

**La industria minera en México:
patrones de desempeño y determinantes de eficiencia**

Edgar Gaytán y Francisco Benita

Edgar Gaytán y Francisco Benita

La industria minera en México: patrones de desempeño y determinantes de eficiencia

Resumen: *El propósito del presente artículo es cuantificar y analizar los niveles de eficiencia técnica en la minería no petrolera de México. Se emplea el análisis envolvente de datos (DEA) y un modelo econométrico de panel que explora las determinantes de la eficiencia en la operación minera, considerando variables características de la Teoría Económica Regional. Los resultados muestran la consistencia de los patrones de localización, especialización e infraestructura productiva como factores explicativos de la eficiencia; asimismo, estos constituyen un referente que explica los factores puntuales a mejorar para elevar los niveles de eficiencia en el aprovechamiento de los diferentes minerales estudiados.*

Palabras clave: *análisis envolvente de datos, minería, México, análisis regional.*

Clasificación JEL: *C14, C23, R11, L71.*

The mining industry in Mexico: Performance patterns and determinants of efficiency

Abstract: The purpose of this paper is to quantify and analyze the technical efficiency levels in Mexico's non-oil mining industry. We use Data Envelopment Analysis (DEA) and a panel data econometric model in order to explore the determinants of mining efficiency, considering the Regional Economic Theory approach. The results show the consistency between the patterns of localization, specialization and productive infrastructure as explanatory factors of efficiency. These constitute a reference point to explain the specific factors to improve in order to raise the efficiency levels in the use of the different minerals studied.

Key words: *data envelopment analysis, mining, Mexico, regional analysis.*

JEL Classification: *C14, C23, R11, L71.*

La performance et les déterminants de l'efficience dans l'industrie minière au Mexique

Résumé: *L'objectif de cet article est de quantifier les niveaux d'efficacité technique dans le secteur minier non pétrolier au Mexique. Pour ce faire, nous utilisons l'Analyse d'Enveloppement des Données (DEA) ainsi qu'un modèle économétrique de données de panel, lequel explore les déterminants de l'efficacité de l'exploitation minière, compte tenu des variables de la théorie économique régionale. Les résultats montrent que la localisation, la spécialisation et l'infrastructure productive sont les facteurs explicatifs de l'efficacité dans le secteur minier. Il s'agit des facteurs importants si l'on veut proposer des stratégies visant une augmentation dans les niveaux d'utilisation des différents minéraux.*

Mots-clés: *analyse d'enveloppement des données, exploitation minière, Mexique, analyse régionale.*

Classification JEL: *C14, C23, R11, L71.*

La industria minera en México: patrones de desempeño y determinantes de eficiencia

Edgar Gaytán y Francisco Benita*

–Introducción. –I. Revisión de la literatura. –II. Metodología.

–III. Resultados. –Conclusiones. –Bibliografía.

doi: 10.17533/udea.le.n80a4

Primera versión recibida el 16 de junio de 2013; versión final aceptada el 16 de septiembre de 2013

Introducción

La actividad minera ha sido un factor fundamental de desarrollo en los 200 años de vida independiente de México, de tal suerte que el país se forjó, en muchos aspectos, como resultado de la minería. El rostro de su geografía humana, con sus ciudades y centros poblacionales, así como las rutas de enlace que las vinculan, se explica en gran parte por el producto de la concentración de sus recursos minerales y el afán de su aprovechamiento por parte de quienes han habitado su territorio.

Sin embargo, al margen de los ciclos tan abruptos que definen a una industria extractiva, lo cierto es que el sector, a lo largo de las entidades federa-

* *Edgar David Gaytán Alfaro*: Profesor-Investigador. Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales, Unidad Académica de Economía, Universidad Autónoma de Zacatecas. Dirección postal: Av. Preparatoria S/N Col. Hidráulica; Zacatecas Zac. México C.P. 98068. Dirección electrónica: davidgaytan81@gmail.com

Francisco Javier Benita Maldonado: Estudiante de Doctorado. Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas, ITESM (Tec de Monterrey), Campus Monterrey. Dirección postal: Avenida Eugenio Garza Sada 2501 Sur, Monterrey, Nuevo León C.P. 64849. Dirección electrónica: francisco_benita@hotmail.com

tivas, tiene una alta composición de valor y ejerce una influencia significativa de impulso y arrastre sobre el resto del andamiaje productivo en la entidad.¹ Este contexto lleva a que resulte atractivo estudiar los factores que han determinado el desempeño de esta actividad, así como discernir, en un ejercicio comparativo entre las entidades federativas de México, qué aspectos de orden espacial, socioeconómico y de infraestructura influyen sobre la eficiencia con la que se llevan a cabo sus operaciones características.

En el contexto anterior, el propósito central de este documento consiste en ofrecer un cuadro explicativo de las variables que determinan la eficiencia técnica con la que opera la industria minera no petrolera en México. De esta manera, se conciben las economías de escala, la dotación de recursos, la especialización productiva y el empleo como elementos determinantes sobre la obtención de un determinado grado de eficiencia. La existencia de infraestructura pública, particularmente relacionada con el transporte de minerales, resulta también un elemento explicativo.

Por su parte, la eficiencia técnica se calcula empleando el análisis envolvente de datos (*Data Envelopment Analysis*, DEA), el cual se trata de un método no-paramétrico que mide la eficiencia desde una perspectiva interna, es decir, utilizando la intensidad en el uso de insumos y factores de la producción. Esta técnica ya ha sido utilizada por Benita, Gaytán y Rodallegas (2012) para generar información pertinente respecto al comportamiento de las industrias mineras en el estado de Zacatecas, México. La técnica aprovecha el *Know How* de las firmas, unidades económicas o sectores considerados, dando lugar a la identificación de las eficientes e ineficientes, permitiendo fijar objetivos

1 De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), del conjunto de la actividad económica en México, la minería contribuye con un 0,6% en la formación del Valor Agregado Bruto. En esta aportación, destacan entidades federativas como Zacatecas, Baja California Sur, Sonora, Durango y Coahuila que contribuyen, respectivamente, con 18,6%, 15,1%, 7,4%, 7,2% y 5%; lo anterior para 2009. En lo que se refiere al impacto de la minería en la estructura comercial mexicana, cabe mencionar que, para 2011, esta actividad significó alrededor de los \$6.000 millones (USD) por concepto de exportaciones, mismos que representan el 1,7% del total de la actividad exportadora en el país. En este sector particular, la economía mexicana muestra un superávit por el orden de los mil millones de dólares, también para 2011 (INEGI, 2012, p. 78).

de mejora para las segundas (Navarro y Torres, 2006). Posteriormente, un modelo de datos panel para las 32 entidades federativas para los años 1998, 2003 y 2008 permite identificar los determinantes de los niveles de eficiencia técnica en la minería no petrolera en México.

El documento se compone de cuatro apartados. En el primero se lleva a cabo una revisión de la literatura relativa a las teorías tradicionales y actuales de localización, así como una descripción de los enfoques de aglomeración, concentración de actividades económicas y proclividad a la formación de *clusters* o redes de innovación. Dichas categorías constituyen el marco analítico y de estudio sobre el cual se erige el presente tema. Asimismo, en esta sección se describen brevemente las características del Sistema de Clasificación Industrial para América del Norte y se justifica la razón de su empleo. En el segundo apartado se describe la técnica DEA, así como la especificación econométrica a utilizar. El tercer apartado ofrece los resultados obtenidos, logrando identificar a las entidades federativas que son susceptibles a mejoras técnicas para incrementar sus niveles de eficiencia, así como la identificación de los factores que la explican, con qué intensidad lo hacen; se sugiere, además, en qué medida estos elementos pueden resarcirse o mejorarse de manera que impacten en la obtención de mayores niveles de este indicador. Finalmente, se discuten los resultados de mayor relevancia y se deslindan algunos aspectos normativos respecto a las posibilidades de mejorar las condiciones prevalecientes en el sector minero del país.

I. Revisión de la literatura

Las teorías de localización constituyen la visión tradicional o clásica del problema de la generación del tejido empresarial. Todas estas teorías tienen en común el argumento que gira en torno a los costes de transporte, el cual es de gran peso en el coste final, y presentan la necesidad de reducir dichos costes en la medida que sea posible; para lograrlo lo ideal es que las actividades se ubiquen en la mayor proximidad a las materias primas, puesto que la distancia es la variable clave, por ser la que representa un mayor gasto.

Una de las clasificaciones de las actividades económicas se realiza de acuerdo al grado de movilidad de sus insumos y factores. De acuerdo con

esta clasificación se pueden encontrar tres categorías: a) intensivas en el uso de factores móviles, b) productoras de bienes no comerciables y c) intensivas en recursos naturales. Las actividades orientadas al aprovechamiento, extracción o procesamiento de los recursos naturales, por lo regular, buscan localizarse en las inmediaciones de la ubicación de estos recursos (Dávila, 2004).

Dentro del conjunto de las teorías de localización encontramos a Von Thünen (1966), quien enfatiza el importante papel de los costes en función de la distancia al mercado, presenta el término renta de ubicación y explica que es generada por el factor distancia. Weber (1971), con la “teoría de la ubicación industrial”, explica la localización de ésta usando los costos de distancia y transporte del centro productivo al mercado. Christaller (1966) establece una jerarquía posicional donde el lugar central viene definido en función de la ubicación de las actividades comerciales y el área central que ofrece servicios a los territorios que circundan. En el área central se observa una división entre servicios de alto orden y de bajo orden: por los primeros entiéndase aquellos que tienen gran demanda inicial y grandes áreas de mercado para un solo establecimiento y por el segundo aquellos que presentan una demanda inicial baja y se apoyan en las áreas de mercado pequeñas. Se origina, así, una estructura jerárquica a nivel territorial.

Los enfoques modernos de la localización han extendido sus implicaciones a las posibilidades de formación de economías de aglomeración. Lo anterior entendido como la ubicación de unidades económicas (que obedecen a patrones de localización de factores de producción) en áreas geográficas con características propicias para llevar a cabo labores productivas. Esto se traduce en patrones de especialización y confiere capacidades a las regiones en cuanto al desempeño de ciertas actividades económicas (López, 1960).

La dotación de recursos naturales, así como las condiciones físicas y la existencia de infraestructura que facilite las operaciones productivas, siguen siendo factores que explican diferentes orientaciones económicas por región. Dichos elementos dan lugar a cuatro categorías que, de acuerdo a Ohlin (1933), constituyen las ventajas principales según delimitación geográfica específica:

- a) Economías de localización. Resultan de verificar el peso relativo de las actividades económicas en una región con respecto a un contexto económico mayor o de cobertura. Ello es resultado de una mayor dotación (relativa) de factores de producción o recursos naturales, mayor especialización en mano de obra o habilidades más marcadas en el ejercicio de ciertas actividades económicas. Estas características hacen proclives a las regiones a una más evidente dinámica de innovación y, por extensión, de crecimiento.
- b) Economías de escala. Se refiere a la existencia de factores propios de cada firma, asociados al tipo de proceso de producción y a sus características operativas así como la intensidad de empleo de mano de obra y capital físico.
- c) Economías de urbanización. Se reflejan en el tamaño de las ciudades y son producto de la concentración de las actividades económicas, y generan infraestructura que deriva en la ampliación de las escalas de producción y/o en su masificación. En procesos altamente concentrados se traducen en deseconomías que van en detrimento de la calidad de vida y en la facilidad con la que se operan las labores productivas y de comercialización.
- d) Vinculación inter-industrial. Se refleja en la comercialización de insumos dando lugar a la configuración de un tejido industrial cuyo factor de cohesión son las ventajas de localización que derivan de ubicaciones próximas a los recursos o a los mercados, o a ambas.

Para Lazzareti (2006) los enfoques modernos de la teoría de la localización no pueden prescindir de la noción de “lugar” como un elemento de conservación de los recursos, así como de preservación de las actividades económicas. Los alcances de la globalización no han implicado que los agentes económicos no consideren sus decisiones de localización en atención a los factores anteriormente mencionados. De esta manera, el espacio, al no ser isotrópico, se convierte en la cuarta variables estratégica para la supervivencia y el desarrollo empresarial, junto con el producto, el mercado y la tecnología.

De la relación entre espacio y economía surge la Nueva Geografía Económica (NGE) como una disciplina de estudio que pretende configurar un

marco explicativo moderno de las fuerzas que detonan y fortalecen la localización de las actividades económicas. Pioneros en este campo de estudio, Livas y Krugman (1996) clasifican estas fuerzas en centrípetas y centrífugas: la primera hace referencia a los elementos que incentivan la aglomeración, tales como economías externas, condiciones de mercados (en lo que se refiere a tamaño y cercanía) y, muy particularmente, a los encadenamientos hacia atrás (por la capacidad de requerimientos de insumos) y hacia delante (por la capacidad de abastecimiento); esta visión coincide con los trabajos de Hirschman (1958) sobre la importancia de los encadenamientos como un factor para detonar efectos multiplicadores en un entramado productivo dado. La segunda fuerza, la centrífuga, se refiere a los elementos que impulsan la dispersión de las actividades económicas, entre los que destacan las deseconomías de urbanización (contaminación, hacinamiento, servicios limitados, entre otros) y el costo de la tierra. Asimismo la NGE considera que en los procesos de aglomeración no entran en juego solo los flujos económicos, asociados a la movilidad de mercancías y factores, sino que la información adquiere un carácter total. La dispersión de información implica difusión de tecnologías nuevas y especializadas que, aunque difíciles de cuantificar en materia de valor comercializado, resultan cruciales en la generación de sinergias productivas (Feser y Bergman, 2000).

Dado que aquellas entidades federativas con vocación minera cuentan con ventajas evidentes respecto a la disponibilidad de recursos minerales, es justificada la idea de que en dichas entidades se generan procesos tanto de aglomeración como de especialización que pueden ser, en conjunto, factores que, desde un carácter normativo, amplíen las perspectivas de crecimiento para estos estados. Son precisamente los argumentos teóricos anteriormente esgrimidos los que se pretenden demostrar, en la presente investigación, como explicaciones de la eficiencia y el crecimiento económico.

Existe gran variedad de trabajos empíricos que han hecho uso de este enfoque para caracterizar la actividad industrial de los países o regiones. Por ejemplo, para el caso de México, Hernández (2007) analiza el impacto del tratado de libre comercio sobre la geografía económica, construyendo índices de especialización regional a nivel estatal y de localización industrial para las ramas de la industria manufacturera entre 1981 y 2003. Benita y Gaytán

(2011) estudian la estructura de la industria manufacturera en el estado de Zacatecas (México) para los años de 1998 y 2003, construyendo índices de localización, exportación y especialización, y descomponiendo los factores de crecimiento con el análisis de *cambio-participación*. Entre los estudios que han abordado el tema de la productividad de la industria minera se encuentran los de Verón et al. (2008), quienes examinan la productividad del sector minero australiano explicándola a través de tres factores: la disposición de recursos naturales (a través de medidas de reserva, extracción y agotamiento), insumos (estructura de costos, naturaleza del capital minero e inversión) y otros factores (como los cambios tecnológicos, la infraestructura o la seguridad en las prácticas de trabajo). Naples (1998), por su parte, estudia el caso del incremento en la productividad en las minas de carbón en Canadá entre 1955 y 1980, utilizando como variables explicativas la periodicidad de las huelgas, cambios institucionales en la regulación de seguridad e higiene dentro del sector, la tasa de accidentes de trabajo y la tasa de accidentes fatales.

II. Metodología

La minería es una actividad económica que tradicionalmente ha definido la vocación productiva de algunas entidades federativas de México como Zacatecas, Guanajuato, Coahuila o Sonora. Tal orientación se hace patente durante la colonia, pero se refrenda en el curso de los años, dando lugar a que esta actividad se convierta en una de las principales actividades de suministro de insumos a industrias tales como la construcción, la química y la electrónica (Secretaría de Economía, 2006). De esta manera, la minería adquiere un carácter estratégico no solo por su composición de valor en sí, sino por sus reconocidas facultades para inducir crecimiento en el resto del entramado productivo de un país o localidad.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la minería se define 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 (INEGI, 2004, p. 9).

Esta investigación se centra, particularmente, en el caso de la minería no petrolera. La delimitación de la actividad económica es de vital importancia para contar con indicadores de eficiencia fidedignos, así como elementos explicativos también dotados de certidumbre. Lo anterior se llevó a cabo utilizando el Clasificador Industrial para América del Norte (SCIAN), el cual, si bien tiene una orientación preponderante a los servicios, resulta de conveniente empleo dadas las posibilidades de empatía con los principales socios comerciales de la economía mexicana.

El SCIAN tiene como objetivo primordial proporcionar un marco único y consistente para la recopilación y presentación de estadísticas de tipo económico que reflejen la configuración de la estructura productiva de México (INEGI, 2002). Dicho clasificador está compuesto por 20 sectores de actividad económica, de los cuales 5 son productores de bienes y los 15 restantes de servicios. La actividad que nos ocupa en el presente documento es la correspondiente al subsector 212 de Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas² (en lo subsecuente, hablar de la minería no petrolera o del subsector 212 resulta indistinto). La cota temporal se reconoce en los tres más recientes censos económicos cuya información está referida al año anterior: 1999, 2004 y 2009 bajo la misma definición y ramas que la integran.

De esta manera, es posible afirmar la homogeneidad de conceptualización en los 3 cortes transversales referidos. Lo anterior no es fortuito, debido a que el SCIAN se encuentra en constante revisión, en virtud de los requerimientos descriptivos que induce la dinámica del desarrollo económico

2 Aunque el petróleo es formalmente un mineral no metálico, el subsector referido no lo contempla en su formación de valor agregado y en las diferentes variables de tratamiento de dicha actividad en los censos económicos mencionados.

general en el bloque de América del Norte (INEGI, 2007). Particularmente, las actividades agropecuarias y relacionadas con los servicios han sufrido modificaciones desde la implementación del SCIAN en la economía mexicana para el Censo Económico de 1999, afortunadamente no ha sido el caso para la minería y sus actividades derivadas.

A. El análisis envolvente de datos

Para el cálculo de la eficiencia técnica de la industria minera no petrolera de las entidades federativas, se empleó una desagregación a tres dígitos de los censos económicos de 1999, 2004 y 2009. Esto significa que se trabajó a nivel de subsector, considerando particularmente el 212 referido a la minería de minerales metálicos y no metálicos.

Existen diferentes métodos para la medición de la eficiencia. Coelli, Prasada y Battese (1998) consideran cuatro de ellos:

- a) Modelos econométricos de producción, habitualmente empleando mínimos cuadrados ordinarios.
- b) Índices de Productividad Total de los Factores.
- c) Análisis de Envoltura de Datos (DEA).
- d) Fronteras Estocásticas.

En este trabajo se emplea el DEA por ser un método sencillo que simplifica las especificaciones técnicas y cuyos supuestos son relativamente plausibles en la realidad. Se considera, además, un método no-paramétrico dado que no requiere una función de producción como base de su cálculo. En todas sus variantes, la información que requiere el DEA es relativamente fácil de obtener. Tal es el caso del DEA estándar, empleado en este documento, que pondera el nivel de eficiencia según cantidades de insumo y producto; sin embargo, las otras posibilidades, según costos, ingresos y beneficios, también son de requerimientos simples.

La técnica DEA fue empleada por primera vez por Charnes, Cooper y Rhodes (1978) para medir la eficiencia productiva en el sector agrícola de los

Estados Unidos en atención a los insumos empleados y a los productos finales obtenidos. Puntualmente esta técnica se define 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. El DEA permite la evaluación de la eficiencia relativa de cada una de las unidades (Coll y Blasco, 2006, p. 18).

No obstante a sus referidas ventajas, la técnica también presenta algunas limitantes, de entre las cuales, las más importantes son, de acuerdo a Coelli et al. (1998):

- 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 mínimo de unidades para incluir en el análisis.
- c) Las variables de insumo y producto no han sido especificadas particularmente.

Al margen de sus limitantes, los resultados de la técnica son atractivos por el hecho de que permiten no solo verificar los indicadores de eficiencia por unidad económica (y en este caso de agregación, por entidad federativa), sino que también brindan pistas respecto a la cantidad de insumos o productos que se desperdician como criterio para obtener los niveles proyectados de eficiencia. Asimismo, hay flexibilidad en cuanto al enfoque a emplear: en el caso de que el estudio esté orientado a insumos, una empresa será eficiente cuando reduzca al mínimo el empleo de insumos sin diezmar su nivel de producción deseado o eficientemente factible; en contraparte, si el enfoque es a la producción, el objetivo es maximizarla buscando que sea inalterable la cantidad de insumos empleada (Charnes et al., 1981).

El propósito de este modelo radica en construir una frontera de posibilidades de producción no-paramétrica, que envuelva los datos y que permita

identificar a las unidades de decisión (UD's) que la determinan, es decir, que funcionan eficientemente. Así, consideramos N unidades de decisión en donde cada UD consume cantidades de M insumos para producir S productos. Específicamente, la UD_j consume $x_{ji} \in \mathbf{X}$ del insumo i y produce $y_{jr} \in \mathbf{Y}$ del producto r . Asumimos que $x_{ji} \geq 0$ y $y_{jr} \geq 0$. Asimismo, \mathbf{X} y \mathbf{Y} son matrices de tamaño $M \times N$ y $S \times N$, que contienen la totalidad de insumos y productos correspondientes a las N UD 's consideradas (en este estudio, la j -ésima UD hace referencia a la j -ésima entidad federativa del país, con $j = 1, 2, \dots, 32$). Para una UD su razón cociente insumo/producto proporciona una medida de eficiencia. En programación matemática esta razón, que se minimiza, constituye la función objetivo de la UD analizada. Por su parte, la incorporación de restricciones normalizadas refleja la condición de que el cociente insumo/producto de cada UD debe ser superior a la unidad, de manera que la frontera calculada envuelva a las distintas combinaciones insumo/producto correspondientes a la totalidad de UD 's consideradas. Por tanto, el programa matemático para el cociente de eficiencia será:

$$\begin{aligned} & \text{Min}_{\mathbf{u}, \mathbf{v}} \quad \mathbf{v}^T x_0 / \mathbf{u}^T y_0 \\ \text{s. a.} \quad & \mathbf{v}^T x_j / \mathbf{u}^T y_j \geq \mathbf{1}, \quad j = 1, 2, \dots, N \\ & \mathbf{u}, \mathbf{v} \geq \mathbf{0} \end{aligned} \quad (1)$$

donde \mathbf{v} y \mathbf{u} son vectores de tamaño $M \times 1$ y $S \times 1$, respectivamente. Resolviendo (1) se encuentran los pesos óptimos \mathbf{v}^* y \mathbf{u}^* asociados a los productos e insumos. Sin embargo este problema arroja infinitas soluciones por lo que se incluye la restricción $\mathbf{u}^T y_0 = \mathbf{1}$; formalmente el problema primal (P) y dual (D) está dado por:

$$\begin{aligned} \text{(P)} \quad & \text{s. a.} \quad \text{Min}_{\mathbf{v}, \boldsymbol{\mu}} \quad \mathbf{v}^T x_0 \\ & \quad \boldsymbol{\mu}^T y_0 = \mathbf{1} \\ & \quad \mathbf{v}^T \mathbf{X} - \boldsymbol{\mu}^T \mathbf{Y} \geq \mathbf{0} \\ & \quad \mathbf{v}, \boldsymbol{\mu} \geq \mathbf{0} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{(D)} \quad & \text{s. a.} \quad \text{Max}_{\varphi, \boldsymbol{\lambda}} \quad \varphi \\ & \quad \mathbf{X} \boldsymbol{\lambda} \leq x_0 \\ & \quad \varphi y_0 - \mathbf{Y} \boldsymbol{\lambda} \leq \mathbf{0} \\ & \quad \boldsymbol{\lambda} \geq \mathbf{0} \end{aligned} \quad (3)$$

donde $\varphi \in [0,1]$ es el índice de eficiencia técnica y λ un vector de tamaño $N \times 1$. Finalmente, al problema dual (3) se le impone la siguiente restricción para convertirlo en un modelo de rendimientos variables a escala:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max}_{\varphi, \lambda} \varphi \\
 \text{s. a.} \quad & \mathbf{X}\lambda \leq x_0 \\
 & \varphi y_0 - \mathbf{Y}\lambda \leq \mathbf{0} \\
 & \lambda \geq \mathbf{0} \\
 & \mathbf{e}^T \lambda \leq \mathbf{1} \text{ (Restricción de convexidad)}
 \end{aligned} \tag{4}$$

donde \mathbf{e}^T es un vector de tamaño $N \times 1$ y cuyos componentes son la unidad.

Para obtener el índice de eficiencia técnica para cada entidad federativa, se llevó a cabo la consideración de las siguientes variables³:

- a) Producción bruta total. 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. Comprende el valor de los productos elaborados, las obras ejecutadas, los ingresos por la prestación de servicios, el alquiler de maquinaria, 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, p. 117).
- b) Empleo. Comprende tanto al personal contratado 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, p. 117).
- c) Capital. Es el valor actualizado de todos aquellos bienes que son propiedad de la unidad económica, cuya vida útil es superior a un año, y que tienen la capacidad de producir o proporcionar las condiciones necesarias para la generación de bienes y servicios (INEGI, 2004, p. 115).

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

3 La definición de las variables Empleo y Capital se establece en analogía a los conceptos que INEGI (2004) tiene de Personal Ocupado Total y Activos Físicos, respectivamente.

la minería, 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 al cálculo de la eficiencia, generan resultados atípicos.

Un supuesto importante es que el índice de eficiencia por entidad federativa se estimó de forma indistinta sin considerar las actividades particulares que en cada estado se llevan a cabo con relación a la minería. La extracción de cada mineral tiene rasgos en particular, sin embargo la perspectiva general es que hay mayores similitudes en lo que respecta a la exploración, extracción y, en algunos casos, al procesamiento de los diferentes minerales. La mayoría de ellos son, de hecho, productos de un proceso común. Dicho lo anterior, asumimos que independientemente de las especificidades en el desempeño de las distintas etapas de la producción de los minerales por entidad federativa, los patrones de eficiencia son comparables y por consiguiente mesurables empleando una metodología única.

Finalmente, queremos aclarar que los cálculos de eficiencia se realizaron por cohortes, por lo que no es necesario deflactar los parámetros monetarios que se utilizaron en la construcción del índice, pues al resolver (4) considerando el efecto inflacionario, los cálculos de eficiencia nos conducirían necesariamente a los mismos resultados. Aunque existen metodologías para calcular eficiencia considerando el efecto temporal mediante una combinación de un DEA y el índice de Malmquist para descomponer los cambios en productividad y cambio tecnológico, este trabajo de investigación prescinde de dicha técnica, ya que el objetivo de la investigación no es la descomposición de la eficiencia sino más bien construir una primera aproximación para posteriormente ahondar en su entendimiento.

B. Modelo econométrico

El objetivo de esta sección es plantear un modelo econométrico de panel de datos cuyos resultados estén orientados a verificar el impacto que tienen diferentes variables relacionadas con la teoría de la localización —tales como

economías de escala, disponibilidad de insumos, infraestructura y especialización— como argumentos explicativos de la eficiencia en el sector. Como ya se ha mostrado previamente, la teoría sugiere que existe una relación muy estrecha entre concentración geográfica de las actividades económicas, localización y patrones de especialización, y entre las variables mencionadas y la generación de economías de escala. Asimismo, este último concepto se asocia al tamaño de la firma y a los alcances productivos de ésta, el resultado es un proceso sinérgico de ampliación de procesos y mayor utilización de factores de la producción.

Para la construcción del modelo, en lo que respecta a la variable dependiente, ponderamos el índice de eficiencia por la participación estatal en la formación del Valor Agregado Censal Bruto del subsector 212 de Minería de minerales metálicos y no metálicos. De esta manera, en el valor que tiene cada estado también se representa la aportación a la eficiencia del sector minero nacional. Los valores de la variable dependiente, por consiguiente, dejan de presentarse estrictamente en la frontera de 0 a 1. Este arreglo también es importante para hacer factible la regresión. En lo relativo a las variables independientes, éstas se definen como:

- a) Coeficiente de localización (*LQ*). Mide la participación en el valor agregado de la minería de minerales metálicos y no metálicos en la formación total del valor agregado. Es una medida plausible del grado de especialización de una entidad federativa dada en la actividad económica en este caso considerada. Se espera una relación positiva, es decir, que a mayor grado de especialización más eficiencia.
- b) Economías de escala (*ESC*). Variable que determina el tamaño medio de las unidades económicas. Se empleó, como indicador *proxy*, la relación que existe entre el personal total ocupado en el subsector 212 y la cantidad de unidades económicas en el mismo, todo ello en cada entidad federativa; dicho en otros términos, es la cantidad media de trabajadores por firma registrada en la minería de minerales metálicos y no metálicos. Se espera una relación positiva con los índices de eficiencia: entre mayor sea el tamaño de la firma mayores serán las economías generadas por ésta, y mayor la eficiencia. El resultado esperado, sin embargo, también pue-

de ser ambiguo, dado que una cantidad excesiva de trabajadores puede significar irracionalidad en la administración de factores y que se incurra en rendimientos decrecientes, elementos que van en detrimento de la eficiencia.

- c) Dotación de minerales (*REC*). Representa la participación de cada entidad federativa en la disponibilidad de recursos minerales a nivel nacional. En este caso se empleó, como variable *proxy*, la valoración de los inventarios del total de empresas mineras por estado al final del ciclo económico con respecto al total de este mismo valor en la economía nacional. El signo esperado de esta variable con respecto a los índices de eficiencia, es también difícil de prever. La abundancia en dotación de recursos no puede significar necesariamente eficiencia, dada la proclividad de que éstos se aprovechen pero con cierto grado de desperdicio.
- d) Dotación de infraestructura (*INF*). Para hacer mesurable en términos prácticos la infraestructura se consideró, como variable *proxy*, la relación que existe entre la longitud de vías férreas y la extensión territorial por entidad federativa. Es decir, es la extensión de vías férreas por kilómetro cuadrado en cada estado. Se consideró adecuada la utilización de las vías férreas porque la minería es, por excelencia, una actividad cuyos requerimientos de transporte se cubren por medio del ferrocarril. Una alta existencia de vías férreas es evidencia de presencia de actividad minera. La relación esperada con respecto a los índices de eficiencia es claramente positiva.

Proponemos la aplicación de un modelo de panel de datos dada la combinación de información mostrada en el transcurso del tiempo con datos de corte transversal. Para el estudio se cuenta con información de los últimos tres censos económicos, que hacen referencia a información del año anterior: 1999, 2004 y 2009 para las 32 entidades federativas del país. Mediante el contraste de hipótesis se elegirá entre el modelo de efectos fijos o el de efectos aleatorios como el que disponga de mayor poder explicativo. Finalmente, el índice de eficiencia ponderado del estado i en el año t está dado por:

$$IE_{it} = \alpha_i + \beta_1 LQ_{it} + \beta_2 ESC_{it} + \beta_3 REC_{it} + \beta_4 INF_{it} + e_{it} \quad (5)$$

III. Resultados

En la Tabla 1 pueden apreciarse las diferentes variedades minerales que se explotan en México especificando según entidad federativa. Las variedades mencionadas son las principales, y son las que se incluyeron en el cálculo del índice de eficiencia. Es destacable el hecho de que algunas entidades como Zacatecas, Coahuila, Chihuahua o Sonora tienen presencia en la explotación de prácticamente todas las variedades minerales, hecho que corrobora sus perfiles productivos en actividad minera. En la Tabla 2 se presentan los resultados del índice de eficiencia por entidad federativa. Pueden destacarse cambios abruptos a lo largo de los tres cortes contemplados, esto puede deberse a la incorporación de insumos y/o infraestructura que, al momento del corte, no implicó un crecimiento en el nivel de producción. Lo anterior puede implicar resultados atípicos, sin embargo no rompe con la generalidad de la interpretación: a saber, una mayor eficiencia es indicio de racionalidad en el manejo de los factores y una mayor proclividad para favorecer el crecimiento en virtud de sectores o actividades que cuenten con esa característica.

Resulta relevante el hecho de que los estados de Baja California Sur, Coahuila, Sonora y Tlaxcala se encontraron por encima de la media para todo el periodo analizado, en donde únicamente Sonora y Tlaxcala presentaron eficiencia máxima en todos los años. Esto puede explicarse, ya que la composición de valor agregado relativamente alta habitualmente está acompañada de índices de eficiencia también altos o, por lo menos, por encima de la media. Estos resultados son congruentes con los perfiles de especialización productiva que dan lugar a la formación de patrones de eficiencia.

Cabe aclarar que el caso de Tlaxcala es especial ya que, no obstante a una baja participación relativa en la minería del país, cuenta con un alto grado de especialización en minerales no metálicos, particularmente diatomita y tierra de fuller, que son empleados como filtros de agua y decolorantes, respectivamente. Baja California Sur se asume como otro caso relevante debido a la tradicional explotación de diferentes clases de cloruros, particularmente la sal común de mesa en Guerrero Negro. Otro aspecto que hay que rescatar

Tabla 1. *Variedades de minerales explotados en México según entidad federativa**

Variedad	Entidades productoras
Minería de Carbón Mineral	Coah, NL, Son.
Minería de Hierro	Coah, Col, Chih, Mich, Oax, Pue, Dgo, Hgo, Jal, Son, Zac.
Minería de Plomo y Zinc	Ags, Coah, Chih, Dgo, Gto, Gro, Hgo, Mex, Mich, Nay, NL, Oax, Qro, SLP, Sin, Son, Tamps, Zac.
Minería de Piedra de Cal	Ags, BC, BCS, Camp, Coah, Col, Chis, Chih, DF, Dgo, Gto, Gro, Hgo, Jal, Mex, Mich, Mor, Nay, NL, Oax, Pue, Qro, Q Roo, SLP, Sin, Son, Tab, Tamps, Tlax, Ver, Yuc, Zac.
Minería de otras arcillas y otros minerales refractarios	Ags, BC, BCS, Camp, Coah, Col, Chis, Chih, DF, Dgo, Gto, Gro, Hgo, Jal, Mex, Mich, Mor, Nay, NL, Oax, Pue, Qro, Q Roo, SLP, Sin, Son, Tab, Tamps, Tlax, Ver, Zac.
Minería de Mármol	Ags, BC, BCS, Coah, Chih, Dgo, Gto, Gro, Hgo, Jal, Mex, Mich, Mor, NL, Oax, Pue, Qro, SLP, Tamps, Yuc, Zac.
Minería de Arena y Grava para la Construcción	Ags, BC, BCS, Camp, Coah, Col, Chis, Chih, DF, Dgo, Gto, Gro, Hgo, Jal, Mex, Mich, Mor, Nay, NL, Oax, Pue, Qro, Q Roo, SLP, Sin, Son, Tab, Tamps, Tlax, Ver, Yuc, Zac.
Minería de otros Minerales No Metálicos	Ags, BC, BCS, Camp, Coah, Col, Chis, Chih, DF, Dgo, Gto, Gro, Hgo, Jal, Mex, Mich, Mor, Nay, NL, Oax, Pue, Qro, Q Roo, SLP, Sin, Son, Tab, Tamps, Tlax, Ver, Yuc, Zac.
Minería de Sílice	Ags, BC, Coah, Col, Chis, Chih, DF, Dgo, Gto, Hgo, Jal, Mex, Mich, NL, Oax, Pue, Qro, SLP, Sin, Son, Tamps, Ver, Yuc, Zac.
Minería de Sal	BC, BCS, Coah, Col, Chis, Chih, DF, Dgo, Gto, Hgo, Jal, Mex, Mich, NL, Oax, Pue, Qro, SLP, Sin, Son, Tamps, Ver, Yuc, Zac.
Minería de Piedra de Yeso	BCS, Coah, Col, Chis, Chih, DF, Dgo, Gto, Hgo, Jal, Mex, Mich, Mor, NL, Oax, Pue, Qro, SLP, Sin, Son.
Minería de Barita	Coah, Chih, Dgo, NL, Son, Ver
Minería de Fluorita	Coah, Chih, DF, Dgo, Gto, NL, SLP, Zac.

*Principales variedades explotadas en México y contempladas en el presente estudio.

Nota: ver correspondencia con la Tabla 2.

Fuente: elaboración propia con base a la información del Sistema de Clasificación Industrial para América del Norte, INEGI (2004).

Tabla 2. *Índices de eficiencia para el subsector 212 de Minería de minerales metálicos y no metálicos excepto petróleo y gas*

Entidad		1998	2003	2008
Ags	01 Aguascalientes	1	0.6	0.57
BC	02 Baja California	0.64	0.48	0.09
BCS	03 Baja California Sur	1	1	0.72
Camp	04 Campeche	0.52	0.37	1
Coah	05 Coahila	1	1	0.9
Col	06 Colima	0.76	0.65	0.53
Chis	07 Chiapas	0.35	0.18	0.52
Chih	08 Chihuahua	0.58	0.67	0.41
DF	09 Distrito Federal	0.31	0.58	0.26
Dgo	10 Durango	0.69	0.82	0.32
Gto	11 Guanajuato	0.34	0.4	0.59
Gro	12 Guerrero	0.68	0.47	0.49
Hgo	13 Hidalgo	0.81	0.34	0.18
Jal	14 Jalisco	0.06	0.58	0.52
Mex	15 México	0.47	0.55	0.13
Mich	16 Michoacán	1	0.51	0.51
Mor	17 Morelos	1	0.53	0.99
Nay	18 Nayarit	0.83	0.81	0.39
NL	19 Nuevo León	0.83	0.83	0.46
Oax	20 Oaxaca	0.42	0.64	0.45
Pue	21 Puebla	0.91	0.38	0.38
Qro	22 Querétaro	1	0.44	0.62
Q Roo	23 Quintana Roo	1	0.49	0.6
SLP	24 San Luis Potosí	0.82	1	0.49
Sin	25 Sinaloa	0.84	0.84	0.4
Son	26 Sonora	1	1	1
Tab	27 Tabasco	0.38	0.55	0.74
Tamps	28 Tamaulipas	0.6	0.68	1
Tlax	29 Tlaxcala	1	1	1
Ver	30 Veracruz	0.65	0.25	0.29
Yuc	31 Yucatán	0.28	0.68	0.41
Zac	32 Zacatecas	0.67	1	0.63
Eficiencia media		0.7	0.63	0.55

Fuente: elaboración propia con base a la información de los censos económicos 1999, 2004 y 2009 (INEGI, 2001; 2005; 2010).

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, que continúa siendo el mayor productor de plata primaria en México y en el mundo; es 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. Esta particularidad podría influir en el hecho de que la entidad presentó eficiencia máxima en el año 2003 y fue superior a la media para el año 2008. Existen también otras entidades de tradición minera como San Luis Potosí, Guerrero, Durango, Nuevo León y Guanajuato que preservan indicadores de eficiencia relativamente altos y estables.

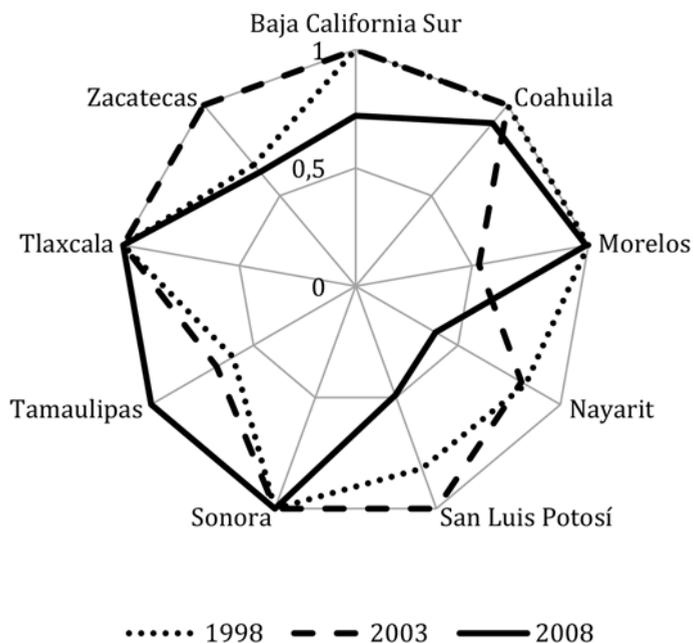
En el Gráfico 1 notamos el desempeño de las nueve entidades federativas con mayor eficiencia media a lo largo de los tres censos considerados. En un comparativo en años precisos, destaca el hecho de que 2003 es el año en que las entidades, en una perspectiva general, notaron mayores indicadores de eficiencia. 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 Zacatecas, siendo el indicador más bajo junto con San Luis Potosí.

En la estimación econométrica, el mejor modelo fue el de mínimos cuadrados generalizados (MCG). Esta especificación fue validada a través de la prueba de multiplicadores de Lagrange de Breusch y Pagan para descartar una regresión agrupada frente a un modelo de efectos aleatorios, así como la prueba F y el test de Hausman para preferir el modelo de efectos aleatorios frente a la regresión agrupada y al modelo de efectos fijos⁴. Los resultados de la estimación de la ecuación (5) se presentan en la Tabla 3. De entrada la intuición sugeriría el uso de un modelo de efectos fijos dadas las propiedades físicamente invariables de las entidades federativas respecto a sus yacimientos mineros. Sin embargo, la pertinencia estadística del uso del modelo por efectos aleatorios podría deberse a la periodicidad quinquenal de la información, pudiendo verse afectada por el ciclo económico de la minería que está

4 La prueba del multiplicador de Lagrange por efectos aleatorios que se distribuye asintóticamente $\chi^2_{(1)}$ arrojó un p-valor < 0.01; la prueba F un p-valor < 0.01 y el test de Hausman un p-valor = 0.986.

estrechamente vinculado a la inversión extranjera directa y las factibilidades tecnológicas para su explotación.

Gráfico 1. Desempeño de las entidades con mayor eficiencia media: 1998, 2003 y 2008



Fuente: elaboración propia con base a la información de la Tabla 2.

Todas las variables, excepto la infraestructura, presentan los signos esperados, es decir, una relación positiva. Sin embargo, únicamente el coeficiente de localización y las economías de escala resultaron estadísticamente significativas. En otras palabras, a mayor especialización productiva de las regiones en el ámbito minero, mayor será la eficiencia, consistente con lo postulado por la teoría de la localización. Por su parte, las economías de escala, es decir, la existencia de factores propios de cada firma asociados al tipo de proceso de producción, sus características operativas, así como la intensidad de empleo de mano de obra y capital físico, constituyen un elemento determinante en los niveles de eficiencia del sector minero. Aunque la dotación de minerales, según la especificación, influye positivamente con

los niveles de eficiencia, su coeficiente no es estadísticamente significativo, por lo que no es posible realizar inferencias. Finalmente, y del mismo modo, el coeficiente de la dotación de infraestructura resulta no significativo, imposibilitando cualquier tipo de inferencia; aunque hay que destacar el hecho de que la infraestructura juega un papel importante, no solo por su criterio de medición en atención a la longitud de vías férreas por kilómetro cuadrado en cada estado, sino por el hecho de que el transporte en tren está asociado, particularmente en México, a la presencia de actividad minera y ello conlleva, a la postre, a que existan otra serie de aditamentos técnicos que favorecen a la minería y, en última instancia, redundan en la obtención de mayores niveles de eficiencia.

Tabla 3. *Determinantes de la eficiencia en la industria minera no petrolera en México, 1998, 2003 y 2008*

Variable	MCG
LQ	0.669*** (0.091)
ESC	0.047*** (0.015)
REC	3.193 (2.975)
INF	-8.444 (16.201)

Nota: errores estándares robustos entre paréntesis; *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.

Fuente: elaboración propia con base en información obtenida de los censos económicos de 1999, 2004 y 2009 (INEGI, 2001; 2005; 2010)

Los resultados constituyen una orientación respecto a los factores que, al menos en el ámbito particular de la minería, es preciso reunir con el fin de favorecer un mayor nivel de eficiencia. Si bien la minería es un recurso no ubicuo esto no excluye la posibilidad de mejorar la eficiencia si se considera la alternativa de mejorar las cualidades de los estados en materia de infraestructura productiva.

Conclusiones

Realizar un estudio de este tipo genera información pertinente sobre una serie de variables que pudieran incidir en la capacidad productiva de la minería metálica y no metálica en México. Así, al considerarlas en la generación de servicios tecnológicos o consultoría a través de la planeación de políticas públicas, se podría contribuir a la mejora de resultados en términos sectoriales y regionales. Como punto de partida, el estudio caracteriza a la minería del país describiendo su importancia relativa en la economía, pasando revista a su dinámica, la distribución de sus recursos mineros, su perfil de especialización y su infraestructura.

Usando el enfoque de las teorías de la localización, debido a la naturaleza de esta actividad productiva, fue posible realizar un análisis de eficiencia técnica que permitió comparar el desempeño productivo entre todas las entidades federativas. Para el cálculo de la eficiencia se empleó el DEA por ser un método no paramétrico, que no requiere la formulación puntual de una función de producción. Aunque la literatura ha identificado al menos cuatro métodos para la medición de la eficiencia, se decidió utilizar métodos no paramétricos, ya que determinar una función de producción (y con ello, por ejemplo, aplicar el método de fronteras estocásticas) es, por sí misma, una propuesta para un tema de investigación autónomo, que, además, demanda que las unidades económicas (en este caso las entidades federativas) empleen estructuras de producción similares. Lo anterior es especialmente difícil dada la naturaleza del bien considerado en el modelo, de no ubicuidad y, por ello, de no comparable intensidad de producción. No obstante lo anterior, se subraya la necesidad de ampliar en estudios ulteriores los presentes resultados a una comparación con otros procedimientos, de manera que se bonifique a la representación de hallazgos más certeros en la descripción del objeto de estudio que nos ocupa.

Los resultados encontrados sugieren que la eficiencia media a nivel nacional y el número de entidades plenamente eficientes tendió a disminuir entre 1998 y 2008. Además, se identificaron a Sonora y Coahuila como los referentes de comparación para otras entidades como Zacatecas y Guanajuato, o a Tlaxcala como referente para entidades como Baja California Sur y

Morelos. El análisis permitió comprobar que en aquellas entidades en donde la presencia de la minería es importante en su economía, el sector minero no metálico resulta con altos niveles de eficiencia en comparación con el resto de los estados, encontrando algunas excepciones como Tlaxcala.

Según Cordero (2006) gran número de investigaciones que tratan el tema de la eficiencia se enfocan únicamente en estudiar el comportamiento de los productores en cuanto a su eficiencia y a su capacidad de maximizar beneficios. Sin embargo, en la práctica, la eficiencia depende de una multitud de variables cuya manipulación en muchos de los casos se encuentra fuera del alcance de los productores. Por tal motivo surge la propuesta de un modelo econométrico basado en datos panel; esta segunda etapa dentro del análisis DEA permite tratar variables exógenas con la finalidad de determinar la incidencia de éstas sobre la eficiencia, ampliando con ello el primer estudio sobre eficiencia técnica para la minería en México, planteado en Benita et al. (2012).

De acuerdo con la literatura revisada y a través de la especificación econométrica se encontró que la especialización productiva incide significativamente y de forma positiva en el desempeño de las actividades mineras en México. Este resultado es particularmente importante para el caso de Sonora, Coahuila, Chihuahua y Zacatecas, pues históricamente se han caracterizado por una estrecha vinculación con esta actividad. Particularmente, el caso de Chihuahua resulta interesante pues, aunque desde tiempos de la colonia el estado ha sido relevante en su producción de minerales metálicos, esta especialización no se vio reflejada en su grado de eficiencia, ya que para 1998 y 2008 su indicador se ubicó por debajo de la media nacional, y para 2004 se colocó apenas por encima de ésta. El hecho sugiere un análisis más profundo que permita hacer una comparación entre actividades extractivas específicas para identificar aquellas que son susceptibles de mejora.

Asimismo, las economías de escala, medidas a través del tamaño medio del establecimiento, son fuente importante de aglomeración, pues son presentadas como ahorros obtenidos por las empresas en función del tamaño de su planta. Este indicador mostró una relación positiva con el grado de eficiencia técnica, coincidiendo con lo que sugiere la teoría de la localización

en la cual, entre más grandes sean las firmas, mayores economías generan y mayor es la eficiencia. Por otro lado, variables que se pensaban resultarían importantes, como la dotación de recursos y la infraestructura, no resultaron ser significativas según el modelo propuesto. Sin embargo, especificaciones más amplias podrían validar la relevancia estadística de estos indicadores sobre los niveles de eficiencia.

Finalmente, para el caso de las entidades con vocación minera y resultados de eficiencia bajos, se considera que cuentan con las características necesarias y suficientes (infraestructura, especialización, recursos, etc.) que podrían dar origen a agrupamientos minero-industriales, alentando a la competencia y a la cooperación de empresas e instituciones que ofrecería ventajas en términos de eficiencia, eficacia y flexibilidad.

Bibliografía

- BENITA, Francisco Javier y GAYTÁN, Edgar David (2011). “Concentración de las industrias manufactureras en México: el caso de Zacatecas”, *Frontera Norte*, Vol. 23, No. 45, pp. 67-96.
- BENITA, Francisco Javier; GAYTÁN, Edgar David y RODALLEGAS, Mayra (2012). “Un estudio no paramétrico de eficiencia para la minería de Zacatecas, México”, *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, Vol. 14, pp. 54-75.
- CHARNES, Abraham; COOPER, William Wagery & RHODES, Edwardo Lao (1978). “Measuring the Efficiency of Decision Making Units”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, Issue 6. pp. 429-444.
- CHARNES, Abraham; COOPER, William Wagery & RHODES, Edwardo Lao (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.

- CHRISTALLER, Walter (1966). *Central Places in Southern Germany* (BASKIN, Carlisle. Trans.). New Jersey: Prentice Hall. (Original work published 1933)
- COELLI, Tim; PRASADA, O'Donnell Christopher & BATTESE, George Edward (Coord.) (1998). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. Boston: Academic Publishers.
- COLL, Vicente y BLASCO, Olga María (Coord.) (2006). *Evaluación de la eficiencia mediante el análisis de envolvente de datos, Introducción a los modelos básicos*. España: Universidad de Valencia.
- CORDERO, 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 para obtener el título de Doctor en Economía, Universidad de Extremadura, Extremadura, España.
- DÁVILA, Alejandro (2004). "México: concentración y localización del empleo manufacturero, 1980-1998", *Economía Mexicana, Nueva Época*, Vol. 13, No. 2, pp. 209-254.
- FESER, Edward & BERGMAN, Edward Monroe (2000). "National Industry Cluster Templates: A Framework for Applied Regional Cluster Analysis", *Regional Studies*, Vol. 34, No. 1, pp. 1-19.
- HERNÁNDEZ, Izabel Diana (2007). "Localización industrial en México", *Ensayos*, Vol. 26, No. 2, pp. 43-85.
- HIRSCHMAN, Albert Otto (1958). *The Strategy of Economic Development*. United States: Yale University Press.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI) (2001). *XV Censo Industrial. Censo Económico 1999*. Aguascalientes, México: Autor.
- _____ (2002). *Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte*, Aguascalientes, México: Autor

- _____ (2004). *La industria minera ampliada*. Aguascalientes, México: Autor.
- _____ (2005). *XVI Censo Industrial. Censo Económico 2004*. Aguascalientes, México: Autor.
- _____ (2007). *Metodología para las actividades del sector industrias manufactureras*. Aguascalientes, México: Autor.
- _____ (2010). *XVII Censo Industrial. Censo Económico 2009*. Aguascalientes, México: Autor.
- _____ (2012). *La minería en México 2012*. Aguascalientes, México: Autor.
- LAZARETTI, Luciana (2006). “Distritos industriales, clusters y otros: un análisis trespassing entre la economía industrial y la gestión estratégica”, *Economía industrial*, Vol. 1, No. 359, pp. 59-72.
- LIVAS, Raúl & KRUGMAN, Paul Robin (1996). “Trade Policy and the Third World Metropolis”, *Journal of Development Economics*, Vol. 49, No. 1, pp. 137-150.
- LÓPEZ, Ernesto (1960). *Ensayo sobre localización de la industria en México*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- NAPLES, Michele (1998). “Technical and Social Determinants of Productivity Growth in Bituminous Coal Mining”, *Eastern Economic Journal*, Vol. 24, No. 3, pp. 325-342.
- NAVARRO, Julio César y TORRES, Zacarías (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, Bertil Gotthard (1933). *Interregional and International Trade*. Cambridge, United States: Harvard University Press.
- SECRETARÍA DE ECONOMÍA DE MÉXICO (2006). *Informe Anual, Anuario de la Minería Mexicana*, México: Autor, Gobierno de México.

- THÜNEN, Johann Heinrich Von (1966). *Von Thünen's Isolated State* (WARTENBERG, Carla, Trans.). Oxford: Pergamon Press. (Original work published 1826).
- VERÓN, Topp; SOAMES, Leo; PARHAM, Dean & BLOCH, Harry (2008). "Productivity in the Mining Industry: Measurement and Interpretation", *Productivity Commission Staff Working Paper*.
- WEBER, Alfred (1971). *Theory of the Location of Industries* (FRIEDRIC, Carl, Trans.). New York: Russell & Russell. (Original work published 1909).