

El auge del sector minero en Zacatecas en los albores del siglo XXI. Una revisión de la eficiencia técnica aplicando un análisis de envoltura de datos (DEA)

*Miguel Esparza Flores**

*Marco Antonio Díaz Barragán***

*Pedro Plata Pérez****

(Recibido: agosto, 2021/Aceptado: noviembre, 2021)

Resumen

El trabajo pretende medir los niveles de eficiencia técnica de la minería zacatecana durante el periodo de intensificación de la actividad que corresponde a la primera década del siglo XXI, utilizando el análisis de envoltura de datos. La medición obtenida permite señalar que en términos generales el sector es ineficiente a nivel de los estados más representativos. Además, que las clases tradicionalmente especializadas se ubican en la frontera de la eficiencia tomando en cuenta la estructura productiva al interior del estado, situación que obedece a su posición como referentes a nivel nacional en el ámbito de dichas actividades. Se sugiere con ello un punto de partida para revisar el desempeño relativo del sector minero en la actualidad con el propósito de contar con más elementos para establecer políticas que favorezcan una mayor y mejor integración con los mercados.

Palabras clave: sector minero, minería metálica y no metálica, eficiencia técnica.
Clasificación JEL: C23, L72.

* Doctor en Estudios del Desarrollo, docente de la Maestría en Economía Regional y Sectorial de la Unidad Académica de Economía de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Correo: espamizac100@gmail.com

** Maestrante en análisis estadístico y computación, CIMAT. Correo: marcodiazbarragan@gmail.com.

*** Maestro en Economía, docente de la Unidad académica de Economía de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Correo: pplata175@gmail.com.

The rise of the mining sector in Zacatecas at the dawn the 21st century. A review of technical efficiency applying a data envelope analysis (DEA)

Abstract

The work aims to measure the levels of technical efficiency of Zacatecana mining during the period of intensification of activity corresponding to the first decade of the 21st century, using data wrapping analysis. The measurement obtained makes it possible to point out that in general terms the sector is inefficient at the level of the most representative states. In addition, that traditionally specialized classes are located at the frontier of efficiency taking into account the productive structure within the state, a situation that is due to its position as references at the national level in the field of such activities. This suggests a starting point for reviewing the relative performance of the mining sector today with the aim of having more elements to establish policies that favor greater and better integration with markets.

Keywords: mining sector, metallic and non-metallic mining, technical efficiency.

JEL classification: C23, L72

1. Introducción

El inicio del nuevo siglo ha sido un contexto favorable para la actividad de la minería en México. La localización de las inversiones extranjeras, la desregulación para favorecer la exploración y las condiciones de reorganización (modernización tecnológica y laboral) para la extracción, procesamiento y exportación de los minerales, son situaciones que responden a un contexto internacional de demanda que tiende a elevar los precios e insertar esta actividad como estratégica en el funcionamiento de los mercados financieros.

Derivado de lo anterior, para el 2009, el 55% de las exportaciones mineras provienen de los metales preciosos, mientras el 38% se cubre con metales industriales. Además, el hecho de que las cotizaciones del oro y la plata entre 1999 y 2009 muestren una tendencia favorable en su comportamiento como resultado de una demanda mundial en ascenso, convierte a los metales preciosos en los productos de exportación más importantes dentro de la actividad minera en el país. De acuerdo con el Servicio Geológico Mexicano de la Secretaría de Economía (SGM de SE, 2010), los receptores de las exportaciones

mineras no petroleras de México fueron principalmente los Estados Unidos, con el 59% del total de este tipo de exportaciones, Europa participa con 11%, América con el 9% y el resto del mundo con el 21%.¹

Este contexto, que despunta como el periodo de intensificación de la actividad de la minería bajo condiciones de extracción a gran escala y de localización de grandes inversiones, provoca que sus principales indicadores económicos den cuenta de los efectos generados sobre el comportamiento del sector en las entidades de mayor especialización. Tal es el caso de Zacatecas que refleja datos positivos sobre el comportamiento de la minería tanto en términos de contribución a la producción de riqueza en el estado, como del empleo y las remuneraciones. En 2006, la contribución de la minería en el PIB fue de 4.3%, mientras entre 2008 y 2009 consigue uno de sus mayores valores con 6%. Si se toman como referencia los datos provenientes de los Censos Económicos, se tiene que se da un incremento importante en la contribución al producto bruto total (PBT) que va del 16% al 21.2% entre 1999 y 2009, con una disminución en el intervalo de 2004 del 12%, lo que indica que los años sucesivos manifestaron condiciones más adecuadas en el crecimiento del sector (INEGI; 1999, 2004 y 2009).

Aunque el sector minero es de los que menos aportan a la ocupación total en el estado, de acuerdo con esta última fuente, en promedio entre 1999 y 2009 se crean dos mil empleos, ya que mientras en el primer año se contabilizan 4 171 trabajadores, en este último año el registro llega a 6 130 (INEGI; 1999, 2004 y 2009). Por otro lado, para 2009, el 14% de las remuneraciones totales en la entidad proceden de la actividad minera, sólo por debajo de la industria manufacturera que aporta el 19.8% y por arriba del comercio que participa con el 13.1% de las mismas (INEGI, 2009). La Minería de plata es la segunda clase-actividad económica más importante en Zacatecas, ello explica que de la producción bruta generada en el estado concentre el 14.5% del total de las actividades económicas,² que de ocupación al 1.7% de la población trabajadora y que la derrama en salarios represente el 6.3% (INEGI, 2009).

Finalmente, no se puede desestimar que la minería y la industria aportan cada una por su lado, el 29% del valor agregado bruto en la entidad, además de que el sector extractivo concentra el mayor stock de capital en la entidad, ya que participa con el 76.4% del acervo de capital fijo, mientras la formación de capital fijo lo hace con el 29.3% del total (INEGI, 2009).

¹ Las exportaciones de minerales no metálicos, en 2009, fueron poco más de 724 millones de dólares, los cuales representan 7% de las exportaciones totales del sector minero del país (SGM de SE, 2010).

² Únicamente, por debajo de la clase-actividad de elaboración de cerveza que aporta el 25.1% del PBT de la entidad (INEGI, 2009).

Sin duda, los antecedentes antes referidos dan cuenta del ímpetu que toma la actividad minera en Zacatecas en la primera década del siglo XXI. En los dos años anteriores al estallido de la crisis inmobiliaria del 2009, dicha actividad crece en 38.9%, debido particularmente a las políticas locales de apertura y desregulación del sector; como al aumento de las cotizaciones de los metales preciosos, oro y plata, al convertirse en un depósito confiable de valor frente a la inestabilidad económica mundial. Este ámbito, que está acompañado de una caída en el comercio global de metales industriales debido a la crisis mundial, obliga a inquirir sobre el grado de la eficiencia en el uso de los factores de la producción en el conjunto de las actividades mineras para responder a las variaciones de la demanda global.

Precisamente, para dar cuenta de ello, el trabajo persigue evaluar el desempeño del sector minero en Zacatecas, en términos de su eficiencia técnica, mediante la aplicación de un instrumento metodológico que utiliza un benchmarking denominado análisis de envoltura de datos (DEA), para construir un índice de eficiencia técnica del sector minero nacional. Esto permite responder a la pregunta de ¿cómo respondió dicho sector en Zacatecas, en términos de eficiencia, al auge de la actividad en la primera década del siglo XXI, que corresponde a la fase de modernización e integración al mercado mundial del país?

Dado el periodo de análisis, la fuente principal de los datos utilizados proviene de los Censos Económicos de 1999, 2004 y 2009 que conciernen al contexto de mayor apogeo del sector minero en el país y Zacatecas.

El documento se divide en las partes siguientes: en el primer apartado se revisa el concepto de eficiencia técnica y su medición, en el segundo se establece la metodología para evaluar la eficiencia técnica del país y de Zacatecas, en la parte tercera se especifican las variables utilizadas, en la cuarta se analizan los resultados obtenidos del modelo DEA y, finalmente, se presentan algunas conclusiones generales.

2. La eficiencia técnica: significado y medición

El concepto de eficiencia en el sentido de Pareto,³ promueve tres condiciones relacionadas: la eficiencia productiva, la eficiencia de intercambio y la eficiencia global que garantizan la existencia de este tipo de equilibrio. La primera, tiene como condición la existencia de idénticas relaciones marginales técnicas

³ Se dice que una dotación, o asignación de bienes y servicios, es eficiente en el sentido de Pareto si es posible mejorar el bienestar de una persona sin empeorar el de otra(s), a través de la reasignación o redistribución de los bienes y servicios. De tal manera que si existe la posibilidad de mejorar el bienestar de un individuo X sin empeorar el de ningún otro ($W, Y, Z, \dots; N$), habrá una mejora en el sentido paretiano (Varian, 1999).

de sustitución entre los recursos utilizados para producir los *outputs*. La segunda, se establece cuando las relaciones marginales de sustitución entre los bienes son semejantes para todos los consumidores. Y, finalmente, la tercera consiste en que las relaciones marginales de sustitución entre pares de bienes y su relación marginal de transformación sean iguales para todos los individuos (fuentes, 2000).

Farrel (1957), puntualiza tres extensiones adicionales de la noción de eficiencia: la eficiencia asignativa, la eficiencia técnica y la eficiencia global o productiva.⁴ La primera, en su versión estática, es congruente con el principio del óptimo de Pareto, pero en su versión dinámica determina que los inputs se organicen en función de las preferencias de los individuos (Mizala *et al.*, 1998). La eficiencia asignativa (o de precio) alude, por lo tanto, a la capacidad de una unidad productiva para organizar los distintos inputs en proporciones óptimas, dados determinados precios relativos y determinadas productividades marginales (Coll & Blasco, 2006; Cordero, 2006).

En la eficiencia técnica, la función de producción (tecnología), se estima como los puntos constitutivos de la frontera de producción, asignando categóricamente el espacio según los puntos ubicados justo sobre la función de producción (eficientes), los puntos situados debajo de dicha función (ineficientes) y los localizados más allá de la función de producción (imposibles). Pone de manifiesto la capacidad que tiene una unidad productiva para obtener el máximo de *outputs* a partir de un conjunto dado de inputs o minimizar el uso de los inputs para obtener un determinado volumen de *outputs* (Leitón, 2007 y Coll y Blasco, 2006).⁵

Por último, la eficiencia global o económica es el resultado de la presencia simultánea de la eficiencia técnica y de la eficiencia asignativa. Si y solo si estas se cumplen, una unidad, industria o sector económico puede alcanzar la eficiencia global (Leitón, 2007). La eficiencia se evalúa desde una perspectiva real y no desde un mirador ideal. Es decir, cada empresa, unidad productiva, industria o sector económico es evaluado con relación a otros que conforman un grupo representativo y homogéneo. Así, la eficiencia es visualizada de forma relativa y no absoluta, teniendo en cuenta que la desviación de una unidad de estudio respecto a las que se consideran eficientes es un síntoma expreso de ineficiencia (Arzubi y Berbel, 2002).

⁴ Si bien, la minimización de los costos de información demandada para la toma de decisiones puede hacer posible la eficiencia coordinativa e informativa (fuentes, 2000).

⁵ Específicamente, la eficiencia técnica, hace referencia al hecho de que puede modificarse la proporción de factores de asignación eficiente si se modifica la técnica de producción (tecnología), pero no si varían los precios y/o las productividades marginales. En su versión dinámica, requiere de un progresivo recambio de métodos de producción acompañados de una expansión y dispersión de los niveles de outputs (Leitón, 2007).

Uno de los procedimientos efectivos para estimar la eficiencia técnica,⁶ consiste en valorar la frontera eficiente o función de producción.⁷ Para realizar dicha evaluación existen diversas técnicas, cada una de ellas, con ventajas y desventajas que representan alcances y limitaciones en su misma aplicación y en sus resultados. Las restricciones, principalmente, se deben a la disponibilidad de los datos necesarios para la correcta aplicación de la metodología.

Existen cuatro métodos para medir la productividad y la eficiencia (Coelli *et al.*, 2005):

- i) Modelos econométricos de producción, usando principalmente mínimos cuadrados;
- ii) Índices de productividad total de los factores (IPTF);
- iii) Análisis de Envoltura de Datos (*Data Envelopment Analysis*, DEA);
- iv) Análisis de Fronteras Estocásticas (*Stochastics Frontier Analysis*, SF).

Entre ellos, se selecciona, para la construcción del índice de eficiencia, el análisis de envoltura de datos (DEA) debido a que se presenta como un instrumento que requiere de menos supuestos y especificaciones técnicas, además de ser un modelo no paramétrico que, a diferencia de los modelos econométricos, los IPTF y el análisis de fronteras estocásticas, permite ir directamente a la confección del índice, mediante el uso del panel de datos, sin que se requiera conocer una función de producción.

En nuestro caso, el índice de eficiencia técnica se construye a nivel sector y clase de actividad económica del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN),⁸ mediante un análisis de envoltura de datos (DEA) para cada uno de los estados de la República Mexicana. El análisis es de tipo transversal, con base en la información disponible en los Censos Económicos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)⁹ para los años 1999, 2004 y 2009, para los 32 estados de la república.

⁶ La eficiencia técnica es la noción que se utiliza para realizar el análisis de envoltura de datos en el presente trabajo, ya que, mediante ella, se puede determinar la eficiencia en la utilización de los factores de la producción en el sector minero de Zacatecas y en el sector minero del resto de los estados del país.

⁷ El primer referente en relación a la medición de la eficiencia se encuentra en Farrel (1957) quien hace explícito un método de medición de la eficiencia, con su respectiva interpretación geométrica, para el caso en que la función de producción (una Cobb-Douglas o una translogarítmica, siendo éstas las más utilizadas) fuera desconocida.

⁸ En México, el clasificador oficial de actividades económicas es el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN), construido con Estados Unidos y Canadá, que tienen sus propias versiones nacionales de este clasificador (INEGI, 2011).

⁹ El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática (INEGI) es un organismo autónomo del gobierno mexicano, dedicado a la coordinación del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica del país. Fue creado el 25 de enero de 1983 bajo decreto presidencial (INEGI, 2011).

3. Análisis de envoltura de datos (DEA)

La metodología DEA surge a raíz del trabajo de Rhodes (1978), si bien los primeros resultados son dados a conocer por Charnes, Cooper y Rhodes (1978), aunque sus antecedentes provienen fundamentalmente de Farrell (1957). En su sentido original se pretende medir la eficiencia técnica para un caso en que, por primera vez, se consideran todos los factores (insumos) utilizados bajo el supuesto de rendimientos constantes a escala. Posteriormente, Banker, Charnes y Cooper (1984), desarrollan el modelo DEA-BCC (su denominación obedece a las iniciales de sus autores) que relaja el supuesto de los rendimientos constantes a escala (al considerarlo que es excesivamente restrictivo e irreal) partiendo de la condición de que éstos pueden ser constantes, crecientes o decrecientes (Coll y Blasco, 2006: 87).

De manera más detallada y específica, el análisis de envoltura de datos se define básicamente como:

“...una técnica de programación matemática que permite la construcción de una superficie envolvente, frontera eficiente o función de producción empírica, a partir de los datos disponibles del conjunto de unidades objeto de estudio, de forma que las unidades que determinan la envolvente son denominadas unidades eficientes y aquellas que no permanecen sobre la misma son consideradas unidades ineficientes. DEA permite la evaluación de la eficiencia relativa de cada una de las unidades” (Coll y Blasco, 2006: 18).¹⁰

Al aplicar la metodología del modelo DEA, se obtiene como resultado la siguiente información (Coelli *et al.*, 2005).

- i) Índices de eficiencia, que son una representación del grado de eficiencia relativa del sector analizado y, por lo tanto, también como un indicador de ineficiencia de la unidad de estudio.
- ii) Holguras (Slacks), que brindan la cantidad de factores o productos que se desperdician o que faltan, es decir, son aquellos que no son aprovechados eficientemente y que, por lo tanto, un determinado sector debería reducir o incrementar para acercarse a la eficiencia técnica.

¹⁰ Existen limitaciones y problemas al momento de aplicar la metodología del DEA. Respecto a ello, según Coelli *et al.*, (2005): i) El error de medición y el ruido pueden influir en la forma y posición de la misma frontera eficiente de producción (isocuanta). ii) Los valores atípicos tienden a intervenir en los resultados. iii) La exclusión de un importante insumo (*input*) o producto (*output*) probablemente dé lugar a un sesgo de los resultados. iv) Las calificaciones de eficiencia (índices de eficiencia) se obtienen únicamente en relación con las empresas más eficientes de la población o muestra. v) Al comparar los índices de eficiencia promedio en cualquiera de los enfoques metodológicos del modelo DEA, ya sea con rendimientos constantes a escala o, en su caso, con rendimientos variables a escala, e incluso si se comparan entre sí, es importante tener cuidado en los resultados obtenidos. vi) La adición de una unidad de estudio extra en la aplicación del modelo DEA no puede dar lugar a una reducción en las puntuaciones de eficiencia técnica (TE). vii) La agregación de un factor (*input*) o un producto (*output*) complementario en la aplicación del modelo DEA, no puede dar lugar a la reducción en las puntuaciones de TE. viii) Cuando existen observaciones escasas en una muestra y, por otro lado, numerosos factores y productos, aparecerán muchas unidades en la frontera eficiente del DEA. ix) El tratamiento de los inputs y outputs como homogéneos cuando realmente son heterogéneos pueden sesgar los resultados. x) No tomar en cuenta las diferencias en el medio ambiente y en la capacidad de gestión hace proclive que se obtengan indicadores engañosos de la competencia.

iii) Unidades eficientes, éstas son los sectores que se encuentran sobre la frontera envolvente que denota eficiencia y sirven, por lo tanto, de referencia para aquellas unidades ineficientes situadas debajo de dicha frontera.

Por otro lado, hay dos orientaciones (o direcciones) básicas para medir la eficiencia técnica (Charnes *et al.*, citados en Coll y Blasco, 2006: 20-21):

- i) Orientación a factores (*inputs*): busca reducir al máximo el número de factores (insumos) para obtener un determinado volumen de producción. Un sector será eficiente cuando ya no sea posible reducir la cantidad de factores (insumos), sin alterar el volumen de producción.
- ii) Orientación al producto (*outputs*): buscan incrementar al máximo el volumen de producción con un determinado número de factores (insumos). Por lo tanto, un sector será eficiente si ya no puede expandir su volumen de producción dada una determinada dotación de factores.

3. El modelo DEA utilizado en la evaluación del sector minero mexicano

La metodología utilizada para medir la eficiencia del sector minero de México y de Zacatecas, es un modelo DEA estándar con rendimientos variables a escala y con orientación al producto (*output*).¹¹ Esta técnica permite realizar

¹¹ El supuesto de rendimientos constantes (RCE) a escala es apropiado solo si todas las unidades de estudio operan a una escala óptima. No obstante, factores tales como la competencia imperfecta, las regulaciones gubernamentales, las restricciones en la financiación, entre otras, pueden provocar que una empresa, industria o sector económico no opere a escala óptima, de tal manera que dicho supuesto queda en entredicho (Coelli *et al.*, 2005). Autores como Afriat (1972), Färe, Grosskopf y Logan (1983) y Banker, Charnes y Cooper (1984), sugieren ajustar el modelo DEA con RCE para incluir rendimientos variables a escala. Ello debido a que el empleo de los RCE, cuando no todas las unidades de estudio operan a escala óptima, hace que los resultados de los índices obtenidos mezclen la eficiencia técnica con la eficiencia de escala (Coelli *et al.*, 2005). Este problema se soluciona introduciendo rendimientos variables a escala (RVE) con los cuales se obtienen indicadores que proporcionan sólo eficiencia técnica, sin mezclar la eficiencia de escala de producción (Banker, Charnes y Cooper citados en Rodallegas, 2008: 73). Este escenario modifica el problema dual en su modalidad de RCE, mediante la adición de la restricción de convexidad: $N1' \lambda = 1$.

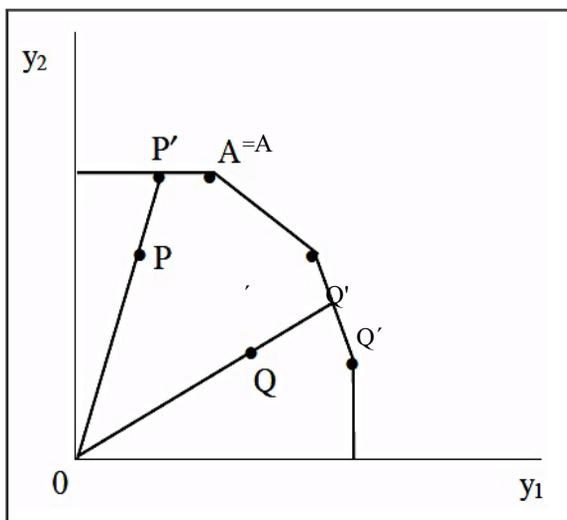
$$\begin{aligned} & \text{Max}_{\theta, \lambda} \theta, \\ & \text{sujeto a } -y_i + Y\lambda \geq 0, \\ & \theta x_j - X\lambda \geq 0 \\ & N1' \lambda = 1 \text{ restricción de convexidad} \\ & \lambda \geq 0 \\ & 0 < \theta \leq 1 \end{aligned}$$

Donde $N1$ es un vector $N \times 1$ de unos. Este enfoque da como resultado una envolvente convexa de intersección en los planos que resalta con mayor intensidad los datos, no una envolvente cóncava como en el caso de RCE, lo cual proporciona índices de eficiencia técnica que son mayores o iguales a los obtenidos con RCE (Coelli *et al.*, 2005). La restricción de convexidad se asegura de que una unidad de estudio ineficiente constituye sólo un "punto de referencia" respecto a otras de tamaño similar, o viceversa, que las unidades de estudio eficientes se tomen como referencia para las unidades ineficientes de tamaño similar. Es decir, cada punto proyectado en la frontera eficiente de la envolvente de datos, correspondiente a cada una de las unidades, es una combinación de tipo convexa del total de las unidades de estudio observadas (Coelli *et al.*, 2005).

una comparación entre las entidades federativas considerando el tamaño de cada sector minero, determinado por la similitud en los procesos de producción.

La orientación del modelo para construir el índice de eficiencia técnica es hacia el producto, es decir, el modelo que busca incrementar al máximo el volumen de producción con un determinado número de factores (insumos).

La imagen 1, ilustra el modelo DEA utilizado para determinar la eficiencia técnica del sector minero de México y el de Zacatecas.



Fuente: Coelli (2008: 23).

Imagen 1
Medición de la eficiencia técnica con orientación a *output*

El sector minero A es eficiente puesto que produce sobre la frontera eficiente de producción y es referente para los sectores ineficientes, cuya proyección se coloca en el segmento de la isocuanta¹² donde se sitúa A. Por otro lado, P y Q son ineficientes debido a que producen debajo de la frontera eficiente de producción, sin embargo, serían eficientes si y sólo si produjeran en sus proyecciones eficientes P' y Q' sin necesidad de ampliar su dotación de inputs (capital y trabajo). Por lo tanto:

¹² Se denomina isocuanta o curva de isoproducto a las infinitas combinaciones de factores productivos con las cuales se obtiene un determinado nivel de producción. O, dicho en otras palabras, una isocuanta es el lugar geométrico de los puntos del plano que implican un determinado nivel de producto.

$A=A'$ entonces A es eficiente
 $P<P'$ entonces P es ineficiente
 $Q<Q'$ entonces Q es ineficiente

Así mismo:

$P'-P=Y_p$ o brecha de ineficiencia de P
 $Q'-Q=Y_q$ o brecha de ineficiencia de Q

Donde Y_N es la cantidad de *outputs* (producto bruto total) que se pueden obtener sin necesidad de modificar la cantidad de *inputs* (capital y trabajo). La eficiencia técnica (ET_N) de los sectores mineros se calcula de la siguiente forma:

$$ET_A = \frac{A}{A'} , \quad A = A' \Rightarrow ET_A = 1$$

$$ET_p = \frac{P}{P'} , \quad P < P' \Rightarrow 0 < ET_p < 1$$

$$ET_Q = \frac{Q}{Q'} , \quad Q < Q' \Rightarrow 0 < ET_Q < 1$$

Los sectores mineros eficientes (como A) son referencia para todos aquellos ineficientes (P y Q) puesto que combinan su dotación de trabajo y capital de tal forma que obtienen el máximo producto factible.

4. Variables utilizadas

La base de datos para calcular el índice de eficiencia técnica se construye con información de los Censos Económicos de México para 1999, 2004 y 2009. En el SCIAN, el sector de la minería (sector 21) está constituido por 3 subsectores, 5 ramas, 10 subramas y 31 clases de actividad.

Las variables utilizadas en la aplicación del DEA son el producto, el empleo y el capital. Los datos correspondientes para cada variable se obtienen directamente de los Censos Económicos.¹³

¹³ El trabajo tiene dos etapas de análisis de eficiencia técnica. En la primera etapa se determina el índice de eficiencia técnica para todos los sectores mineros, en su dimensión agregada, por cada estado del país. En la segunda etapa se determina el índice de eficiencia técnica para cada una de las clases de actividad en las que tiene representación el estado de Zacatecas. Se hizo un tratamiento de la base de datos diferente en cada etapa del análisis de eficiencia técnica. En la primera, se transformaron los montos de PBT y capital a valores constantes con base al INPC general de la segunda quincena del doceavo mes del 2003, calculado por el Banco de México. El tratamiento de la base de datos en la segunda etapa obedece a la diferenciación que existe entre las clases de actividad minera, en las cuales Zacatecas tiene representación. Debido a que los precios de los metales preciosos son diferentes a los precios de los metales industriales y de los minerales no metálicos, los montos del producto bruto total de los metales preciosos, el oro y la plata, se deflataron por las cotizaciones internacionales de Handy and Harman (Nueva York) tomando como año base el 2003 (Metals Week citado SGM de SE y Consejo de Recursos Minerales de SE, 2000-2009). Por otro lado, los montos de producto bruto de los minerales metálicos industriales como el cobre, el hierro, el plomo y zinc son deflactados por el IPC de los metales, metal price index, que calcula el Fondo Monetario Internacional con el código PMETA_Index; del doceavo mes del año 2003 (Fondo Monetario Internacional [FMI], 2010). Los niveles de producción de los minerales no metálicos son deflactados por el INPC de productos de minerales no metálicos de la segunda quincena del año 2003; este índice lo calcula el INEGI. Los montos de capital (acervo de activos fijos) en las dos etapas del análisis de eficiencia técnica se deflataron con base al INPC general que calcula el Banco de México; tomando como base la segunda quincena del doceavo mes de 2003.

La variable producto se considera a partir de la producción bruta total (PBT) presentada en miles de pesos a precios de 2003.¹⁴ La variable empleo se obtiene a partir del personal ocupado.¹⁵ Y, por último, la variable capital se determina por el valor total de activos fijos.^{16, 17}

Los subsectores considerados son, el subsector 212 minería de minerales metálicos y no metálicos y el subsector 213 de servicios relacionados con la minería, excluyéndose al subsector 211 extracción de petróleo y gas, con la finalidad de evitar el sesgo que pudiera generar el incluir a este último al momento de calcular el índice de eficiencia técnica para el sector minero de Zacatecas y las demás entidades federativas. Lo anterior se debe a que Zacatecas no cuenta con extracción de petróleo y gas, siendo la de minerales metálicos y no metálicos la actividad fundamental.

5. Resultados de la aplicación del modelo DEA

Dos aspectos se destacan de los resultados obtenidos de la aplicación del modelo DEA. En principio, se presenta el índice de eficiencia técnica para cada uno de los 32 sectores mineros del país, que corresponden a cada entidad federativa, para los años de 1999, 2004 y 2009. Posteriormente, se muestra el índice de eficiencia técnica correspondiente a cada una de las seis clases de minerales metálicos y las 11 clases de minerales no metálicos en los que Zacatecas tiene representación en la dinámica del país, en algún año del periodo de estudio.

¹⁴ De acuerdo al INEGI (2004:60): “es el valor de todos los bienes y servicios producidos o comercializados por la unidad económica como resultado del ejercicio de sus actividades durante el año de referencia, comprendiendo el valor de los productos elaborados, las obras ejecutadas, los ingresos por la prestación de servicios, el alquiler de maquinaria y equipo y otros bienes muebles e inmuebles. El valor de los activos fijos producidos para uso propio, y el margen bruto de comercialización, entre otros” (INEGI, 2004: 60).

¹⁵ “Comprende tanto al personal contratado directamente por la razón social como al personal ajeno suministrado por otra razón social, que trabajó para la unidad económica, sujeto a su dirección y control y cubrió como mínimo una tercera parte de la jornada laboral de la misma. Puede ser personal de planta, eventual o no remunerado” (INEGI, 2004: 57).

¹⁶ “Es el valor actualizado, de todos aquellos bienes, propiedad de la unidad económica, cuya vida útil es superior a un año, que tienen la capacidad de producir o proporcionar las condiciones necesarias para la generación de bienes y servicios” (INEGI, 2004: 52).

¹⁷ La razón por la que se consideró al PBT, en lugar del valor agregado, para determinar el grado de eficiencia técnica, radica en que hay entidades que presentan valores negativos o nulos de valor agregado en los sectores y las clases de actividad de la minería y puesto que los valores atípicos generan un sesgo en la estimación de la eficiencia no es conveniente el uso de dicha variable al momento de aplicar el modelo DEA. Lo anterior puede explicarse, porque al ser la minería un proveedor de insumos intermedios, el valor agregado al producto en muchos casos es muy bajo, debido a que el mineral se extrae y comercializa en bruto.

El sector minero nacional se concentra en diez de las entidades mineras más importantes.¹⁸ Para 1999 dichos estados representan el 74.7% del PBT minero nacional. Este comportamiento se refrenda en 2004 y 2009 al registrarse una participación del 73.9% y 81% del PBT, respectivamente.

En su caso, Zacatecas es la tercera economía minera no petrolera más importante del país, sólo por debajo de Coahuila y Sonora. Posee una participación creciente en el PBT minero nacional, durante el periodo de análisis: para 1999 tiene una contribución del 7%, incrementando a 8.9% para 2004, con un registro sin parangón en 2009 al conseguir ascender a un 11.5% en el total nacional (tabla 1).

Un sector grande y con una importante participación en el PBT minero nacional no garantiza necesariamente que sea un sector eficiente.¹⁹ Para el caso de Zacatecas, en 1999 el coeficiente de eficiencia técnica es de 0.66. Esto indica que el sector minero de Zacatecas tiene ineficiencia en la utilización de sus factores, trabajo y capital, de 33.4%. Quiere decir, que, de cada 100 pesos posibles de producción, Zacatecas obtuvo sólo 66.6 pesos. De manera agregada, con la dotación de factores que tenía en 1999 la entidad únicamente produjo 4 093 millones de pesos (tabla 2).

Debido a que el análisis de eficiencia técnica se realiza de manera relativa, la aplicación del modelo DEA reporta sectores eficientes de referencia para el sector minero de Zacatecas en 1999. Éstos son, en orden de grado de referencia, Sonora y Coahuila. Dichos sectores son similares a la proyección eficiente de la minería de Zacatecas, lo que quiere decir que con la dotación de factores del sector minero de Zacatecas en 1999 se pudo lograr un nivel máximo de producción que se encontró en el segmento de la isocuanta eficiente de producción conformado por las minerías de Sonora y Coahuila.

Para el 2004, Zacatecas presenta su mayor nivel de eficiencia técnica, de 0.945, que representa una brecha de ineficiencia de 5.5%, equivalente a 194 millones de pesos. De esta manera, Zacatecas produjo 94.5 centavos de cada peso que se pudo producir con los factores que tenía en 2004 (tabla 2).

En el 2009, el sector de referencia para Zacatecas es Sonora. En este año la eficiencia técnica en la entidad se ve degradada al registrar un índice de 0.608, menor al presentado en 1999 y 2004, de tal manera que la brecha de ineficiencia es de 39.2%, equivalente a 6 303 millones de pesos.

¹⁸ El sector minero nacional considera únicamente los subsectores 212 Minería de Minerales Metálicos y no Metálicos y 213 Servicios Relacionados con la Minería, del SCIAN, Censos Económicos del INEGI 1999, 2004, 2009.

Tabla 1
Participación de los 32 sectores en la producción bruta total
1999, 2004 y 2009

| Entidad Federativa | | Producción Bruta total (miles de pesos de 2003) | | | |
|--------------------|----------------------|---|------------|------------|---------------------------|
| | | 1999 | 2004 | 2009 | Promedio de los tres años |
| 5 | Coahuila de Zaragoza | 10 587.690 | 7 422.027 | 14 171.847 | 10 727 188.102 |
| 26 | Sonora | 5 409.656 | 5 330.872 | 17 564.111 | 9 434 879.746 |
| 32 | Zacatecas | 2 725.733 | 3 311.112 | 9 794.144 | 5 276 996.313 |
| 8 | Chihuahua | 2 179.460 | 1 502.505 | 7 155 403 | 3 612 455.667 |
| 10 | Durango | 1 575.968 | 2 108.438 | 3 410.534 | 2 364 979.725 |
| 6 | Colima | 1 789.348 | 1 415.715 | 3 353.520 | 2 186 193.078 |
| 4 | Campeche | 38.878 | 1 743.758 | 6 362.897 | 2 715 510.922 |
| 24 | San Luis Potosí | 1 092.837 | 1 756.893 | 3 852.939 | 2 186 193.078 |
| 3 | Nuevo León | 1 424.674 | 1 963.728 | 1 790.431 | 1 726 277.346 |
| 4 | Baja California sur | 2 345.853 | 1 007.735 | 946.051 | 1 602 230.185 |
| 13 | Hidalgo | 2 547.724 | 820.121 | 985.388 | 1 437 965.315 |
| 15 | México | 1 285.540 | 1 461.933 | 4 517.628 | 1 244 287.142 |
| 9 | Distrito Federal | 100.467 | 967.006 | 615.360 | 1 861 700.208 |
| 14 | Jalisco | 507.142 | 1 022.241 | 1 069.534 | 714 914.033 |
| 11 | Guanajuato | 721.642 | 569.357 | 761.982 | 786 844.507 |
| 16 | Michoacán de Ocampo | 618.687 | 607.704 | 1 583.619 | 683 791.237 |
| 28 | Tamaulipas | 93.635 | 559.978 | 670.957 | 745 744.259 |
| 30 | Veracruz de la Llave | 634.308 | 338.192 | 357.278 | 547 819.057 |
| 21 | Puebla | 595.265 | 465.056 | 1 638.581 | 472 533.156 |
| 27 | Tabasco | 58.132 | 407.056 | 519.616 | 701 256.076 |
| 23 | Quinta Roo | 502.831 | 373.521 | 463.506 | 465 322.971 |
| 22 | Querétaro de Arteaga | 255.542 | 618.888 | 239.163 | 445 978.903 |
| 12 | Guerrero | 539.205 | 224.809 | 177.537 | 334 392.569 |
| 2 | Baja California | 480.498 | 191.543 | 309.345 | 283 192.363 |
| 25 | Sinaloa | 303.416 | 289.834 | 422.160 | 300 865.012 |
| 31 | Yucatán | 172.458 | 287.699 | 122.160 | 294 105.681 |
| 17 | Morelos | 133.579 | 161.243 | 122.472 | 139 098.107 |
| 1 | Aguas Calientes | 36.684 | 137.565 | 294.918 | 156 389.162 |
| 7 | Chiapas | 97.220 | 73.678 | 233.924 | 134 940.728 |
| 20 | Oaxaca | 51.172 | 106.825 | 29.051 | 62 349.264 |
| 18 | Nayarit | 47.267 | 37.384 | 122.115 | 68 921.960 |
| 29 | Tlaxcala | 11.623 | 10.495 | 3.471 | 8 529.578 |
| Total nacional | | 39 028.135 | 37 294.908 | 84 992.583 | 53 771 875.189 |

Tabla 1. Conclusión.

| Entidad Federativa | | Participación en la PBT nacional | | | | Importancia en la PBT nacional | | | |
|--------------------|----------------------|----------------------------------|---------|---------|---------------------------|--------------------------------|------|------|---------------------------|
| | | 1999 | 2004 | 2009 | Promedio de los tres años | 1999 | 2004 | 2009 | Promedio de los tres años |
| 5 | Coahuila de Zaragoza | 27.13% | 19.90% | 16.67% | 21.23% | 1º | 1º | 2º | 1º |
| 26 | Sonora | 13.86% | 14.29% | 20.67% | 16.27% | 2º | 2º | 1º | 2º |
| 32 | Zacatecas | 6.98% | 8.88% | 11.52% | 9.13% | 3º | 3º | 3º | 3º |
| 8 | Chihuahua | 5.58% | 4.03% | 8.42% | 6.01% | 6º | 8º | 4º | 4º |
| 10 | Durango | 4.04% | 5.65% | 4.01% | 4.57% | 8º | 4º | 8º | 5º |
| 6 | Colima | 4.58% | 3.80% | 3.95% | 4.11% | 7º | 10º | 9º | 6º |
| 4 | Campeche | 0.10% | 4.68% | 7.49% | 4.09% | 30º | 7º | 5º | 7º |
| 24 | San Luis Potosí | 2.80% | 4.71% | 4.53% | 4.01% | 11º | 6º | 7º | 8º |
| 3 | Nuevo León | 3.65% | 5.27% | 2.11% | 3.67% | 9º | 5º | 10º | 9º |
| 4 | Baja California sur | 6.01% | 2.70% | 1.71% | 3.47% | 5º | 12º | 13º | 10º |
| 13 | Hidalgo | 6.53% | 2.20% | 1.11% | 3.28% | 4º | 14º | 16º | 11º |
| 15 | México | 3.29% | 3.92% | 1.16% | 2.79% | 10º | 9º | 15º | 12º |
| 9 | Distrito Federal | 0.26% | 2.59% | 5.32% | 2.72% | 24º | 13º | 6º | 13º |
| 14 | Jalisco | 1.30% | 2.74% | 0.72% | 1.59% | 17º | 11º | 19º | 14º |
| 11 | Guanajuato | 1.85% | 1.53% | 1.26% | 1.54% | 12º | 17º | 14º | 15º |
| 16 | Michoacán de Ocampo | 1.75% | 1.63% | 0.90% | 1.42% | 13º | 16º | 17º | 16º |
| 28 | Tamaulipas | 0.24% | 1.50% | 1.86% | 1.20% | 26º | 18º | 12º | 17º |
| 30 | Veracruz de la LLave | 1.63% | 0.91% | 0.79% | 1.11% | 14º | 22º | 18º | 18º |
| 21 | Puebla | 1.53% | 1.25% | 0.42% | 1.06% | 15º | 19º | 23º | 19º |
| 27 | Tabasco | 0.15% | 1.09% | 1.93% | 1.06% | 27º | 20º | 11º | 20º |
| 23 | Quinta Roo | 1.29% | 1.00% | 0.61% | 0.97% | 18º | 21º | 20º | 21º |
| 22 | Querétaro de Arteaga | 0.65% | 1.66% | 0.55% | 0.95% | 21º | 15º | 21º | 22º |
| 12 | Guerrero | 1.38% | 0.60% | 0.28% | 0.76% | 16º | 25º | 26º | 23º |
| 2 | Baja California | 1.23% | 0.51% | 0.21% | 0.65% | 19º | 26º | 28º | 24º |
| 25 | Sinaloa | 0.78% | 0.78% | 0.36% | 0.64% | 20º | 23º | 24º | 25º |
| 31 | Yucatán | 0.44% | 0.77% | 0.50% | 0.57% | 22º | 24º | 22º | 26º |
| 17 | Morelos | 0.34% | 0.43% | 0.14% | 0.31% | 23º | 27º | 29º | 27º |
| 1 | Aguas Calientes | 0.09% | 0.37% | 0.35% | 0.27% | 31º | 28º | 25º | 28º |
| 7 | Chiapas | 0.25% | 0.20% | 0.28% | 0.24% | 25º | 30º | 27º | 29º |
| 20 | Oaxaca | 0.13% | 0.29% | 0.03% | 0.15% | 28º | 29 | 31º | 30º |
| 18 | Nayarit | 0.12% | 0.10% | 0.14% | 0.12% | 29º | 31º | 30º | 31º |
| 29 | Tlaxcala | 0.03% | 0.03% | 0.00% | 0.02% | 32º | 32º | 32º | 32º |
| Total nacional | | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | - | - | - | - |

Nota: se discriminó lo correspondiente al subsector 211 extracción de petróleo y gas para todos los años referidos

Fuente: elaboración propia con datos de los censos económicos de 1999, 2004 y 2009, INEGI.

Tabla 2
Índice de eficiencia técnica del sector minero por entidad federativa
1999, 2004 y 2009

| | | Años | | | |
|----|----------------------|-------|-------|-------|----------|
| | Entidad federativa | 1999 | 2004 | 2009 | Promedio |
| 01 | Aguas calientes | 1.000 | 0.37 | 0.393 | 0.543 |
| 02 | Baja California | 0.636 | 0.315 | 0.105 | 0.352 |
| 03 | Baja California Sur | 1.000 | 1.000 | 0.413 | 0.804 |
| 04 | Campeche | 0.516 | 1.000 | 0.781 | 0.766 |
| 05 | Coahuila de Zaragoza | 1.000 | 1.000 | 0.807 | 0.936 |
| 06 | Colima | 0.764 | 0.576 | 0.63 | 0.657 |
| 07 | Chispas | 0.1 | 0.113 | 0.179 | 0.131 |
| 08 | Chihuahua | 0.583 | 0.586 | 0.407 | 0.525 |
| 09 | Distrito Federal | 0.305 | 0.539 | 1.000 | 0.615 |
| 10 | Durango | 0.691 | 0.716 | 0.31 | 0.572 |
| 11 | Guanajuato | 0.344 | 0.298 | 0.328 | 0.323 |
| 12 | Guerrero | 0.683 | 0.130 | 0.136 | 0.316 |
| 13 | Hidalgo | 0.809 | 0.299 | 0.153 | 0.42 |
| 14 | Jalisco | 0.715 | 0.462 | 0.195 | 0.457 |
| 15 | México | 0.465 | 0.499 | 0.124 | 0.363 |
| 16 | Michoacán de Ocampo | 1.000 | 0.356 | 0.288 | 0.548 |
| 17 | Morelos | 1.000 | 0.320 | 0.31 | 0.543 |
| 18 | Nayarit | 0.834 | 0.812 | 0.241 | 0.629 |
| 19 | Nuevo León | 0.832 | 0.733 | 0.392 | 0.652 |
| 20 | Oaxaca | 0.421 | 0.185 | 0.028 | 0.211 |
| 21 | Puebla | 0.907 | 0.238 | 0.157 | 0.434 |
| 22 | Querétaro de Artega | 1.000 | 0.378 | 0.225 | 0.534 |
| 23 | Quinta Roo | 1.000 | 0.448 | 0.375 | 0.608 |
| 24 | San Luis Potosí | 0.824 | 0.835 | 0.522 | 0.727 |
| 25 | Sinaloa | 0.844 | 0.319 | 0.163 | 0.442 |
| 26 | Sonora | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 27 | Tabasco | 0.384 | 0.682 | 1.000 | 0.689 |
| 38 | Tamaulipas | 0.595 | 0.535 | 1.000 | 0.71 |
| 29 | Tlaxcala | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 30 | Veracruz Llave | 0.653 | 0.276 | 0.376 | 0.435 |
| 31 | Yucatán | 0.282 | 0.225 | 0.211 | 0.239 |
| 32 | Zacatecas | 0.666 | 0.945 | 0.608 | 0.74 |
| | Promedio | 0.714 | 0.533 | 0.433 | 0.560 |

Nota: se discriminó lo correspondiente al subsector 211 extracción de petróleo y gas para todo.

Fuente: elaboración propia con base a los resultados de la aplicación del modelo DEA.

En el 2009, el sector de referencia para Zacatecas es Sonora. En este año la eficiencia técnica en la entidad se ve degradada al registrar un índice de 0.608, menor al presentado en 1999 y 2004, de tal manera que la brecha de ineficiencia es de 39.2%, equivalente a 6 303 millones de pesos.

En suma, aunque el sector minero de Zacatecas ocupa los primeros lugares por el peso de su actividad, los coeficientes de eficiencia técnica confirman que la combinación de sus factores de producción es ineficiente. Por lo tanto, su nivel de eficiencia técnica no corresponde con su importancia dentro de la dinámica en la minería nacional que busca responder al contexto de auge en la demanda generada en el mercado mundial. Únicamente Sonora y Tlaxcala consiguen eficiencia técnica en todos los años, mientras Coahuila logra eficiencia en 1999 y 2004.

La minería consiste en una actividad que es cualitativamente diferenciable entre un sector y otro, directamente relacionado con el tipo de mineralización en cada estado.²⁰ La extracción de minerales como el oro y la plata exige un acervo y combinación eficiente de capital y de trabajo, considerablemente diferente a los que requiere, por ejemplo, la extracción de sal o de arena y grava para la construcción. Es por ello que se confecciona un índice de eficiencia para cada clase de actividad minera en que Zacatecas tiene representación en los Censos Económicos en, al menos, algún año del periodo de estudio.

El análisis de los datos en relación a la eficiencia en el periodo considerado nos lleva a clasificar las clases mineras metálicas y no metálicas de acuerdo a su respuesta en la utilización de los factores de la producción. Indudablemente, la minería de plata, así como la de plomo y zinc, posicionadas como actividades de exportación principales, se ubican en los límites de la eficiencia en todo el periodo. Esto significa que, dado que se obtienen coeficientes de eficiencia técnica de uno en todos los años considerados, la extracción de dichos minerales se da sobre la frontera eficiente de producción, lo que implica un adecuado despliegue de competitividad en el uso y combinación de los factores de la producción. Esta condición, resultado del largo proceso de especialización y de integración a las pautas competitivas requeridas por el mercado mundial convierte a la minería de plata en la más eficiente en la extracción a nivel del país, con una tendencia creciente de sus aportaciones en el PBT de 34.7%, 46.9% y 63.2% de los años señalados. En el mismo sentido, el sector minero de Zacatecas es un referente de eficiencia en la extracción de plomo y zinc, al igual que Chihuahua y Nuevo León, que se mantienen en la frontera de la eficiencia técnica en los tres años del periodo de estudio. Para el caso de Zacatecas sus aportaciones en el total producido en el país son del

²⁰ La mineralización para el Servicio Geológico Mexicano, es entendida como el proceso de formación de minerales que tiene lugar en un espacio determinado (SE, 2009).

28.6%, 37.4% y 28.4% del total. Chihuahua es el principal productor de plomo a nivel nacional, entre ambas minerías producen en promedio durante todo el periodo casi el 70% del plomo y zinc del país.

Tabla 3
Descomposición en clases del producto bruto total del sector minero de Zacatecas 1999-2004

| Clases actividad minera | Producto Bruto Total (miles de pesos 2003=100) | | | | Participación en el PBT estatal | | | | Importancia en PBT estatal | | | |
|-------------------------|--|-----------|-----------|--------------|---------------------------------|---------|---------|----------|----------------------------|------|------|----------|
| | 1999 | 2004 | 2009 | Promedio | 1999 | 2004 | 2009 | Promedio | 1999 | 2004 | 2009 | Promedio |
| metálicos | 2 252.929 | 2 642.333 | 4 404.199 | 3 099.821 | 97.41% | 97.39% | 98.93% | 97.91% | 1° | 1° | 1° | 1° |
| 212222* | 813.127 | 1 175.112 | 2 920.646 | 1 636.295 | 35.16% | 43.31% | 65.61% | 48.02% | 2° | 1° | 1° | 1° |
| 212232 | 1 361.361 | 941.147 | 939.864 | 1 080.791 | 58.86% | 34.69% | 21.11% | 38.22% | 1° | 2° | 2° | 2° |
| 212231 | 74.000 | 524.596 | 350.593 | 316.396 | 3.20% | 19.33% | 7.88% | 10.14% | 3° | 3° | 3° | 3° |
| 212221* | - | - | 193.096 | 64.365 | 0.00% | 0.00% | 4.34% | 1.45% | 16° | 17° | 4° | 4° |
| 212292 | 4.316 | - | - | 1.439 | 0.19% | 0.00% | 0.00% | 0.06% | 9° | 15° | 16° | 12° |
| 212210 | 125 | 1.477 | - | 534 | 0.01% | 1.05% | 0.00% | 0.02% | 15° | 10° | 14° | 14° |
| No metálicos | 59.963 | 70.869 | 47.529 | 59.454 | 2.59% | 2.61% | 1.07% | 2.09% | 2° | 2° | 2° | 2° |
| 212312 | 8.280 | 26.259 | 6.099 | 13 546.20 | 0.36% | 0.97% | 0.14% | 0.49% | 6° | 4° | 7° | 5° |
| 122329 | 483 | 11.273 | 28.349 | 13 368.08 | 0.02% | 0.42% | 0.64% | 0.36% | 13° | 6° | 5° | 6° |
| 212311 | 12.769 | 13.595 | - | 8 788.08 | 0.55% | 0.50% | 0.00% | 0.35% | 5° | 5° | 11° | 7° |
| 212395 | 22.525 | - | - | 7 508.22 | 0.97% | 0.00% | 0.00% | 0.32% | 4° | 14° | 15° | 8° |
| 212321 | 5.489 | 9.462 | 9.960 | 8 303.43 | 0.24% | 0.35% | 0.22% | 0.27% | 7° | 7° | 6° | 9° |
| 212325 | 4.446 | 4.552 | - | 2 999.32 | 0.19% | 0.17% | 0.00% | 0.12% | 8° | 8° | 12° | 10° |
| 212324 | 4.143 | 3.841 | - | 2 661.46 | 0.18% | 0.14% | 0.00% | 0.11% | 10° | 9° | 13° | 11° |
| 212319 | 603 | 1.343 | 2.624 | 1 523.44 | 0.03% | 0.05% | 0.06% | 0.04% | 12° | 11° | 8° | 13° |
| 212399 | 950 | 350 | 226 | 508.69 | 0.04% | 0.01% | 0.01% | 0.02% | 11° | 12° | 10° | 15° |
| 212398 | - | 193 | 272 | 154.89 | 0.00% | 0.01% | 0.01% | 0.00% | 17° | 13° | 9° | 16° |
| 212391 | 275 | - | - | 91.52 | 0.01% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 14° | 16° | 17° | 17° |
| Total | 2 312.892 | 2 713.202 | 4 451.728 | 3 159 274.07 | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | - | - | - | - |

* La deflación de las clases 212221 minería de oro y 212222 minería de plata se hizo con base al Handy and Harman (Nueva York) del mes 12 de los años referidos.

Nota: la deflactación de los minerales metálicos se hizo por el IPC de los metales publicados por el Fondo Monetario Internacional para todos los años referidos. Para el caso de los minerales no metálicos se uso como instrumento de deflactación el INPC de o productos minerales no metálicos Clases consideradas (17 clases en total). Minerales metálicos: 212221 Minerales de oro, 212222 Minerales de plata, 212231 Minería de cobre y níquel, 212232 Minería de plomo y zinc, 212291 Minería mercurio y antimonio. Minerales no-metálicos: 212311 para la construcción, 212324, Minería de sílice, 212325, Minería de caolín, 212329 Minería de arcilla y minerales refractarios, 212391 Minería de sal, 212395 Minería de fluorita, 212398 Minería de minerales no metálicos para productos químicos y 212399 Minería de otros minerales no metálicos.

Fuente: elaboración propia con base en datos de los Censos Económicos de 1999, 2004 y 2009, INEGI; del fondo Monetario Internacional y el Handy and Harman (Nueva York).

En un segundo nivel se puede ubicar a la minería de hierro, la cual es eficiente en los dos primeros periodos, aunque en promedio se sitúa en el 67% de eficiencia y con una de las aportaciones más bajas a nivel nacional, comprobándose con ello que la eficiencia técnica no tiene una relación condicional con el nivel de producción. Mientras Zacatecas únicamente aporta el 0.04% del volumen total de hierro extraído en el país, Colima participa con el 31.6% y Coahuila con el 53.6%, siendo de las entidades, junto con Chihuahua, con eficiencia observada durante el periodo de análisis. En este ámbito, se puede situar a la minería de cobre y níquel que se encuentra por debajo de la frontera de eficiencia al mantenerse en 53% en promedio, con un comportamiento variable y a la baja en los tres periodos al pasar su contribución al PBT de 1.7%, a 12% y 5.5%, respectivamente; con una distancia enorme con relación a la entidad más eficiente que es Sonora cuya aportación en promedio es del 89%.

Tabla 4
Índice de eficiencia técnica para las 17 clases del sector minero de Zacatecas: 1999 y 2009

| Clases mineras | Años | | | |
|--|-------|-------|-------|----------|
| | 1999 | 2004 | 2009 | Promedio |
| Metálico | | | | |
| 212222 minería de plata | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 212232 minería de plomao y zinc | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 212231 minería de cobre y níquel | 0.368 | 0.906 | 0.337 | 0.537 |
| 212221 minería de oro | 0.000 | - | 0.207 | 0.069 |
| 212292 minería mercurio y antimonio | 1.000 | - | - | 0.333 |
| 212210 minería de hierro | 1.000 | 1.000 | - | 0.667 |
| No metálico | | | | - |
| 212312 minería de mármol | 0.670 | 1.000 | 1.000 | 0.890 |
| 212329 minería de arcillas y minerales refractarios | 0.271 | 1.000 | 0.804 | 0.692 |
| 212311 minería de piedra de cal | 0.451 | 1.000 | - | 0.484 |
| 212395 minería de fluorita | 0.536 | - | - | 0.179 |
| 212321 minería de arena y grave para la construcción | 1.000 | 0.331 | 0.408 | 0.580 |
| 212325 minería de caolín | 0.151 | 0.455 | - | 0.202 |
| 212324 minería de sílice | 0.642 | 0.463 | - | 0.368 |
| 212319 minería de otras piedras dimensionadas | 0.25 | 0.427 | 0.439 | 0.372 |
| 212399 minería de otros minerales no metálicos | 0.069 | 0.129 | 0.161 | 0.12 |
| 212398 minería de minerales no metálicos para productos químicos | - | 0.242 | 1.000 | 0.414 |
| 212391 minería de sal | 1.000 | - | - | 0.333 |
| Eficiencia técnica promedio | 0.627 | 0.689 | 0.636 | 0.650 |

Fuente: elaboración propia con base a los resultados del modelo DEA.

Dentro de los minerales metálicos una de las clases con menor promedio de eficiencia durante todo el periodo corresponde al mercurio y al antimonio. No obstante, su posición en la frontera de la eficiencia en 1999 corresponde a un comportamiento favorable en la demanda internacional del mercurio y a las restricciones para su exportación en los países desarrollados que incentivó dicha actividad y que colocó a Zacatecas como una zona de reserva estratégica importante. En el caso del antimonio el mismo comportamiento favorable de la demanda global y el auge del sector automotriz en el país, por efecto de la integración económica, determinaron que las principales zonas de extracción ubicadas en San Luis Potosí y Zacatecas fueran eficientes en su comportamiento. Ello explica que ambos se registraran como los únicos productores de mercurio y antimonio en el país, con un valor de 7.4 millones de pesos para San Luis Potosí y 4.3 millones de pesos para Zacatecas.

Dentro de los minerales metálicos la extracción de oro es la que muestra más variabilidad en el comportamiento de la eficiencia, con una posición promedio muy por debajo de dicha frontera (6.9%). La ineficiencia de la actividad, no obstante, encuentra condiciones favorables para el desarrollo en el uso y modificación de los recursos empleados en el proceso extractivo por dos circunstancias presentes en el periodo de análisis. Primero, por circunstancias internas que rodean al grueso de las otras clases de la actividad minera, como la localización del recurso de inversión en zonas de alto valor mineralógico bajo condiciones de economías externas favorables, incluyendo costos de transacción menores debido a resistencias sociales reducidas por los efectos no deseados que producen dicha actividad, como el aprovechamiento de la acumulación de experiencias en los procedimientos de extracción del metal. Y, segundo, por circunstancias exógenas, debidas al auge de la demanda mundial y los movimientos de los precios en los mercados financieros. En comparación a Sonora que tiene el sector más eficiente en la extracción de oro en el país y que muestra una aportación de 37.9% en el PBT (mientras Chihuahua y Durango lo hacen en 26.7% y 20.7%, respectivamente), la minería en Zacatecas dedicada a esta actividad registra una aportación de 4.2% del total nacional.

Dentro de los no metálicos, caracterizados fundamentalmente por su orientación al mercado interno, la minería de mármol representa la clase más eficiente en los años 2004 y 2009 colocándose como la actividad con el promedio del periodo más alto al situarse en 89% de eficiencia. En una segunda posición se tiene a la minería de arcilla y minerales refractarios que en el segundo año del periodo registra una eficiencia técnica de 1 y un promedio de 69%. En un caso similar está la minería de arena y grava para la construcción y la minería de piedra de cal que se ubican respectivamente en el primer y segundo año en la frontera de la eficiencia, aunque en el promedio del periodo llegan al 58% y 48%. Salvo la minería de minerales no metálicos para productos químicos y la minería de sal que se colocan en la

frontera de eficiencia en 2004 y 1999, si bien con promedios del periodo que señalan la inconstancia de su comportamiento, el resto manifiestan variaciones con promedios del periodo alejados de la frontera de la eficiencia.

6. Conclusiones

El periodo que se revisa es un momento determinante en el comportamiento de la minería zacatecana. Factores externos como los cambios en la demanda global de minerales que favorecieron los precios y la tasa de rentabilidad, así como factores internos que moldearon las condiciones para modificar los procesos de extracción, se manifestaron de forma intensa, creando un ambiente propicio para elevar la eficiencia técnica de las clases de minería de mayor peso y articulación con la estructura minera nacional.

De acuerdo a lo anterior, las condiciones de demanda en el mercado de productos minerales, la intensificación del proceso de apertura, la flexibilidad en los canales de inversión para estimular la acumulación de capital en los sectores de mayor rentabilidad, frente a la atonía de otras actividades productivas y la aparición de factores de localización por entornos institucionales facilitadores, incluyendo las bajas respuestas de reacción social, favorecieron la reactivación de los renglones de extracción de mayor especialización en el estado. Esto supuso el aprovechamiento al interior de ventajas dadas por la trayectoria de desenvolvimiento histórico de la minería, sin la cual no se explican los costos de oportunidad asumidos por las inversiones y el despliegue de las economías de escala, que aprovechan las externalidades positivas existentes y las condiciones para relegar las negativas.

En base a este contexto, este trabajo ha estimado la eficiencia técnica de las diferentes clases de minería, poniendo énfasis en las de mayor especialización durante el periodo 1999-2009. Los resultados obtenidos dejan entrever que el progreso en el uso y combinación de los factores productivos tiene un comportamiento que responde a la evolución de dicha actividad. Se proporciona con ello datos útiles en torno al comportamiento de la actividad minera en el país y de su referencia con los principales estados mineros con uso más eficiente de los factores productivos para situar los niveles obtenidos en el caso de Zacatecas. Es así que, mientras estados como Sonora, Tlaxcala y Coahuila destacan por alcanzar los mayores niveles de eficiencia técnica durante el periodo, la entidad registra, con la misma proporción y combinación de factores, ineficiencia en el uso de los mismos, no obstante, los altos volúmenes de producción obtenidas que le colocan como el tercer sector minero en el país.

La evolución de la eficiencia técnica revela, por otro lado, que las actividades de mayor especialización en Zacatecas, como es el caso de la plata, en primer lugar, y del plomo y el zinc, en segundo lugar, son las que se mantienen

en la frontera de eficiencia técnica durante los años considerados. El estado no solo se coloca como el principal productor de plata, sino también como la minería más eficiente a nivel del país, mientras las dos clases mineras restantes se convierten en un referente de eficiencia al igual que Chihuahua y Nuevo León, posicionándose junto con la primera entidad referida en los de mayor obtención de estos minerales. Se observa, además, que la minería de hierro es eficiente en 1999 y 2004, destacándose en este caso que la eficiencia técnica no tiene una relación condicional con el nivel de producción ya que es eficiente con un producto bruto total discreto. El mercurio y antimonio, por su parte, es eficiente técnicamente solo en el primer año de referencia, no pudiéndose detectar su evolución a lo largo del periodo, aunque de acuerdo a los datos únicamente Zacatecas y San Luis potosí se dedicaron a esta actividad. La minería de cobre y del níquel, a pesar de ser importante para la configuración interna del sector minero en el estado, no es eficiente en la extracción de estos minerales ya que únicamente en 2004 alcanzan un nivel cercano a la frontera de la eficiencia, mostrando un fuerte contraste con los otros años del periodo en que sus niveles se mantienen reducidos, aunque es la minería de oro la que registra el más bajo nivel de eficiencia del total de los minerales metálicos, que se explica por la irrupción de la actividad en el estado y por los grandes volúmenes de inversión realizados por las grandes empresas.

Por otro lado, los resultados arrojaron que el sector de la minería no metálica, si bien parece no tener la misma posición que las actividades extractivas especializadas, registraron un uso eficiente de los recursos en algunos de los años del periodo con valores muy por debajo en el resto de los años en promedio, expresando con ello que, a pesar de tener potencialidad para convertirse en un referente de eficiencia, no fue considerada en el estado como una actividad preeminente y estratégica. La minería de mármol es la única más eficiente del total de esta clase de minería en el estado en 2004 y 2009, si bien también se convierte en un referente nacional a pesar de no tener una participación importante en el acumulado total de los estados dedicados a esta actividad. En este mismo sentido encontramos a la minería de arena y grava para la construcción a pesar de que solo un año registra eficiencia técnica (1999), así como la de arcilla y refractarios (2004), cuya presencia fue destacada a nivel de la entidad y con condiciones latentes para ser referentes con otros estados que se encuentran en la frontera de la eficiencia y en los volúmenes aportados.

Finalmente, el análisis y estimación de la eficiencia técnica en el periodo en que la minería zacatecana recupera el dinamismo de la actividad, abre la posibilidad para comprender que dicho contexto ha sido fundamental para determinar el uso de los factores productivos que han estado presentes en la transformación de la minería en el estado. Que la minería sea ineficiente a nivel del país y de que se manifieste eficiencia técnica en las clases de minería

de mayor especialización en la entidad, pone de relevancia de que, aunque su posición colocó al estado como uno de los más representativos en la obtención de productos minerales, se requiere revisar si ha mejorado la utilización del capital y del trabajo, y por lo tanto, si se han reducido las disparidades con las principales entidades mineras del país en el uso de los mismos, situación que a la luz de los datos trabajados pareciera que ha seguido un curso demasiado lento, salvo en el ámbito de la extracción de los recursos de mayor especialización debido a la intensificación de las inversiones, la reorganización de las operaciones y las respuestas en general para satisfacer las necesidades de la demanda actual de minerales que obliga a la eficiencia técnica en los inputs utilizados.

Referencias

- Afriat, S. N. (1972). "Efficiency estimation of production functions", *International Economic Review*, 13(1): 568-598.
- Arzubi, Almicar y Berbel, Julio (2002). "Determinación de índices de eficiencia mediante DEA en explotaciones lecheras de Buenos Aires", *Investigación agraria. Producción y sanidad animal*, vol. 17, núm. 1-2, pp. 103-124, Buenos Aires: Universidad de Lomas Zamora.
- Banker, R. D.; A. Charnes y W. W Cooper (1984). "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis", *Management Science*, 30(9): 1078-1092.
- Charnes, A.; W. Cooper y E. Rhodes (1978). "Measuring the efficiency of decision making units" *European Journal of Operational Research*, vol. 2, 429-444.
- Coelli, Timothy J.; D. Prasada Rao; J. Cristopher O'Donell; y E. George Battese (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis*, Second edition. EU: Springer Science and Business Media, Inc.
- Coelli, Tim (2008). A guide to DEAP version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program, CEPA working paper 96/08, Centre for Efficiency and Productivity Analysis, Department of Econometrics, University of New England.
- Coll, Serrano Vicente y Olga Ma. Blasco Blasco (2006). Evaluación de la eficiencia mediante el análisis envolvente de datos: *Introducción a los modelos básicos*. España: Universidad de Valencia.
- CRM (Consejo de Recursos Minerales) (2000). *Anuario estadístico de la minería mexicana 1999*, edición 2000. México, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.
- Cordero, Ferrera José Manuel (2006). "Evaluación de la eficiencia con factores exógenos mediante el análisis envolvente de datos: Una aplicación a la educación secundaria en España", *Tesis Doctoral*, Universidad de Extremadura, España.
- Färe, R.; S. Grosskopf y J. Logan (1983). "The relative efficiency of Illinois electric utilities", *Resources and Energy*, 5 (4), pp. 349-367.

- Farrel, M. J. (1957). "The measurement of productive efficiency", *Journal of the Royal Statistics Society, Serie A*, 120 (3), 253-282.
- FMI (Fondo Monetario Internacional) (2010). Ocho índices de precios con 49 series de precios reales con datos mensuales de 1980 [en línea]<<http://www.imf.org/external/np/res/commod/index.aspx>>22 de octubre de 2010.
- Fuentes, Pascual Ramón (2000). "Eficiencia de los centros públicos de educación secundaria de la provincia de Alicante", Tesis Doctoral, Universidad de Alicante, Facultad de Ciencias Económicas, España.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (1999). *Censos Económicos 1999*, México, <http://www.inegi.org.mx>.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (2004). *Censos Económicos 2004*, México, <http://www.inegi.org.mx>.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (2009). *Censos Económicos 2009*, México, <http://www.inegi.org.mx>.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (2002). *La estructura del SCIAN México*, <http://www.inegi.org.mx>.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (2004). *La industria minera ampliada. Censos Económicos 2004*. México, <http://www.inegi.org.mx>.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (2010). *Sistema de Cuentas Nacionales*, México< <http://dgcnesyp.inegi.org.mx/cgi-win/bdieintsi.exe/NIVR15#ARBOL>>21 de octubre de 2010.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (2011). *Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte*, México< <http://www.inegi.org.mx/sistemas/scian/default.aspx>>18 de agosto de 2011.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (2011). *¿Quiénes somos? México*<<http://www.inegi.org.mx/inegi/acercade/default.aspx>>18 de agosto de 2011.
- Leitón Quiroga, Jorge (2007). Modelos de Eficiencia Económica: El transporte Ferroviario. Bolivia: *Instituto de Investigaciones Socio Económicas* IISEC.
- Mizala, Alejandro; Romaguera, Pilar y Farren Darío (1998). *Eficiencia Técnica de los Establecimientos Educativos en Chile*. Serie Economía (38). Chile: Centro de Economía Aplicada Universidad de Chile.
- Ocampo, José Antonio (2008). "La búsqueda de la eficiencia dinámica: dinámica estructural y crecimiento económico en los países en desarrollo", *Revista de trabajo*, 4 (5), 14-47.
- Rodalleas; C. Portillo Mayra (2008). *Análisis de eficiencia para el sector minero en Coahuila: 1998-2003*. México: Centro de Investigaciones Socioeconómicas de la Universidad Autónoma de Coahuila.
- SGM (Servicio Geológico Mexicano de la Secretaría de Economía) (2010). *Anuario estadístico de la minería mexicana ampliada 2009*, versión 2010, México, Secretaría de Economía.
- SE (Secretaría de Economía del Gobierno Federal) (2009). *Panorama Minero del Estado de Zacatecas*. México.
- Varian, H. (1999). *Microeconomía intermedia: un enfoque actual* (5ª ed). Barcelona: Antoni Bosch.