

Benita Maldonado, Francisco J.; Gaytán Alfaro, Edgar D.; Rodallegas Portillo, Mayra C.

## Article

# Un estudio no paramétrico de eficiencia para la minería de Zacatecas, México

Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa

## Provided in Cooperation with:

Universidad Pablo de Olavide, Sevilla

*Suggested Citation:* Benita Maldonado, Francisco J.; Gaytán Alfaro, Edgar D.; Rodallegas Portillo, Mayra C. (2012) : Un estudio no paramétrico de eficiencia para la minería de Zacatecas, México, Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa, ISSN 1886-516X, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, Vol. 14, pp. 54-75

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/113847>

### Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

### Terms of use:

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

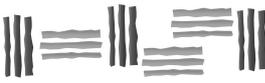
*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*



<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/es/>



UNIVERSIDAD  
**PABLO DE  
OLAVIDE**  
SEVILLA



REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA  
LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (14). Páginas 54-75.  
Diciembre de 2012. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.  
URL: <http://www.upo.es/RevMetCuant/art.php?id=62>

## Un estudio no paramétrico de eficiencia para la minería de Zacatecas, México

BENITA MALDONADO, FRANCISCO J.

División de Estudios de Posgrado, Facultad de Economía  
Universidad Autónoma de Nuevo León

Correo electrónico: [francisco\\_benita@hotmail.com](mailto:francisco_benita@hotmail.com)

GAYTÁN ALFARO, EDGAR D.

Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales  
Universidad Autónoma de Zacatecas

Correo electrónico: [davidgaytan81@gmail.com](mailto:davidgaytan81@gmail.com)

RODALLEGAS PORTILLO, MAYRA C.

Universidad Autónoma de Coahuila

Correo electrónico: [mayra\\_hanson@hotmail.com](mailto:mayra_hanson@hotmail.com)

### RESUMEN

La intención de este trabajo es abordar el sector minero en el estado de Zacatecas bajo la técnica del análisis envolvente de datos para construir indicadores de eficiencia en los años 1998, 2003 y 2008. Se realiza un análisis entre entidades federativas para comparar el desempeño a nivel nacional; asimismo, se efectúa un estudio comparativo entre tipos específicos de producción minera. El artículo constituye una fuente de información significativa sobre el desempeño de la industria minera en la entidad, pudiendo identificar los productos del estado que son susceptibles de mejora técnica mediante las clases de actividad ineficientes.

**Palabras clave:** análisis regional; minería; análisis envolvente de datos (DEA).

**Clasificación JEL:** R11; R15; C61.

**MSC2010:** 62G05, 90C05.

# A Non-Parametric Approach to Efficiency for Mining in Zacatecas, Mexico

## ABSTRACT

The aim of the paper is to use the data envelopment analysis (DEA) for mining in Zacatecas and provide efficiency indicators in the years 1998, 2003, and 2008. We compare the performance of the state of Zacatecas with other mining states in Mexico. Then the empirical analysis extends to specific mining. The study is an important source of information about mining behavior. By using the national industries level, it was possible to identify the products that are susceptible of improvement.

**Keywords:** regional analysis; mining; data envelopment analysis.

**JEL classification:** R11; R15; C61.

**MSC2010:** 62G05, 90C05.



## 1. INTRODUCCIÓN

En América Latina, el impacto económico de la actividad minera no ha sido uniforme. Si bien en la época colonial los metales preciosos son el producto principal de exportación, en épocas posteriores pierden su carácter rector; primero por el aumento de su producción y exportación agropecuarias y después por el impulso y la orientación del proceso industrializador. La situación, empero, admite matices: en unos países la participación del sector extractivo en el producto interior bruto (PIB) es significativa, tal es el caso de Chile y Perú, en los que apoya las primeras fases del proceso de industrialización sin perder peso en las exportaciones totales. En otros países como Bolivia, Guayana, Jamaica, República Dominicana y Surinam, su participación en el PIB es menos elevada pues se trata de economías primario-exportadoras, a diferencia de países como Brasil, Venezuela o México en los que la minería ha alcanzado niveles importantes de desarrollo (Burnes, 2006).

En la actualidad, todas las ramas industriales vinculadas de una u otra manera con el abastecimiento de recursos minerales, incluida su propia base de materias primas, desempeñan un papel esencial en el desarrollo socioeconómico de los países. Sin embargo, en México esta importancia no se ha reflejado con claridad en las estadísticas nacionales. Según el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEG, 2006 y 2010a), esta actividad participó únicamente con un 1,4% en promedio al PIB total en el período 1998-2009. Tal situación se atribuye en parte a que la gran mayoría de la producción minera se destina al consumo intermedio del sector industrial, por lo que una proporción de su producción se contabiliza de manera implícita en el producto final.

Una de las principales justificaciones para llevar a cabo un estudio sobre la eficiencia del sector minero en el estado de Zacatecas es debido a que ésta es una actividad productiva que tiene una estrecha relación con la historia económica de México y con este estado en particular. La riqueza geofísica de esta privilegiada tierra fue de tal magnitud que alrededor de 1549 Zacatecas ya era considerada una de las poblaciones novohispánicas más importantes, solo después de la Ciudad de México. Actualmente las regiones mineras más importantes contienen agregados minerales en forma de óxidos y sulfuros complejos de plomo, zinc y cobre, acompañados con significativas cantidades de plata y oro. Estas regiones se encuentran ubicadas en 13 distritos mineros, destacando por su importancia los de Fresnillo, Zacatecas, Concepción del Oro, Sombrerete, Chalchihuites y Mazapil. Asimismo, cabe destacar que en estas regiones también existen importantes yacimientos de minerales industriales como el caolín, el ónix, la cantera, la wallastonita o el cuarzo (Burnes, 2006). Por otra parte, de los 29 productos minero-metalúrgicos que considera el INEG, 10 son fundamentales: oro, plata, plomo, cobre, zinc, coque, fierro<sup>1</sup>, azufre, barita y fluorita. Zacatecas, como veremos más adelante, resalta como uno de los principales productores de tres de ellos: plata, plomo y zinc.

---

<sup>1</sup> “Hierro” en español de España.

De acuerdo con la Cámara Minera de México (CAMIMEX, 2010), el estado cuenta con dos depósitos de clase mundial (Fresnillo y Peñasquito) y para el año 2009 se ubicó en la segunda posición en cuanto a la participación de las entidades federativas en la producción minera<sup>2</sup>, solo por debajo de Sonora. Hay que señalar que durante ese mismo año, se registraron en el estado 16 proyectos de exploración.

Una vez expuesto lo anterior, resalta la importancia de la minería en el país, así como lo importante que es aprovechar las oportunidades de desarrollo que se vislumbran en este sector en el estado de Zacatecas. Consecuentemente con ello, queda claro que la relación Zacatecas-minería puede seguir siendo manejada como una ventaja comparativa tradicional, pero no se revela como condición suficiente para garantizar el desarrollo económico. En otras palabras, en el estado existe un potencial de desarrollo regional y local que en sí mismo se considera relevante, además de los posibles encadenamientos entre los sectores, primario, industrial y de servicios.

Por otro lado, en la literatura aparecen una serie de conceptos que son considerados como aspectos positivos en la evaluación de los resultados de las organizaciones, tales como: la efectividad, el rendimiento, la productividad, la eficiencia o el éxito, definidos de forma imprecisa y que son comúnmente utilizados de forma indistinta (Shenhav *et al.*, 1994). Según estos autores, a partir de la década de los ochenta del siglo XX el índice dominante en los trabajos ha sido el rendimiento. No obstante, su medición resulta bastante controvertida, siendo uno de sus principales problemas la elección del criterio más apropiado para su evaluación. Esto ha generado que en la literatura encontremos diferentes indicadores del mismo, tales como las ventas, la cuota de mercado, los beneficios y la rentabilidad. Por tal circunstancia, la motivación de este trabajo gira en torno a la construcción indicadores de eficiencia para el sector minero no petrolero en México, para posteriormente comparar el desempeño del estado de Zacatecas con el de otras entidades mineras. Mediante un método no paramétrico, que define la productividad como la relación entre la producción y los insumos utilizados, donde la frontera de posibilidades de producción muestra la relación máxima de producción posible dada una cantidad de insumos y tecnología, fue posible obtener información relevante para la caracterización de la industria minera en Zacatecas y ayudar a contribuir a cerrar la brecha de información que actualmente existe en este rubro. El periodo de tiempo que cubre el estudio se encuentra en virtud de los últimos tres Censos Económicos elaborados por el INEG: 1999, 2004 y 2009, que hacen referencia a información de un año anterior, debido a que son los únicos documentos que informan sobre el conjunto de variables necesarias para su elaboración.

Como premisa, se plantea que no existe el uso homogéneo de la tecnología adecuada para una explotación eficiente y racional que optimice el aprovechamiento de los factores de producción. Enseguida se considera que el sector extractivo de Zacatecas resulta con altos niveles de eficiencia relativa en comparación con el resto de los estados debido a que posee una

---

<sup>2</sup>Del total de los 9.319 millones de dólares, el estado de Sonora aportó el 27%, Zacatecas el 16% y Coahuila el 15%.

dotación relativamente mayor de materias primas. Esta ventaja comparativa le permite al estado especializarse en la producción de ciertos minerales y generar efectos multiplicadores para incrementar la eficiencia técnica en otras actividades que son susceptibles de mejora, es decir, aquéllas que tienen la opción de mejorar la cantidad de su producción sin modificar sus dotaciones de insumos.

La estructura del resto del documento se compone de cinco apartados. El que sigue a esta introducción trata de plantear la relevancia de la actividad tanto en el país como en el estado, pasando revista por sus principales indicadores, como el producto y el empleo. En la siguiente sección, iniciamos una revisión general de la literatura que fundamenta las ideas en torno a la caracterización económica de la actividad minera. Posteriormente, en el apartado cuatro se sugiere el uso de la metodología del análisis envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés) y se detalla su construcción. Este mecanismo teórico nos permitirá evaluar la asociación entre la competitividad con la cual se despliegan los recursos humanos y de capital. En el apartado cinco, presentamos los resultados obtenidos de la derivación de la técnica; primero se presentan los indicadores para cada una de las entidades federativas, haciendo posible la comparación en Zacatecas; y después el segundo nivel de análisis implica evaluar el comportamiento competitivo entre tipos de actividad minera. Utilizando las clases de actividad económica manejadas por el INEG (2002), este apartado evalúa al sector detectando áreas de oportunidad. Finalmente, la última sección toca algunas conclusiones generales sobre los alcances y limitaciones del presente estudio.

## **2. PANORAMA GENERAL**

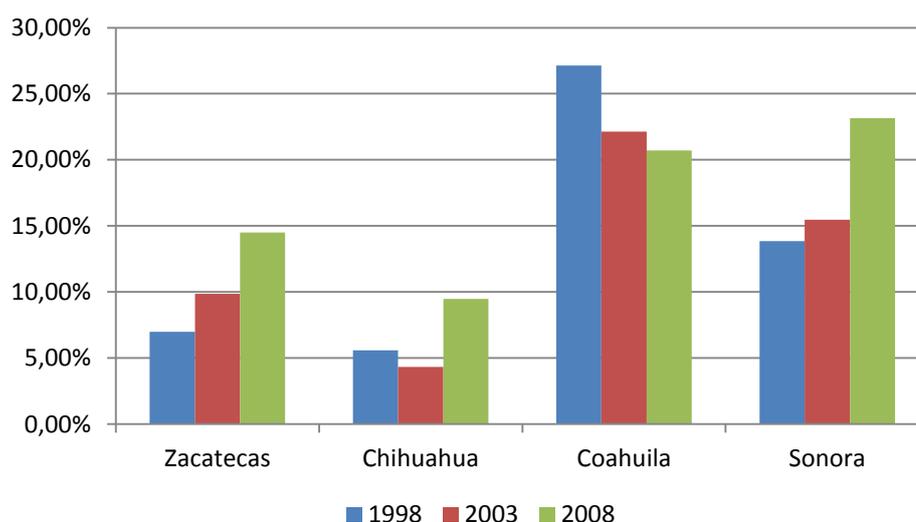
El reconocer el potencial de la minería como fuente de modernización y desarrollo económico en México surge desde el Porfiriato. La Secretaría de Economía (SE, 2006) señala que fue a partir de esa época cuando se reconoció el potencial de la minería como fuente de modernización y desarrollo, posicionándose hasta la fecha como una de las actividades principales de suministro de insumos para la gran mayoría de las industrias, principalmente construcción, metalurgia, química y electrónica. Bajo esta temática radica la importancia del análisis del comportamiento de esta actividad en las economías locales, particularmente el estado de Zacatecas, que cuenta con reservas importantes de plata, plomo y zinc. De hecho, el INEG (2004: p. 9) define a la minería como:

*“Toda aquella actividad productiva en la que se extraen, explotan y/o benefician los minerales depositados en el suelo y en el subsuelo. De acuerdo con sus características físicas y químicas, los minerales se clasifican en metálicos, no metálicos y energéticos. Entre los minerales metálicos se encuentran oro, plata, plomo, zinc, cobre, hierro, manganeso, entre otros; entre los minerales no metálicos, que son más abundantes en el territorio, se encuentran los materiales pétreos, arena, arcillas, calizas, yeso, minerales para obtener productos químicos y gemas minerales. En cuanto a los minerales energéticos se encuentra el petróleo, gas natural, carbón mineral y algunos minerales radiactivos”.*

Asimismo, resulta prudente resaltar, en la perspectiva de López (1960), que las actividades mineras pertenecen al grupo de las industrias secundarias (al igual que las manufacturas), pues sus insumos pueden provenir de actividades primarias o de este mismo grupo y sus productos se destinan a todos los sectores.

Acorde con la cobertura temporal que el estudio pretende cubrir, no es posible obtener una serie de tiempo anual que especifique variables relevantes para la minería no petrolera en México o en Zacatecas, es por ello que se hace uso de los Censos Económicos con periodicidad quinquenal (1999, 2004 y 2009). Del total del PIB<sup>3</sup> minero no petrolero en México, por ejemplo, más de la mitad está explicado por la participación de tres entidades: Coahuila, Sonora y Zacatecas. En la Gráfica 1 es posible apreciar el peso relativo de cada uno de estos estados para 1998, 2003 y 2008. Se observa que en Zacatecas, aunque su participación no es la mayoritaria, sí representa una importante proporción del PIB minero no petrolero en México y, a diferencia de Chihuahua o Coahuila, la tendencia ha sido sostenida al igual que Sonora.

Gráfica 1. Participación en la minería no petrolera de México: entidades seleccionadas.



Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del INEG (2001, 2005 y 2010a).

El valor de la producción tendió a crecer en términos reales: en el año 1998 fue de 2.184.277 mil pesos, en 2003 de 3.469.466 mil y en 2008 de 12.448.542 mil. No obstante, se aprecia una sensible disminución en la diversificación de su producción. De acuerdo con el INEG (2001, 2005 y 2010a), en 1998 el estado diversificaba su producción en 16 clases de actividad económica, mientras que diez años después la diversificación era solo de 10. Entre las actividades que no se correspondieron con ningún producto se encuentran el mercurio, el antimonio, la sal y la fluorita. Esto confirma el gran peso que representa la plata, el plomo y el zinc. Es decir, el valor de la producción se sigue explicando por estos tres productos.

<sup>3</sup> Producción bruta total en pesos corrientes para cada uno de los años.

Por otra parte, una exploración somera de los Censos Económicos permite detectar que el personal ocupado, al igual que el producto, ha presentado un crecimiento sostenido, pasando de 4.171 empleados a 5.865 entre 1998 y 2008. Las ramas que han concentrado el empleo han sido específicamente tres: la producción de plata, la de plomo y zinc y la producción de níquel. Particularmente, la minería de la plata ha llegado a concentrar hasta el 50% en el año 2008, recalcando la fuerte presencia de esta actividad en la entidad. Aunque en el estado existe la producción de otros minerales no metálicos, su peso relativo en la producción bruta o en el empleo no ha sido significativa; tal es el caso de la arena y grava para la construcción, el caolín o las piedras dimensionadas.

Esta especialización tan marcada puede ser aprovechada por las ventajas de las economías de mercado, ya que México ocupa una posición importante en cuanto a la inversión para la exportación superando a países como Chile o Brasil<sup>4</sup>. De tal suerte, se hace necesario aprovechar las oportunidades de desarrollo para este sector. Distintos países productores de minerales han invertido en investigación y desarrollo, consiguiendo con ello tecnologías competitivas que les han permitido incrementar sus cadenas de valor en la extracción de éstos. El estado de Zacatecas, contando con la ventaja comparativa de dos depósitos con reservas mineras importantes, en Peñasquito y Fresnillo, representa un interesante caso de estudio.

Seguindo a Sánchez y Lardé (2006), al ser global la minería, sus productos son fáciles de exportar. Los autores mencionan que la globalización minera implica que la explotación directa o la compra/venta se vinculen de manera flexible y dinámica a los espacios nacionales, siendo posible que se apliquen precios de transferencia. Este hecho lo confirma la CAMIMEX (2011), quien reveló que el año 2010 resultó ser muy relevante para el sector minero mexicano, pues la producción de los principales metales preciosos, metales industriales y no metálicos presentaron volúmenes sin precedentes. El informe señala que desde 2008 la minería se ubica entre los sectores productivos más importantes del país y las divisas generadas ascendieron a 15.474 millones de dólares en 2010, un 51% más que en 2009. Este significativo aumento fue derivado del incremento en el valor de los productos aunado a un aumento en los volúmenes de producción de 23 minerales. Así, del valor de la producción minero-metalúrgica, la plata, el zinc y el plomo contribuyeron con el 20%, 10% y 3%, respectivamente.

El fuerte impulso en el valor de la producción minera está directamente relacionado con los buenos precios internacionales que permitieron en 2010 la apertura de 8 unidades mineras entre las que destaca Peñasquito en Zacatecas, que en septiembre de ese año inició la producción comercial de oro, plata, zinc y plomo. Estas acciones contribuyeron a sostener la primera posición mundial de producción de plata para el país y se espera que la producción anual de zinc se incrementará en un 50% (CAMIMEX, 2011: p. 7).

---

<sup>4</sup>Durante 2010, la inversión total en la industria minera aumentó en 16%, alcanzando los 3.316 millones de dólares. De esta forma, la inversión ejercida en el periodo 2007-2010 ascendió a 11.986 millones de dólares (CAMIMEX, 2011: p. 9).

Otro aspecto que hay que rescatar es el hecho de que dos de los principales productores de plata del país están ubicados en Zacatecas. La mina Fresnillo de la empresa Fresnillo Plc. continúa siendo el mayor productor de plata primaria en México y del mundo, seguida por Peñasquito, propiedad de Goldcorp Inc., la cual contribuyó con el 28% de la producción total de plata en México en el año 2010.

El panorama anterior indica que este estado cuenta con grandes oportunidades para inducir la localización de producción en yacimientos metálicos y no metálicos, pero sobre todo de implementar políticas dirigidas a la creación de *clusters* industriales mineros en la región, dado que no se ha aprovechado dicho potencial. Lo anterior, no obstante, debe entenderse en el pleno reconocimiento de que la minería entraña una serie de riesgos en materia ambiental que por su naturaleza como actividad económica no pueden ser soslayados pero sí minimizados. De esta forma, la capacidad de los ecosistemas de auto-regenerarse puede verse interrumpida dada la extracción sistemática de minerales, con lo que el daño al capital natural es latente, constituyendo una amenaza a la viabilidad productiva, de generación de riqueza y de encadenamientos productivos propios de esta actividad.

### **3. REFERENCIAS TEÓRICAS**

El análisis de localización y organización espacial que siguen las firmas e industrias puede marcar la pauta para conocer mejor el funcionamiento de una unidad regional y de las actividades económicas que ahí se desarrollan. Es por ello que comprender mejor la manera como se organizan y funcionan las regiones puede contribuir a la realización de mejores políticas públicas, relacionadas con el desarrollo de la industria, derivando así la mejora de la economía en la región.

Estrechamente relacionada con la localización hallamos la concentración productiva en algunas regiones o sectores específicos. Para el caso de la minería, éste es un factor inherente, pues es una actividad que depende directamente de la dotación de recursos específicos en cada región. El primero en analizar la aglomeración involucrando el concepto de la localización es Weber (1909), quien se concentra en las economías de escala de la industria. El trabajo de este autor es de particular interés pues en él hace énfasis en los recursos o insumos que se concentran solo en lugares determinados. Posteriormente Hotelling (1929) desarrolla un modelo de competencia donde determina que el equilibrio de la localización conduce a la concentración y así se hace factible reconocer los efectos que las empresas obtienen de ésta, sobre todo en costos de transporte y obtención de mano de obra especializada. Aunque en la teoría clásica de la localización se observan diferentes enfoques para explicar la localización de las empresas, en López (1960) se plantea como un concepto que contemple por completo la distribución geográfica involucrando la ubicación y la concentración industrial al mismo tiempo. Es decir, el concepto de localización debe brindar una idea integral del espacio geográfico como de sus implicaciones dentro de la economía.

Por otro lado, Olhin (1933) hace lo propio y propone una clasificación de los factores determinantes de la concentración geográfica, mientras que Marshall (1920) reconoce las

externalidades que se relacionan con la concentración industrial. Recientemente, en Krugman (1991) se afirma que la distribución irregular de las actividades productivas a través del espacio es resultado natural de los procesos del mercado bajo condiciones de economías de aglomeración. En el caso de la minería no petrolera en Zacatecas, la extracción de plata, plomo y zinc concentran la mayor proporción de su empleo y su producto. Este fenómeno de concentración industrial ha sido estudiado desde el siglo pasado (ver Bastin (1941), Bakewell (1976) o Cross (1976), entre otros).

Para Sölvell *et al.* (2003) las economías de localización son aquéllas en las que las empresas se relacionan con las que están involucradas en actividades inter-ligadas, permitiendo la aparición de distritos industriales. Éstas tienen la cualidad de atraer a otras industrias; como ejemplo podemos mencionar a la minería y se presenta cuando una empresa decide ubicarse en una localidad dotada de materia prima pues de otro modo sus costos de transporte serían muy elevados.

En el caso de la minería, los productos que se obtienen son insumos para otros sectores económicos y es precisamente en ello donde recae la decisión de otras empresas de localizarse cerca de ellas, disminuyendo sus costos de transporte. Las externalidades que se obtienen de las economías de aglomeración benefician directamente la actividad económica de la región, hecho que debe ser aprovechado por el estado de Zacatecas, pues al contar con yacimientos importantes presenta ventajas geográficas que eventualmente pueden inducir la localización de industrias mineras. De este modo, se observan áreas de oportunidad para realizar políticas que impulsen la creación y permanencia de aglomeraciones industriales que puedan incrementar los beneficios económicos de la población.

Finalmente, es necesario abrir un paréntesis para recordar que la minería es un proceso mediante el cual se extraen minerales de un yacimiento donde las consecuencias para la salud de quienes trabajan en ella son de sobra conocidas: enfermedades como la silicosis, aumentando el riesgo de tuberculosis, bronquitis, infecciones respiratorias, asma, etc. han acompañado a los mineros desde siempre. Anteriormente, en la minería subterránea este riesgo quedaba reducido a los trabajadores; sin embargo, en la minería a cielo abierto la contaminación ambiental por polvo extiende este riesgo a las poblaciones que rodean el área minera. De este modo, las actividades mineras son responsables de una de las fuentes de contaminación por metales pesados más persistentes del planeta, debido a los estériles que suelen ser almacenados ocupando normalmente grandes superficies de terreno (Belmonte, 2010). Asimismo los proyectos mineros comprenden distintas fases secuenciales que empiezan con la exploración y terminan con el periodo de post-cierre de la mina y donde cada fase está asociada a un conjunto de impactos ambientales. Por ello, en México, después de tantos años de actividades mineras sin regulación ambiental y sin ninguna medida de compensación o restricción para quienes han resultado afectados por daños a la salud y al ambiente, el sector ahora se encuentra regulado por la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y la Ley de Aguas Nacionales. Este cuadro ofrece

una visión más amplia del sector y no debe verse como desalentadora de la inversión, sino como un reto para establecer criterios y regulaciones ambientales específicas para la minería en México.

#### **4. EL ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS**

Cabello (2006) menciona que cualquier organización que provea bienes o servicios requiere medir su capacidad de transformar recursos en productos, surgiendo así el fenómeno de la medición de la eficiencia para las industrias. A la luz de estos hechos, comparar actividades económicas similares se hace necesario, con el afán de mejorar la productividad al identificar y adoptar prácticas superiores. No obstante, medir el desempeño de las actividades económicas no tiene una metodología única, por lo que es posible hacerlo mediante indicadores de la productividad promedio del trabajo, índices de eficiencia o los costos de producción.

En este estudio, la productividad se concibe como la relación entre la producción y los insumos utilizados, donde la frontera de posibilidades de producción muestra la relación máxima de producción posible dada una cantidad de insumos y tecnología. Niveles de producción que se encuentren por debajo de esta frontera vienen a ser catalogados como ineficientes técnicamente, pues es posible incrementar la producción sin utilizar más insumos. Por tal motivo, la eficiencia determina un valor con una escala fija y comparable con procesos similares, mientras que la productividad obtiene una medida particular para cada insumo proporcionando diferentes escalas.

El cálculo empírico de la frontera eficiente se puede realizar mediante aproximaciones paramétricas y no paramétricas. Las del tipo paramétrico utilizan programación matemática o técnicas econométricas para estimar los parámetros de la frontera. Sin embargo, este enfoque tiene como desventaja la imposición de una determinada forma funcional, mientras que el enfoque no paramétrico permite realizar supuestos sobre propiedades de la tecnología de producción que permiten definir los procesos productivos factibles con los que se delimitan los planes de producción realizables (Coelli *et al.*, 1997).

El método elegido para la construcción de indicadores de eficiencia en esta investigación es el DEA, principalmente porque es una técnica que requiere de menos supuestos y especificaciones técnicas, además de que brinda resultados sin que se defina previamente la distribución del término de la ineficiencia. Desde su aparición han sido numerosos los trabajos que se han realizado para la evaluación de la eficiencia en la economía a través del DEA. Sin la intención de cansar al lector, a continuación pasamos revista de algunos estudios importantes, a fin de que se pueda apreciar con mayor claridad lo que se ha encontrado, relacionado con el presente trabajo pero en diferentes sectores.

a) Sector salud. Banker *et al.* (1986), pioneros en este estudio, realizan un ejercicio empírico comparando los costos y la producción de una muestra de hospitales en Carolina del Norte a través de dos modelos diferentes: uno econométrico translogarítmico y el DEA. En su conclusión, mientras que el modelo translogarítmico sugiere rendimientos constantes a escala, el

DEA presenta mayor flexibilidad para sus estimaciones, pues es posible utilizar rendimientos constantes, crecientes, decrecientes o variables a escala. Para México, es posible citar el trabajo de Salinas-Martínez *et al.* (2009), donde se cuantifica la eficiencia técnica de la atención a pacientes con diabetes distinguiendo entre dos productos: la provisión de servicios y los resultados en salud.

b) Sector educativo. Aquí encontramos trabajos como el de Charnes *et al.* (1981), donde se plantea un plan de toma de decisiones basadas en la resolución de diferentes modelos matemáticos DEA con el objeto de detectar la existencia de diferencias en la eficiencia de diferentes programas o modelos de producción. Por otro lado, Beasley (1995) propone un modelo de multiactividad que permite evaluar a organizaciones que realizan actividades tecnológicamente diferentes compartiendo recursos comunes. Mar-Molinero (1996), por su parte, explora la justificación teórica del Beasley concentrándose en su versión envolvente.

c) Sector público y de servicios. Distexhe y Perelman (1994), Good *et al.* (1995) o Nachum (1999), por ejemplo, abordan casos del sector público y de servicios cuya aparición en la literatura es más reciente. De igual modo, Navarro y Torres (2006) analizan la eficiencia técnica, de escala y global de las 13 divisiones de distribución que integran la Comisión Federal de Electricidad en México entre 1990 y 2003. Su estudio permitió identificar las unidades eficientes, las cuales fueron referentes de las divisiones ineficientes y se identificaron áreas de mejora de las mismas.

d) Sector industrial. Jaforullah (1999) investiga la tecnología de producción, las posibilidades de sustitución entre los factores de producción y la eficiencia técnica de la industria textil de Bangladesh, usando datos de 64 regiones sobre valor agregado, número de personas ocupadas y valor del *stock* de capital. Por su parte, para el periodo 1975-1995, Mahadevan (2000) intenta, por un lado, comprender la eficiencia técnica en 28 industrias de manufactura de Singapur y, por otro lado, investigar las causas de la operación ineficiente en estas industrias. Para ello, usa datos agregados a nivel industria sobre valor agregado (como producto) y como insumos los gastos de capital y número de trabajadores empleados.

En García (2008) se estima el modelo DEA para el *cluster* de la electrónica y sus componentes en México entre 1988 y 2003. En su trabajo analiza los índices de eficiencia por rama y zona metropolitana. Su estimación fue orientada por insumos (personal ocupado total y el valor total de los activos fijos) mientras que como producto utilizó dos modalidades: en la primera, el valor agregado censal bruto y en la segunda la producción bruta total. El autor encontró que esta actividad económica tiende a concentrarse debido a las externalidades que genera impactando positivamente en su productividad, así como también la relocalización de las actividades productivas que consideró.

Como se ha visto en los ejemplos anteriores, existe una amplia literatura sobre el tema; sin embargo, no se tiene conocimiento de alguna aplicación al sector minero, por lo que se espera que el estudio abone a la anterior evidencia empírica.

Por otro lado, los supuestos originales del modelo son tres: las firmas tienen rendimientos constantes a escala; la isocuanta es convexa hacia el origen y con pendiente no positiva; y la función de producción eficiente es conocida. Posteriormente, Banker *et al.* (1989) relajan el supuesto de rendimientos constantes a escala permitiendo que ahora sean variables, es decir, constantes, crecientes o decrecientes.

Siguiendo a Coelli *et al.* (1997), dado un proceso de producción con rendimientos constantes a escala, en el cual se utilizan los  $K$  insumos  $(x_1, x_2, \dots, x_K)$  para producir  $M$  productos  $(y_1, y_2, \dots, y_M)$  de  $N$  firmas, la eficiencia técnica de cada una de ellas podría estimarse utilizando programación lineal.

El primer paso en el procedimiento que sigue este modelo es obtener las proporciones de los productos entre insumos para cada firma:  $u'y_1/v'x_1$ , donde  $u$  es un vector de los pesos de los productos con extensión  $M \times 1$  y  $v$  es un vector  $K \times 1$  que representa los pesos de los insumos. Mediante la solución del problema de programación lineal se obtienen los pesos óptimos:

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{u,v} (u'y_1/v'x_1) \\ & \text{S. a. } u'y_j/v'x_j \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, N \\ & \quad u, v \geq 0. \end{aligned}$$

De esta maximización se obtiene el indicador de eficiencia para cada firma evaluada. A lo anterior hay que añadirle la siguiente restricción para convertirlo en un modelo de rendimientos variables a escala:

$$\begin{aligned} & \text{Min}_{\theta, \lambda} \theta, \\ & \text{S. a. } -y_i + Y\lambda = 0, \\ & \quad \theta x_i - X\lambda = 0, \\ & \quad N1'\lambda = 1 \text{ (restricción de convexidad)} \\ & \quad \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

donde  $N1$  es un vector de 1 con extensión  $N \times 1$ . Así, esta restricción contribuye a que las firmas que cuentan con ineficiencia tengan como referente aquellas que tienen tamaño similar. Sin embargo, hay que enfatizar también sus limitaciones; Coelli *et al.* (1997) remarcan que son tres:

- a) No es una técnica apropiada para probar hipótesis; dado que es una técnica no paramétrica, no cuenta con indicadores estadísticos para medir perturbaciones.
- b) No se ha especificado un número óptimo de unidades a incluir en el análisis.
- c) Las variables de insumo y producto a considerarse no han sido especificadas; aun así, el uso de muchas variables se considera metodológicamente erróneo.

La metodología utilizada para este análisis es un modelo DEA estándar con el supuesto de rendimientos variables a escala. Este supuesto va a permitir que la comparación entre estados y productos se realice tomando en consideración el tamaño de cada unidad, en este caso, medido

por la similitud en procesos de producción. Se utilizó el enfoque al producto para construir los indicadores de eficiencia debido a que se considera que, por las características del sector, los productores cuentan con mayor manipulación sobre los niveles de producción y no sobre insumos. Los datos para construir los indicadores se obtuvieron de los Censos Económicos de México de 1999, 2004 y 2009, pudiendo estimar para cada uno de los años anteriores los indicadores, considerando únicamente la minería no petrolera. Se calculó el nivel de eficiencia para este sector para cada uno de los estados en los tres cortes transversales así como los índices para las clases de actividad económica en Zacatecas que componen la producción de minerales metálicos y no metálicos.

Para caracterizar la actividad productiva de las industrias extractivas se ha utilizado como *output* la producción bruta total medida en pesos corrientes. Se decidió considerar la producción bruta total y no el valor agregado bruto debido a la naturaleza de la minería como actividad económica. Al ser éste, en su mayoría, un sector proveedor de insumos, el valor agregado al producto final suele ser bajo y la mayor parte de su composición de valor se encuentra en la generación de bienes intermedios. Así, aunque en primera instancia da la impresión de tratarse de una doble contabilidad, la medida es necesaria debido a que hay estados con saldos de valor agregado negativos que al llevarse a la estimación generan resultados atípicos. Dado que la técnica no permite el cálculo de los índices si se presentan valores negativos o nulos en las variables, una alternativa al uso de la producción bruta total sería la utilización del valor agregado bruto eliminando aquellas clases de actividad con valores negativos o iguales a cero; sin embargo, al tratarse de un número pequeño de industrias, la pérdida de información sería considerable.

Como insumos se han seleccionado el capital y el trabajo medidos por los activos fijos totales en pesos corrientes y el personal ocupado total; estas variables han sido seleccionadas siguiendo trabajos anteriores (como Jaforullah (1999), Mahadevan (2000) y García (2008), entre otros). Por último, los índices de eficiencia técnica se calcularon con el *software* libre DEAP 2.1; el valor de éstos se presenta entre 0 y 1, siendo el valor 1 el de la máxima eficiencia.

## **5. RESULTADOS**

El Cuadro 1 muestra los indicadores de eficiencia para el sector minero no petrolero de cada una de las entidades federativas del país, así como la eficiencia técnica promedio para cada año. En el caso del estado de Zacatecas parece que la participación importante en la producción nacional se ve reflejada sobre la eficiencia del sector.

De los resultados obtenidos se aprecia que en 1998 Zacatecas presentó un índice de eficiencia de 0,67, menor al promedio nacional. Dado que los índices tienen el enfoque al producto, este valor se interpreta como la opción de mejorar en un 23% el valor de la producción sin modificar su dotación de insumos: empleo y capital.

Cuadro1. Índices de eficiencia de la minería no petrolera por entidad federativa.

<b>Entidad</b>	<b>1998</b>	<b>2003</b>	<b>2008</b>
Aguascalientes	1,00	0,60	0,57
Baja California	0,64	0,48	0,09
Baja California Sur	1,00	1,00	0,72
Campeche	0,52	0,37	1,00
Coahuila	1,00	1,00	0,90
Colima	0,76	0,65	0,53
Chiapas	0,35	0,18	0,52
Chihuahua	0,58	0,67	0,41
Distrito Federal	0,31	0,58	0,26
Durango	0,69	0,82	0,32
Guanajuato	0,34	0,40	0,59
Guerrero	0,68	0,47	0,49
Hidalgo	0,81	0,34	0,18
Jalisco	0,06	0,58	0,52
México	0,47	0,55	0,13
Michoacán	1,00	0,51	0,51
Morelos	1,00	0,53	0,99
Nayarit	0,83	0,81	0,39
Nuevo León	0,83	0,83	0,46
Oaxaca	0,42	0,64	0,45
Puebla	0,91	0,38	0,38
Querétaro	1,00	0,44	0,62
Quintana Roo	1,00	0,49	0,60
San Luis Potosí	0,82	1,00	0,49
Sinaloa	0,84	0,84	0,40
Sonora	1,00	1,00	1,00
Tabasco	0,38	0,55	0,74
Tamaulipas	0,60	0,68	1,00
Tlaxcala	1,00	1,00	1,00
Veracruz	0,65	0,25	0,29
Yucatán	0,28	0,68	0,41
Zacatecas	0,67	1,00	0,63
<b>Eficiencia media</b>	<b>0,70</b>	<b>0,63</b>	<b>0,55</b>

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del INEG (2001,2005 y 2010a).

Para los años 2003 y 2008 el indicador fue superior al promedio nacional, llegando a presentar eficiencia máxima en 2003. Se encontró que el referente de comparación para Zacatecas en 1998 y 2003 fue Coahuila, el cual se colocaba en el primer lugar de participación en el valor bruto de la producción y Zacatecas ocupaba el tercer sitio. Finalmente, en 2008 el referente fue Sonora, que ocupó el primer lugar mientras que Zacatecas continuaba en el tercer puesto.

De manera general, en 1998 fueron 9 los estados con eficiencia plena, para 2003 ya solo eran 6 (incluyendo Zacatecas) y para 2008 únicamente eran 4. En los tres periodos de tiempo

destacan Tlaxcala<sup>5</sup> y Sonora, con eficiencia del 100%. Es importante señalar que tanto la eficiencia media como el total de entidades eficientes han tendido a disminuir en la última década, situación que refleja la problemática a la que hace frente el sector minero no petrolero mexicano. Dicho de otro modo, aunque el valor de la producción se haya incrementado, así como sus niveles de exportación, empleo y capital, no lo ha hecho en términos de eficiencia.

Una peculiaridad observada es que, en el año 2008, 19 estados se ubicaron por debajo de la eficiencia media y solo Tlaxcala y Sonora continuaron con una tendencia de máxima eficiencia desde 1998. Sin embargo, el caso de Tlaxcala habría que considerarlo con precaución ya que, a diferencia de Zacatecas, su sector se especializa en la producción de tierras fuller, arena, grava y calcita. No obstante, como veremos más adelante, si asumimos homogeneidad en los procesos de producción dada la similitud en la estructura de los costos, la generalización de estos resultados sería válida y podríamos considerar como entidad eficiente a cualquier estado que presente un índice de eficiencia igual a uno sin importar la composición entre industrias al interior del sector.

En contraste, el Distrito Federal, Hidalgo, Veracruz y Guanajuato han resultado pertenecer al grupo de los menos eficientes. El caso de Guanajuato es particularmente interesante, pues su estructura productiva parecería a todas luces favorable. Este estado es un importante productor de oro, plata y cantera y ha participado entre el 1% y 2% de la producción nacional, entre el 3% y 4% del total de la población ocupada y entre el 0,4% y el 2% de los activos fijos totales. Sin embargo, esta aparente ventaja estructural no se ha visto reflejada en su eficiencia, lo que nos lleva a prestar atención especial a este resultado.

Otros estados como San Luis Potosí, Guerrero, Durango y Nuevo León preservaron indicadores de eficiencia relativamente altos y estables; sin embargo, 2008 es el año más irregular, quizá por comenzar a registrar los efectos de la crisis en los Estados Unidos; dicho año golpea particularmente a aquellos estados que en años anteriores presentaron indicadores de eficiencia elevados.

En general, la eficiencia indica la competitividad con la cual se despliegan los recursos humanos y de capital, por lo tanto, los factores que pueden influir en el comportamiento diferenciado de los niveles de eficiencia son múltiples. Éstos pueden obedecer a la estructura productiva, las condiciones de demanda de cada mercado, la falta de incentivos para invertir, las políticas tributarias e inclusive, como se señaló en el apartado teórico, las ventajas de las economías de localización. Bajo esta lógica, entidades con perfiles productivos encaminados hacia la minería tienden a ser más eficientes; sin embargo, ahondar en este punto permitiría visualizar la relación entre dotación de recursos, estructura productiva y eficiencia. En otras

---

<sup>5</sup>A pesar de la baja diversificación de su sector minero, este estado demostró ser eficiente bajo las condiciones de producción que la técnica específica.

palabras, existen circunstancias intrínsecas y extrínsecas de las operaciones mineras que hacen que cada labor sea particular, como lo es la dinámica de Guanajuato.

En una visión conjunta, cabría esperar que Zacatecas mostrara indicadores por encima de la media e inclusive muy cercanos a uno para cada uno de los años. La evidencia empírica sugiere que, aunque su eficiencia es considerable, existen posibilidades de mejorar. Un análisis más detallado lo proporciona el Cuadro 2, que sintetiza los resultados obtenidos por clase de actividad. Antes, habría que recordar que en el año 2008 la producción de plata concentró el 50% de los trabajadores y el 70% de la producción, lo que sugiere una sobre-especialización regional. Esta ventaja comparativa y siguiendo la literatura revisada, podría derivar en encadenamientos productivos o *clusters* mineros si se sigue la política industrial adecuada. En rigor, el estado cuenta con importantes oportunidades para inducir la localización de producción en yacimientos metálicos y no metálicos.

Cuadro 2. Índices de eficiencia para las clases de actividad seleccionadas en Zacatecas.

Clase de actividad	1998	2003	2008
212210 Minería de hierro	0,31	0,53	-
212221 Minería de oro	0,01	-	1,00
212222 Minería de plata	1,00	1,00	1,00
212231 Minería de cobre y níquel	0,61	0,82	0,91
212232 Minería de plomo y zinc	1,00	1,00	1,00
212292 Minería de mercurio y antimonio	1,00	-	-
212311 Minería de piedra de cal	1,00	1,00	-
212312 Minería de mármol	0,95	0,98	0,29
212319 Minería de otras piedras dimensionadas	0,37	0,38	1,00
212321 Minería de arena y grava para la construcción	0,33	0,13	0,94
212324 Minería de sílice	1,00	1,00	-
212325 Minería de caolín	0,19	1,00	-
212329 Minería de otras arcillas y otros minerales refractarios	0,71	0,78	0,35
212391 Minería de sal	1,00	-	-
212395 Minería de fluorita	1,00	-	-
212399 Minería de otros minerales no metálicos	0,21	1,00	1,00
Eficiencia media	0,67	0,80	0,83

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del INEG (2001, 2005 y 2010a).

En suma, apreciamos que la eficiencia promedio<sup>6</sup> ha ido aumentando, pero el número de clases productivas tendió a disminuir llegando a una desaparición tanto de actividades eficientes como ineficientes. La plata, como era de esperar, registró eficiencia máxima para los tres periodos de tiempo al igual que la minería de plomo y zinc. La minería de la piedra de cal, la del sílice, la del mercurio o la del antimonio; rubros eficientes, han desaparecido con el paso de los

<sup>6</sup> Nótese que la eficiencia media de todas las clases no corresponde la eficiencia media en el estado (Cuadro 1). En este ejercicio se compara entre clases de actividad minera, mientras que en el anterior se compara entre entidades federativas.

años, por lo que la sobre-especialización de plata, plomo y zinc las ubica como referente para el incremento en la eficiencia técnica de otras actividades mineras.

Estamos ante una tendencia general y sostenida de reducción en la diversificación minera. Esto exige relativizar la importancia en la detección de los factores que reconfiguraron el esquema productivo. Entonces, si observamos que actividades plenamente eficientes para 1998, como el mercurio, la sal o la fluorita, desaparecieron diez años después, el análisis de eficiencia técnica carece de relevancia. Es decir, no hay congruencia entre el predominio de industrias ineficientes (minería de arcillas, minerales refractarios, arena o grava) y la desaparición de otras con eficiencia máxima. No queremos decir con esto que no haya una lógica interna que explique la dinámica del recurso minero, ni negamos la existencia de factores internos y estructurales a ella. Simplemente se pone sobre la mesa la discusión al respecto: que determinantes como la densidad de la mano de obra calificada, la tradición industrial, el ambiente tecnológico o la relación que hay entre centros de negocios y establecimientos de investigación pudieron haber generado este fenómeno.

Aunado a lo anterior, también es preciso reconocer que las estimaciones según tipo de actividad minera deben contemplarse en la justa medida de su diferenciación productiva. Esto significa que los requerimientos de insumos así como de factores de la producción son, de hecho, considerablemente distintos entre las variedades de extracción minera metálica y no metálica. Esta heterogeneidad se extiende, incluso, a las actividades al interior de estas dos grandes variedades minerales. De esta manera, un estudio más puntual deberá considerar la naturaleza propia de cada tipo de actividad minera y, en razón de su propia lógica de utilización de insumos y factores, extraer una medición de eficiencia ponderada para la cual se reconozcan principios de racionalización de costos y maximización de ingresos particulares.

Respecto a esto último, en Topp *et al.* (2008) se examina la productividad del sector minero en Australia, encontrando importantes trabas inherentes a la medición e interpretación de las tendencias de la productividad entre los distintos tipos de actividad extractiva. Los autores advierten que, debido a las características propias de cada tipo de extracción así como las condiciones geológicas del yacimiento, los insumos necesarios para llevar a cabo el proceso de producción varían. Así, por ejemplo, la combinación de recursos requeridos para producir una tonelada de níquel puede ser muy distinta a la necesaria para extraer una tonelada de grava.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Al menos para el caso particular de Zacatecas, existen procesos de extracción que permiten la obtención de diferentes bienes de manera simultánea. Por ejemplo, para el caso de los minerales metálicos es común la extracción, al mismo tiempo, de bienes como oro, plomo, zinc, cobre, estaño y fierro. Por lo que respecta a los minerales no metálicos, los mismos procesos dan lugar al aprovechamiento de cantera, variedades de arcilla (principalmente el caolín), agregados pétreos, cal hidratada y almagre, principalmente (SE, 2011: p. 23-26). Lo anterior permite aducir la comparabilidad entre los bienes minerales, dado que los procesos de obtención de los mismos propician la existencia de una estructura de costes en común.

Sin embargo, reconociendo este problema de heterogeneidad, los autores pasan a construir indicadores de productividad del capital y del trabajo para cada uno de los tipos de minería que en ese país se realizan. Estos índices constituyen la base de su análisis sobre el decrecimiento de la productividad en el sector. Bajo estas premisas, habría que señalar que, si bien pudiera existir un problema de heterogeneidad en cuanto al proceso productivo, los procesos de beneficio de minerales (trituración, molienda, decantación y flotación, por ejemplo) generalmente permiten extraer más de un único producto, lo que permitiría la comparación directa entre distintas clases de actividad.

Finalmente, dos posibilidades de ampliación de estos resultados podrían consistir en la elaboración de un modelo econométrico que permita identificar la relación existente entre distintas variables propuestas por las teorías de la localización tales como: por un lado, economías de escala, infraestructura, la existencia de insumos, la especialización productiva y el empleo; por el otro, la eficiencia relativa del sector. Asimismo, se precisa puntualizar las características propias de cada tipo de actividad minera, con el fin de tener una representación más plausible del empleo de sus factores e insumos como determinantes en el grado de su eficiencia operativa.

## **6. CONCLUSIONES**

Este estudio brinda como aportación novedosa para el sector minero los índices de eficiencia técnica que formarán una fuente de información importante sobre el desempeño de la minería no petrolera. Es decir, en nuestro conocimiento, en México no existen estudios en los que se aplique la metodología DEA en este sector, por lo tanto, la realización de este estudio genera evidencia empírica de la aplicación de la técnica.

Los resultados revelan que la eficiencia media a nivel nacional y el número de entidades técnicamente eficientes tendió a disminuir en el periodo estudiado. Además, se determinaron Coahuila y Sonora como los referentes de comparación para Zacatecas, donde dada una cierta cantidad de recursos es posible convertirse en entidad plenamente eficiente (notando que para 2003 se logró eficiencia máxima).

Se comprobó que, como se supuso, el sector minero de Zacatecas resulta con altos niveles de eficiencia relativa en comparación con el resto de los estados debido a las características productivas de éste. Este resultado coincide con la literatura revisada en el apartado 2, donde la ubicación y la localización industrial se ven favorecidas en aquellas regiones con características geográficas favorables.

Siguiendo el nivel de análisis de García (2008), el estudio pudo realizarse en dos etapas. La primera permitió identificar estados eficientes que pueden ser tomados como referentes para Zacatecas, esto a nivel agregado; la segunda, un análisis desagregado por clases de actividad donde se encontró que la sobre-especialización en la minería de plata, plomo y zinc han llevado

a la desaparición de otras actividades eficientes como la minería de piedra de cal, la del sílice, la del mercurio o del antimonio.

De manera similar a Mahadevan (2000) o Navarro y Torres (2006), se ubicaron actividades productivas plenamente eficientes que podrían permitir a los diseñadores de políticas públicas incentivar la productividad de aquéllas que resultaron ser menos eficientes.

Los resultados aquí presentados muestran niveles de eficiencia muy altos, existiendo un grupo de empresas altamente eficientes que evidencian los reducidos niveles de eficiencia técnica del resto. La técnica DEA permite añadir una información que se escapaba a todos los estudios descriptivos previamente realizados: la mayor parte de las empresas mineras de hierro, de caolín o de arena y grava para la construcción en Zacatecas son poco eficientes, pero globalmente la eficiencia parece elevada por el efecto que tienen unas pocas empresas de estas clases que son técnicamente eficientes al cien por cien.

En resumen, el análisis sirve de base para caracterizar el posicionamiento del sector minero de Zacatecas en cuanto a sus niveles de eficiencia productiva, ayudando a orientar la acción de estímulo público de la región, identificando los tipos de actividad más débiles y la necesidad de impulsar la eficiencia y competitividad de la mayor parte de las empresas del sector en la región.

Cabe señalar que la asunción de los resultados y conclusiones aquí presentadas quedan supeditadas a las limitaciones que impondrían el tipo de análisis y los datos empleados en este estudio. Se plantea que, tras la identificación de clases productivas ineficientes, no existe el uso de tecnología adecuada para una explotación eficiente que optimice el aprovechamiento de los factores de la producción.

Una vez ubicadas las clases ineficientes, es posible ahondar en la problemática particular sobre cada una de ellas para, eventualmente, elaborar proyectos y programas que identifiquen la explotación económica de estos minerales en las regiones. Por otro lado, es posible estimular la transferencia, la absorción y el desarrollo de tecnologías cuyo impacto aumente su productividad. Inclusive, proveer de infraestructura necesaria y dotar de valor agregado a los productos minerales, incrementaría la eficiencia de su explotación.

Futuras extensiones del trabajo podrían consistir en la identificación de las variables determinantes que influyen en el comportamiento de la eficiencia global del sector extractivo y que ayudarían a comprender mejor la aparente contradicción entre la permanencia de actividades ineficientes y la desaparición de las más eficientes. Inclusive, abordar el fenómeno desde un punto de vista ambiental, tratando de cuantificar los costos sociales y ecológicos a través de la técnica resultaría ser un análisis interesante. Es decir, aquellas actividades menos eficientes ambientalmente pueden traducirse en importantes costos cuya evaluación, por sí misma, representaría un estudio propio del desempeño del sector minero. Por lo anterior, es preciso reconocer que la salvaguarda de la integridad ambiental debe superponerse a los

intereses meramente económicos que implica el lograr mayores niveles de eficiencia. Las ventajas que derivan de la actividad minera en términos competitivos y de inclusión de otros sectores económicos deben preservarse y, en su caso, incrementarse, en la medida en que éstas no constituyan una amenaza a la sostenibilidad en el manejo de los recursos naturales.

Adicionalmente, cabe mencionar que los resultados expuestos en su diferenciación por clase de actividad minera están sujetos a la naturaleza propia de cada una de ellas respecto a su utilización de factores e insumos. La comparabilidad entre ellas es solo sostenible en la medida en que los minerales metálicos y los no metálicos, como procesos diferenciados, compartan para sí los mismos costes extractivos. Derivado de ello, una construcción más justa de la eficiencia técnica deberá llevarse a cabo al amparo del conocimiento detallado de la estructura de costes propia de la extracción de cada mineral particular que resulte de interés.

Finalmente, el trabajo presenta un estudio de caso, aplicando una metodología específica a la actividad minera en su sentido genérico, cuyos hallazgos contribuyen a la literatura empírica existente del DEA que pudieran servir como referencia a estudios posteriores que busquen analizar la minería.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen los valiosos comentarios y sugerencias de dos dictaminadores anónimos.

## **REFERENCIAS**

- BAKEWELL, P. (1976). *Minería y sociedad en el México colonial, Zacatecas 1546-1700*, Fondo de cultura económica, México, D.F.
- BANKER, R., CHARNES, A. y COOPER, W. (1989). “An introduction to data envelopment analysis with some of their models and its uses”, *Research in Governmental and Nonprofit Accounting*, no. 5, pp. 125–163.
- BANKER, D., CONRAD, R. y STRAUSS, R. (1986). “A comparative application of data envelopment analysis and translog methods: an illustrative study of hospital production”, *Management Science*, vol. 32, no. 1, pp. 30–44.
- BASTIN, E. (1941). “Paragenetic relations in the silver ores of Zacatecas, Mexico”, *Economic Geology*, vol. 36, no. 4, pp. 371–400.
- BEASLEY, J. (1995). “Determining teaching and research efficiencies”, *Journal of the Operational Research Society*, vol. 46, issue 46, pp. 441–452.
- BELMONTE, F. (2010). “Contaminación ambiental por estériles mineros en un espacio turístico en desarrollo, la sierra minera de Cartagena-la Unión (sureste de España)”, *Cuadernos de Turismo*, no. 25, pp. 11–24.
- BURNES, A. (2006). *El drama de la minería mexicana: del pacto colonial a la globalización contemporánea*, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, México.

- CABELLO, A. (2006). *Estimación de eficiencia técnica de los clusters automotriz y de hierro-acero en las zonas metropolitanas de México: 1998 y 2003 por el método de envoltura de datos*. Tesis de maestría. CISE. Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, México.
- CAMIMEX (2010). La industria minera de México, retos y oportunidades. Consultado el 15/12/2010 en [http://www.conferenciamineria.com.mx/programa/memorias/22\\_Jueves/Manuel%20Luevanos.pdf](http://www.conferenciamineria.com.mx/programa/memorias/22_Jueves/Manuel%20Luevanos.pdf).
- \_\_\_\_ (2011). *Informe anual 2011*, Cámara Minera de México, México, DF.
- CHARNES, A., COOPER, W. y RHODES, E. (1981). “Evaluating program and managerial efficiency: an application of data envelopment analysis to program follow through”, *Management Science*, vol. 27, no. 6, pp. 668–697.
- COELLI, T., PRASADA, D. y BATTESE, G. (1997). *An introduction to efficiency and productivity analysis*, Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London.
- CROSS, H. (1976). *The mining economy of Zacatecas, Mexico in the nineteenth century*. Tesis de doctorado, Berkeley, University of California, California.
- DISTEXHE, V. y PERELMAN, S. (1994). “Technical efficiency and productivity growth in an era of deregulation: the case of airlines”, *Revue suisse d'économie politique*, vol. 130, pp. 669–689.
- GARCÍA, X. (2008). *Indicadores de eficiencia y sus determinantes: caso cluster electrónica y componentes para las zonas metropolitanas de México*. Tesis de maestría. CISE. Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, México.
- GOOD, D., RÖLLER, L. y SICKLES, R. (1995). “Airline efficiency differences between Europe and the US: implications for the pace of EC integration and domestic regulation”, *European Journal of Operational Research*, vol. 80, pp. 508–518.
- HOTELLING, H. (1929), “Stability in competition”, *Economic Journal*, vol. 39, pp. 41–57.
- INEG (2001). *XV Censo Industrial. Censo Económico 1999*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México.
- \_\_\_\_ (2002). *Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México.
- \_\_\_\_ (2004). *La Industria Minera Ampliada*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México.
- \_\_\_\_ (2005). *XVI Censo Industrial. Censo Económico 2004*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México.
- \_\_\_\_ (2006). *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa 1999-2004*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México.
- \_\_\_\_ (2010a). *XVII Censo Industrial. Censo Económico 2009*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México.
- \_\_\_\_ (2010b). *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa 2005-2009*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México.
- JAFORULLAH, M. (1999). “Production technology, elasticity of substitution and technical efficiency of the handloom textile Industry of Bangladesh”, *Applied Economics*, vol. 31, pp. 437–442.

- KRUGMAN, P. (1991). "Increasing returns and economic geography", *Journal of Political Economy*, vol. 99, no. 3, pp. 483–499.
- LÓPEZ, E. (1960). *Ensayo sobre localización de la industria en México*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF.
- MAHADEVAN, R. (2000). "How technically efficient are Singapore's manufacturing industries?", *Applied Economics*, vol. 32, pp. 2007–2014.
- MAR-MOLINERO, C. (1996). "On the joint determination of efficiencies in a data envelopment analysis context", *Journal of the Operational Research Society*, vol. 47, pp. 1273–1279.
- MARSHALL, A. (1920). *Principles of Economics*, MacMillan, London.
- NACHUM, L. (1999). "Measurement of productivity of professional services. An illustration on Swedish management consulting firms", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 19, no. 9, pp. 922–949.
- NAVARRO, J. y TORRES Z. (2006). "Análisis de la eficiencia técnica global mediante la metodología DEA en la industria eléctrica mexicana en su fase de distribución, 1990 – 2003", *Revista nicolaita de estudios económicos*, vol. 1, no. 1, pp. 9–28.
- OHLIN, B. (1933). *Interregional and international trade*. Harvard University Press, Cambridge.
- SALINAS-MARTÍNEZ, A.M., AMAYA-ALEMÁN, M.A., ARTEAGA GARCÍA, J.C., NÚÑEZ-ROCHA, G.M. y GARZA-ELIZONDO, M.E. (2009). "Eficiencia técnica de la atención al paciente con diabetes en el primer nivel", *Salud pública de México*, vol. 51, no. 1, pp. 48–58.
- SÁNCHEZ, F. y LARDÉ, J. (2006). *Minería y competitividad internacional en América Latina, serie división de recursos naturales e infraestructura*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Publicación de las Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- SE (2006). *Informe de la Minería Mexicana*, Secretaría de Economía, Gobierno de México.
- \_\_\_\_\_ (2011). *Panorama Minero del Estado de Zacatecas*, Secretaría de Economía, Gobierno de México.
- SHENHAV, Y, SHRUM, W. y ALON, S. (1994). "Goodness' concepts in the study of organizations: a longitudinal survey of four leading journals", *Organization Studies*, vol. 15, no. 5, pp. 753–777.
- SÖLVELL, Ö., LINDQVIST, G. y KETELS, C. (2003). *The cluster initiative greenbook*, Brommatryck AB, Stockholm.
- TOPP, V., SOAMES, L., PARHAM, D. y BLOCH, H. (2008). "Productivity in the mining industry: measurement and interpretation", Australian Government, Productivity Commission Staff, working paper.
- WEBER, A. (1909). *Über den Standort der Industrien. Traducción al inglés, Theory of the location of Industries*, (2ª edición, 1971), Russel & Russel, New York.