <https://bit.ly/33DA5sB>
- Mendoza, M. & Díaz, 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://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2019v34n86/Mendoza>
- Monkam, N. (2014). Local Municipality Productive Efficiency and its Determinants in South Africa. *Development Southern Africa*, 31(2), 275-298 (pp. 1-24). <http://hdl.handle.net/2263/40791>
- Moyeda, C. & Arteaga, J. (2016a). Innovación y productividad a nivel empresa en México. En L. Gutiérrez & V. Germán-Soto (Eds.), *Perspectivas y retos actuales de la innovación en México: regiones, sectores y empresa* (pp. 57-92). Saltillo: Ediciones DeLaurel.
- Moyeda, C. & Arteaga, J. (2016b). Medición de la innovación, una perspectiva microeconómica basada en la Esidet-MBN 2012. *Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 7(1), 38-57. https://rde.inegi.org.mx/rde_17/doctos/rde_17_art3.pdf
- Naciones Unidas (2005). *Clasificación industrial internacional uniforme de todas las actividades económicas (CIIU). Revisión 3.1*. Nueva York: Autoedición. <https://bit.ly/3FnaH7D>
- Romer, D. (1996). *Advanced Macroeconomics* (4.a ed.). Nueva York: McGraw-Hill. <https://bit.ly/33mCS9z>
- Sandoval, D. (2020). *La alta tecnología y la productividad en México. Un análisis de la eficiencia productiva a nivel metropolitano*. [tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Nuevo León, México]. Repositorio Institucional UANL.
- Sedatu, Conapo e Inegi (2018). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015*. México: Autoedición. <https://bit.ly/3GwNv89>
- 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>