

# Las universidades en México: una medida de su eficiencia a través del análisis de la envolvente de datos con *bootstrap*

Universities in Mexico: a measure of its efficiency through data envelopment analysis with *bootstrap*

José César Lenin Navarro Chávez\*<sup>0</sup>, Rodrigo Gómez Monge\*\*, Zacarías Torres Hernández\*\*\*

## RESUMEN

Este documento presenta la eficiencia de 32 universidades públicas en México en 2012, instrumentando el análisis de la envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés), identificando la eficiencia técnica global, técnica pura y de escala, considerando, además, la técnica del *bootstrap* para darle robustez a los cálculos. Para medir esta eficiencia, autores como Nazarko & Saparauskas (2014), Ramírez & Alfaro (2013) y Cunha & Rocha (2012) han utilizado como *input* el financiamiento, mientras que como *outputs*, Agasisti & Pérez-Esparrells (2010) y Daghbashyan (2009) utilizan variables relativas a la enseñanza y a la investigación. Los resultados revelan que en promedio se tuvo un valor de 0.77 de eficiencia con DEA rendimientos variables a escala (VRS, por sus siglas en inglés) y de 0.71 con DEA rendimientos constantes a escala (CRS, por sus siglas en inglés), aplicando *bootstrap*, aunque ninguna universidad fue eficiente. La Universidad Autónoma de Querétaro es la que tuvo el valor más cercano al óptimo y del lado opuesto se encuentra la Universidad de Chapingo, que obtuvo el valor más bajo.

## ABSTRACT

This paper presents efficiency of 32 public universities in Mexico in 2012, instrumenting Data Envelopment Analysis (DEA), identifying overall technical, pure technical and scale efficiency, considering also bootstrapping technique to give strength to the scores. To measure this efficiency authors like Nazarko & Saparauskas (2014); Ramirez & Alfaro (2013); Cunha & Rocha (2012) have been used as input financing, while as outputs, Agasisti & Perez-Esparrells (2010), and Daghbashyan (2009), used variables relating to education and research. Results show that on average, it had a value of 0.77 of efficiency with VRS DEA and 0.71 with CRS DEA, using bootstrap. Although any university was efficient, the Autonomous University of Queretaro was the closest to optimum value and in the opposite side was University of Chapingo who obtained the lowest value.

Recibido: 30 de julio de 2015  
Aceptado: 3 de octubre de 2016

### Palabras clave:

Universidad; eficiencia técnica; DEA; *bootstrap*.

### Keywords:

University; technical efficiency; DEA; *bootstrap*.

### Cómo citar:

Navarro Chávez, J. C. L., Gómez Monge, R., & Torres Hernández, Z. (2016). Las universidades en México: una medida de su eficiencia a través del análisis de la envolvente de datos con *bootstrap*. *Acta Universitaria*, 26(6), 60-69. doi: 10.15174/au.2016.911

## INTRODUCCIÓN

La educación es un aspecto muy importante en el desarrollo de un país, ya que el capital humano es un factor determinante en el crecimiento económico. La política nacional de los últimos diez años ha dado mayor énfasis al fomento de la calidad académica, de ahí que muchos centros educativos hayan incorporado exámenes de selección para el ingreso y pongan en práctica proyectos de modernización de la infraestructura institucional y de innovación educativa, así como tareas de actualización de programas y formación del personal académico (Rodríguez, 2014).

La política educativa del país ha tenido como prioridad elevar la calidad educativa en sus diferentes niveles, instrumentando diversos programas para otorgarles infraestructura, mejorar los cuadros docentes, así como la calidad de su formación y su desempeño. Específicamente, el análisis de la

\* Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Calle La Pacanda núm. 265, Colonia Lomas de Vista Bella, Morelia, Michoacán, México, C.P. 58090 Tel. y fax: (52)443 3165131. Correo electrónico: cesar126@hotmail.com

\*\* Facultad de Economía Vasco de Quiroga, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Correo electrónico: rmonge@fevaq.net

\*\*\* Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Escuela Superior de Comercio y Administración, Instituto Politécnico Nacional. Correo electrónico: ztorresh@gmail.com

<sup>0</sup> Autor de correspondencia.

educación superior ha ido tomando fuerza, por lo que se han venido implementado algunas estrategias del Plan Nacional de Desarrollo para evaluar los programas educativos, con la finalidad de aumentar su nivel (López, Rodríguez & Ramírez, 2008).

México cuenta actualmente con un sistema de educación superior amplio y diverso, que incluye instituciones de educación superior públicas y particulares, tales como universidades, institutos tecnológicos, universidades tecnológicas, universidades politécnicas, universidades pedagógicas, universidades interculturales, centros de investigación, escuelas normales y centros de formación especializada (Secretaría de Educación Pública [SEP], 2014). La importancia de tener herramientas que ayuden a evaluar el nivel de eficiencia está siendo determinante para una adecuada implementación de políticas educativas que fortalezcan al sector en su nivel superior. Es en esta dirección que el presente estudio tiene como objetivo utilizar el análisis de la envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés) en la evaluación de la eficiencia en las universidades públicas de México en el 2012.

En la revisión de la literatura se encontraron diversos trabajos para medir la eficiencia en las universidades con la metodología DEA. Entre los más relevantes se encuentran: Guccio, Martorana & Mónaco (2014), quienes evalúan la eficiencia de la enseñanza de las universidades italianas y su efecto de las reformas educativas durante el periodo 2000-2010, utilizando DEA con el estadístico *bootstrap*. Nazarko & Šaparauskas (2014) realizan un estudio comparativo de eficiencia de 19 universidades en Polonia a través de un modelo DEA con rendimientos de escala constante, determinando los elementos que permiten mejorar la eficiencia en el gasto de la educación. Ramírez & Alfaro (2013) estimaron la eficiencia de las universidades chilenas, basando su estudio empírico en los datos financieros y de matrícula del 2011 y en los resultados obtenidos solo tres universidades fueron eficientes.

Kipesha & Msigwa (2013) evalúan la eficiencia de siete universidades públicas en Tanzania, donde se encontró que las universidades públicas son ineficientes en la generación de ingresos de consultorías, investigación, tasas de inversiones. Cunha & Rocha (2012) revisan la eficiencia de las instituciones públicas de educación superior de Portugal, encontrando que la mayoría de las instituciones están trabajando de manera ineficiente, lo que contribuye a una pérdida significativa de recursos. Wolszczak-Derlacz & Partek (2011) analizan la eficiencia y productividad total de los factores (PTF) con el índice *Malmquist* de 266 instituciones

públicas de educación superior (IES) de siete países europeos en el periodo 2001-2005, de las 266 universidades europeas examinadas, solo cuatro registraron mejoras anuales consistentes en la PTF y presentaron aumentos en los cambios de la eficiencia técnica.

Tzeremes & Halkos (2010) utilizan el DEA con la técnica *bootstrap* para determinar los niveles de rendimiento de los 16 departamentos de la universidad pública de Tesalia en Grecia, encontrándose una mala asignación de recursos e ineficiencias entre los departamentos de esta universidad. Agasisti & Pérez-Esparrells (2010) realizan un análisis de eficiencia de las universidades de Italia y España, donde, según los resultados, se tiene en general un promedio elevado de eficiencia en las universidades de ambos países; también realizan una medición de la productividad con el índice *Malmquist*, y en Italia el cambio en la productividad está dado por el cambio tecnológico, a diferencia de España, que fue el cambio en la eficiencia técnica lo que determinó la productividad en las universidades.

Kantabutra & Tang (2010) examinan el funcionamiento de las universidades públicas de Tailandia en términos de eficiencia; analizan dos modelos: el modelo de enseñanza y el modelo de investigación. Los resultados indican que las universidades autónomas superan a las universidades del gobierno en cuanto a la eficiencia de la investigación; además, las universidades en áreas provinciales y las facultades del grupo de ciencias de la salud son eficientes en términos de enseñanza.

Thanassoulis, Kortelainen, Johnes & Johnes (2009) analizan la eficiencia en las instituciones de educación superior en Inglaterra y evalúan su estructura de costos, la eficiencia técnica y la productividad; los resultados revelan que para la mayoría de las instituciones tienen ineficiencia económica, y en cuanto a la productividad no existe crecimiento en el periodo de estudio. Athanassopoulos & Shale (1997) comparan 45 instituciones de educación superior en el Reino Unido, donde revisan la eficiencia técnica, obteniendo en la mayoría de las universidades una mala optimización de los recursos, por lo que realizan propuestas para maximizar la cantidad de alumnos graduados, así como mayor número de publicaciones de los profesores. Sinuany-Stern, Mehrez & Barboy (1994) ejecutaron un estudio de caso donde se evaluaron los departamentos académicos en la Universidad Ben-Gurion, a través del DEA, utilizando el modelo de Charnes, Cooper y Rhodes (CCR); se aplicó también un análisis de *cluster* para dividir los departamentos en varios conjuntos,

observando que las áreas de ciencias sociales son más eficientes. Beasley (1990) hace una medición de la eficiencia en las universidades del Reino Unido en el área de investigación y de enseñanza en los departamentos de física y química, encontrándose que estos departamentos son de mayor el nivel de eficiencia en la investigación en la mayoría de las universidades.

La hipótesis del presente trabajo es que durante el 2012, las universidades públicas de nivel superior en México no fueron eficientes debido a que no se utilizaron de manera óptima el financiamiento para elevar la matrícula, los doctores, el número de doctores pertenecientes al Sistema Nacional de Investigadores (SNI), las publicaciones de artículos indexados en la base del portal *Web of Knowledge, Institute for Scientific Information (ISI)* y los graduados totales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar la frontera eficiente y así poder conocer las universidades ineficientes, su grado y origen, se pueden utilizar métodos paramétricos (modelos económicos) y no paramétricos (programación matemática) (Ahn, Charnes & Cooper, 1988).

La frontera se construye a través de la comparación de cada observación con la mejor práctica observada (la frontera), por lo que se desarrollan conceptos como la *eficiencia técnica*, que es la capacidad de utilizar insumos de manera tal que se maximiza la cantidad producida. La frontera se construye a partir de funciones de producción y su estimación informa sobre la ineficiencia técnica (Coelli, 1996).

### El análisis de la envolvente de datos (DEA)

La eficiencia analizada bajo el método no paramétrico del DEA fue iniciada por Farrell (1957) y reformulada como un problema de programación matemático por Charnes, Cooper & Rhodes (1978). Dado un número de unidades de producción, que son las unidades de manejo decisión (DMU, por sus siglas en inglés), se construye una frontera de eficiencia de la muestra de unidades de producción.

La metodología DEA pertenece al grupo de los denominados *métodos de frontera*, en los cuales se evalúa la producción respecto a las funciones de producción, donde por función de producción se entiende el máximo nivel de *output* alcanzable con una cierta combinación de *inputs*, o bien, el mínimo nivel de *inputs* necesario en la producción de un cierto nivel de *outputs* (Coelli, 1995).

La eficiencia de Farrell (1957), basada en la entrada o simplemente en la eficiencia de entrada de un plan de  $(x, y)$  con relación a una tecnología  $T$ , se define como:

$$E = \min \{E > 0 \mid (Ex, Y) \in T\}.$$

Asimismo, la producción basada en la eficiencia de Farrell (1957) o salida de eficiencia se define como:

$$E = \max \{F > 0 \mid (x, Fy) \in T\}.$$

Farrell (1957) centró el problema de la eficiencia en su estimación a partir de los datos observados en las unidades productivas, dotando de un marco analítico al concepto neoclásico de *eficiencia paretiana*. En su trabajo diferenció entre *eficiencia técnica* y *eficiencia asignativa*. En todo proceso de producción, la eficiencia técnica orientada a los *inputs* viene dada por el consumo de *inputs* mínimo necesario para lograr un determinado volumen de *outputs*. Por otra parte, una empresa es eficiente en precios o asignativamente cuando combina los *inputs* en la proporción que minimiza sus costos. En la primera se comparan los *inputs* y los *outputs* en unidades físicas, y en la segunda se añaden los precios de los factores de producción. La combinación de estos dos indicadores proporciona una medida de la eficiencia denominada *económica o global*.

Los modelos DEA pueden clasificarse en función de:

- El tipo de medida de eficiencia que proporcionan modelos radiales y no radiales.
- La orientación del modelo *input* orientado, *output* orientado o *input-output* orientado.
- La tipología de los rendimientos a escala caracteriza la tecnología de producción entendida como la forma en que los factores productivos pueden caracterizarse por la existencia de rendimientos a escala: constantes o variables.

### Eficiencia técnica

La literatura sobre la eficiencia técnica tiene su origen en los primeros años de la década de los cincuenta. La primera definición formal de la *eficiencia técnica* se debe a Koopmans (1951): “es aquella en donde un incremento en cualquiera de los *outputs*, exige una reducción en al menos de uno de los restantes o el incremento de alguno de los *inputs*”. La primera medida de la eficiencia técnica es propuesta por Debreu (1951) y Shephard (1953), aunque con diferente orientación (*output* e *input*, respectivamente).

El estudio de Farrell (1957) se complementa con los trabajos de Charnes *et al.* (1978), que partían de rendimientos de constantes a escala (CRS, por sus siglas en inglés) de forma tal que un cambio en los niveles de *inputs* conlleva a un cambio proporcional en el nivel del *output*, el cual requiere tantas optimizaciones como DMU. Puede escribirse el modelo DEA en términos generales en tres formas: fraccional, multiplicativa y envolvente. El modelo CRS en su forma envolvente es el siguiente:

$$\theta^* = \min \theta \lambda \theta$$

$$\text{St. } Y\lambda \geq Y_i$$

$$X\lambda \leq \theta X_i$$

$$\lambda \geq 0.$$

Donde  $\theta$  indica la distancia en *inputs* a la envolvente de datos, es decir, la medida de eficiencia.  $X$  es la matriz de *inputs*,  $Y$  es la matriz de *outputs*,  $\lambda$  es el vector de pesos o intensidades,  $X_i$ ,  $Y_i$  representan los valores de *inputs* y *outputs*, respectivamente.

Posteriormente, Banker, Charnes & Cooper (1984) extendieron el modelo original para incluir rendimientos variables a escala (VRS, por sus siglas en inglés), considerando que diversas circunstancias como la competencia imperfecta, las restricciones en el acceso a fuentes de financiación, etcétera, pueden provocar que las unidades no operen a escala óptima. Este modelo propone una modificación al programa lineal original a la cual se le agrega una restricción:

$$N1' \lambda = 1$$

$N1$  es vector unitario  $N \times 1$ ,  $\lambda$  es el vector de las intensidades donde se restringe el rango de valores que pueden tomar los componentes del vector de manera que sumen uno.

Esta restricción permite que una unidad ineficiente solo sea comparada con unidades productivas de su mismo tamaño. Sin esta restricción, las unidades evaluadas pueden ser comparadas con otras unidades mayores o menores.

El modelo con orientación *input* en su forma envolvente es el siguiente:

$$\theta^* = \min \theta \lambda \theta$$

$$\text{St. } Y\lambda \geq Y_i$$

$$X\lambda \leq \theta X_i$$

$$N1' \lambda = 1$$

$$\lambda \geq 0.$$

A la eficiencia técnica medida bajo rendimientos variables se le designa también *eficiencia técnica pura*, porque no se incluye en esta medición ningún efecto de escala (Thanassoulis, 2001). Por lo que a partir de la propuesta de Banker *et al.* (1984) se puede descomponer la eficiencia de la siguiente manera:

Eficiencia técnica global:

a) Eficiencia técnica pura

b) Eficiencia técnica de escala

### Eficiencia de escala (EE)

La eficiencia de escala mide el impacto del tamaño de la escala en la productividad de una DMU. Para poder realizarlo se deben calcular los dos modelos: CRS y VRS con los mismos datos; si existe una diferencia para las dos mediciones para una DMU en particular, entonces significa que esa DMU posee ineficiencia de escala y que el valor de ineficiencia es la diferencia entre la medición CRS y VRS (Coll & Blasco, 2006).

La eficiencia técnica global (ETG) puede ser descompuesta en eficiencia técnica pura (ETP) y eficiencia de escala (EE).

Por lo tanto, la  $ETG = ETP * EE$ .

Asimismo, la eficiencia de escala se puede definir de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia de Escala} = \frac{(\text{Eficiencia Técnica Global})}{(\text{Eficiencia Técnica Pura})}$$

### Análisis estadístico *bootstrap* para los modelos DEA

Una de las críticas al modelo DEA es que asume que todas las distancias entre las eficiencias observadas y la frontera eficiente reflejan ineficiencia. De cualquier manera, la distancia de una observación de la frontera eficiente muestra ineficiencia y ruido. Esto es porque la observación *input-output* debería estar normalmente sujeta al error.



El *bootstrap* es una herramienta estadística que fue introducida por Efron (1979) para analizar la sensibilidad de las medidas de eficiencia a una muestra de variación. Posteriormente, Simar (1992) proporcionó la primera aplicación que, en un contexto de frontera, se sirvió del *bootstrap* al incorporarlo a la estimación semiparamétrica de modelos de datos de panel. Sin embargo, la adaptación consistente del *bootstrap* a estimaciones del DEA fue formulada por primera vez por Simar & Wilson (1998).

El DEA, en lo que llamamos el *mundo real*, estima, mediante la muestra, una frontera de producción, y respecto a ella obtiene las medidas de eficiencia. Esta frontera, sabemos, que por construcción se va a situar en el interior del verdadero conjunto de posibilidades de producción. Es decir, entre la verdadera función de producción y la estimada por el DEA va a existir un sesgo. Este sesgo va a ser diferente en cada empresa, y es el que vamos a aproximar con el *bootstrap*.

Para ello se necesita generar una muestra con la que se pueda obtener una estimación del verdadero valor de la función de la frontera y así poder determinar el sesgo que cada empresa puede tener, restando a la eficiencia estimada con el DEA original la obtenida con el *bootstrap*. Si repetimos este proceso varias veces, tendremos infinitas fronteras *bootstrap* que se comparan siempre con la misma frontera verdadera. Para cada empresa, por tanto, tendremos infinitas mediciones de eficiencia *bootstrap*, y si hemos estimado con propiedad el proceso generador de datos, la distribución del sesgo *bootstrap* de cada empresa debe ser similar al que se presenta en el mundo real (Simar & Wilson, 2004).

La eficiencia *bootstrap* que nos interesa es aquella eficiencia que se observa para la empresa de la muestra original, que hemos denominado  $(x_0; y_0)$ , con respecto a esta nueva estimación. Es decir:

$$\hat{\theta}^*(x_0, y_0)_{RVS} = \inf \{ \theta \mid (\theta x_0, y_0) \in \hat{\Psi}_{RVS}^* \}.$$

La resolución con programación lineal de la eficiencia *bootstrap*  $\hat{\theta}^*(x_0, y_0)_{RVS}$  es entonces:

$$\hat{\theta}^*(x_0, y_0)_{RVS} = \min \{ \theta > 0 \mid \theta x_0 \geq \sum_{j=1}^n \gamma_j x_j^*, y_0 \leq \sum_{j=1}^n \gamma_j y_j^*, \sum_{j=1}^n \gamma_j = 1, \gamma_j \geq 0 \}.$$

donde se observa como el único punto desde donde medimos la eficiencia  $(x_0, y_0)$ , y esta eficiencia se observa en referencia a la frontera construida con la muestra especificada.

## Desarrollo del modelo

Se desarrolla un modelo DEA para calcular la ETG, la ETP y EE con rendimientos de escala constantes CRS y rendimientos de escala variables VRS con orientación *input*.

Posteriormente, para darle robustez a los cálculos de eficiencia, se aplica la técnica *bootstrap*. Para ello se genera una muestra de los resultados obtenidos en los cálculos de eficiencia técnica y se repite el procedimiento un elevado número de veces para asegurarnos que el sesgo calculado con la muestra *bootstrap* corresponda con la frontera real. Simar & Wilson (2000) recomiendan remuestrear 2000 interacciones, por lo que en el caso de esta investigación se realizó esta cantidad de interacciones para tener resultados más fidedignos.

Para la selección de los DMU se identificaron 32 universidades públicas de México para el 2012, utilizando como criterio aquellas que recibieron financiamiento federal o estatal, quedando la muestra en la tabla 1.

## Selección de *inputs* y *outputs*

De acuerdo con la revisión de la literatura realizada, se encontraron los siguientes autores que han utilizado como *input* el financiamiento: Athanassopoulos & Shale (1997), Beasley (1990), Cunha & Rocha (2012), Nazarko & Sapauskas (2014), Ramírez & Alfaro (2013), Sinuany-Stern *et al.* (1994), Thanassoulis *et al.* (2009), Tomkins & Green (1988). La selección de este *input* se hizo con la finalidad de saber qué tan eficientemente se utilizaron los recursos financieros en las universidades.

En cuantos a los *outputs*, diversos autores han contemplado variables relativas a la enseñanza y la investigación. La mayoría de los estudios que analizan la parte de la enseñanza de las universidades se centran en el número de graduados a nivel licenciatura y a nivel de posgrado, como en el caso de Agasisti & Pérez-Esparrrells (2010), Johnes (2008), Kantabutra & Tang (2010) y Wolszczak-Derlacz & Parteka (2011). Otra variable utilizada en el área de la enseñanza es la cantidad de alumnos matriculados a nivel licenciatura o posgrado, lo que se encuentra contemplado en los trabajos de Agasisti & Dal Bianco (2009), Beasley (1990), Ramírez & Alfaro (2013), Thanassoulis *et al.* (2009), Tomkins & Green (1988).

**Tabla 1.**  
 Universidades públicas de México

1	Universidad Nacional Autónoma de México
2	Instituto Politécnico Nacional
3	Universidad de Guadalajara
4	Universidad Autónoma de Nuevo León
5	Universidad Autónoma Metropolitana
6	Universidad Autónoma de Baja California
7	Universidad Autónoma del Estado de México
8	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
9	Universidad Autónoma de Chihuahua
10	Universidad Autónoma de Sinaloa
11	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
12	Universidad Autónoma de Tabasco
13	Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
14	Universidad Autónoma de Tamaulipas
15	Universidad de Guanajuato
16	Universidad de Sonora
17	Universidad Autónoma de Querétaro
18	Universidad Autónoma de Coahuila
19	Universidad Autónoma de San Luis Potosí
20	Universidad Autónoma de Zacatecas
21	Universidad Autónoma de Aguascalientes
22	Instituto Tecnológico de Sonora
23	Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca
24	Universidad del Estado de Durango
25	Universidad de Colima
26	Universidad Autónoma de Nayarit
27	Universidad Autónoma de Chapingo
28	Universidad Autónoma de Baja California Sur
29	Universidad Veracruzana
30	Universidad Autónoma de Campeche
31	El Colegio de México
32	Universidad de Quintana Roo

Fuente: Elaboración propia con base en Estudios Comparativos de Universidades Mexicanas (ECUM), 2014.

En el área de investigación, las variables más utilizadas son la publicación de artículos en revistas con factor de impacto, número de profesores y número de profesores con grado de doctor, considerado por autores como Ramírez & Alfaro (2013) y Daghbashyan (2009).

El modelo DEA queda estructurado de la siguiente manera:

#### Inputs:

- Financiamiento.

#### Outputs:

- Matrícula total (total de alumnos de licenciatura y posgrado).

- Graduados total (total de alumnos graduados a nivel licenciatura y posgrado).
- Docentes (total de profesores docentes en las universidades).
- Doctores (total de profesores con grado de doctor).
- Doctores en el SNI (número de académicos que participan en el SNI del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [Conacyt]).
- Publicación de artículos ISI (número de artículos registrados en el índice bibliográfico ISI-Thomson).

Para la parte de financiamiento, se contemplan los siguientes rubros: subsidio ordinario federal, subsidio ordinario estatal, subsidio extraordinario federal y subsidio extraordinario estatal. De esta manera, las universidades consideradas en la presente investigación fueron aquellas que cumplieron con este criterio. Cabe aclarar que en México el presupuesto de las universidades públicas se integra a partir de varias fuentes de financiamiento: las aportaciones suministradas por el gobierno federal, a través del presupuesto aprobado por el Congreso; las aportaciones de los gobiernos estatales; los recursos extraordinarios provenientes de diversos fondos y programas de los gobiernos federal y estatal; y los recursos autogenerados de las instituciones (ECUM, 2014).

## RESULTADOS

Se observa en los resultados, mostrados en la tabla 2, que el promedio de la eficiencia técnica con rendimientos variables del modelo original es de 0.87, y con la aplicación del *bootstrap* es de 0.77, y en el caso de la eficiencia con rendimientos constantes el modelo original tuvo un promedio de eficiencia del 0.80 y con el *bootstrap* aplicado fue de 0.71.

Después de haber aplicado la técnica *bootstrap* en los modelos VRS y CRS, ninguna de las universidades obtuvo un valor eficiente, sin embargo, la Universidad Autónoma de Querétaro fue la que alcanzó el valor más cercano al óptimo 0.93, en el lado opuesto la Universidad Autónoma de Chapingo fue la menos eficiente. En cuanto a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, se ubicó en el lugar 9° con un 0.87 de eficiencia.

Los resultados de la eficiencia de escala fueron los mayores con un promedio de eficiencia ya ajustado (una vez aplicado el *bootstrap*) de 0.94, lo que significa

que la mayoría de las universidades tuvieron una escala de producción óptima. Sin embargo, se tiene que técnicamente no son eficientes debido a que de las 32 universidades analizadas, el 0.78 pueden operar con menos insumos, es decir, requieren de menos financiamiento en proporción a la matrícula, doctores,

doctores en el SNI, publicaciones, graduados que actualmente están manejando. En el caso específico de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo puede ser eficiente con \$91.46 millones de pesos menos de los que está recibiendo en proporción a los productos ya mencionados.

**Tabla 2.**  
Eficiencia en las universidades públicas de México, 2012.

Universidad	Eficiencia técnica pura	Eficiencia técnica pura con bootstrap	Eficiencia técnica global	Eficiencia técnica global con bootstrap	Eficiencia de escala	Eficiencia de escala con bootstrap
Universidad Nacional Autónoma de México	1	0.79351	0.8438	0.7623	0.844	0.96072
Instituto Politécnico Nacional	0.762537	0.69922	0.5587	0.5116	0.733	0.73161
Universidad de Guadalajara	1	0.9179	0.616	0.5677	0.616	0.61849
Universidad Autónoma de Nuevo León	1	0.82419	0.8386	0.7669	0.839	0.93045
Universidad Autónoma Metropolitana	1	0.79487	1	0.8182	1	1.02931
Universidad Autónoma de Baja California	1	0.80847	1	0.847	1	1.04763
Universidad Autónoma del Estado de México	1	0.89302	0.9635	0.9069	0.964	1.0156
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	0.728757	0.67357	0.6675	0.6205	0.916	0.92115
Universidad Autónoma de Chihuahua	1	0.79571	1	0.7275	1	0.91422
Universidad Autónoma de Sinaloa	0.749424	0.69282	0.6839	0.6465	0.913	0.93314
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	1	0.87217	1	0.8677	1	0.99482
Universidad Autónoma de Tabasco	0.920515	0.88122	0.9105	0.8595	0.989	0.97536
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo	0.941377	0.87944	0.9385	0.8532	0.997	0.97013
Universidad Autónoma de Tamaulipas	0.682923	0.63246	0.6803	0.6144	0.996	0.97145
Universidad de Guanajuato	1	0.87992	1	0.8321	1	0.94561
Universidad de Sonora	0.865785	0.81333	0.8544	0.7878	0.987	0.96865
Universidad Autónoma de Querétaro	0.97641	0.92571	0.9696	0.9011	0.993	0.97342
Universidad Autónoma de Coahuila	0.549291	0.52251	0.5394	0.5002	0.982	0.9573
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	1	0.86813	1	0.8444	1	0.97263
Universidad Autónoma de Zacatecas	0.805131	0.76148	0.7966	0.7398	0.989	0.97156
Universidad Autónoma de Aguascalientes	0.880882	0.82476	0.8559	0.7824	0.972	0.9487
Instituto Tecnológico de Sonora	1	0.90043	0.9895	0.9098	0.989	1.01039
Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca	0.592455	0.5627	0.5674	0.5224	0.958	0.92839
Universidad del Estado de Durango	0.766067	0.7231	0.7438	0.6936	0.971	0.95919
Universidad de Colima	0.664381	0.62751	0.6508	0.6072	0.98	0.96764
Universidad Autónoma de Nayarit	0.810678	0.74426	0.7288	0.6174	0.899	0.8296
Universidad Autónoma de Chapingo	0.460662	0.42899	0.4189	0.3704	0.909	0.86348
Universidad Autónoma de Baja California Sur	1	0.82377	0.9086	0.8452	0.909	1.02602
Universidad Veracruzana	0.88905	0.83	0.7687	0.6782	0.865	0.81711
Universidad Autónoma de Campeche	0.804794	0.74586	0.5844	0.523	0.726	0.70123
El Colegio de México	1	0.79907	1	0.6991	1	0.87489
Universidad de Quintana Roo	1	0.89212	0.74	0.6812	0.74	0.7636
<b>Promedio</b>	<b>0.870347469</b>	<b>0.776006875</b>	<b>0.806815625</b>	<b>0.7157875</b>	<b>0.927375</b>	<b>0.921671563</b>

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA.

## DISCUSIÓN

Se han desarrollado diversos estudios sobre eficiencia en las universidades utilizando la metodología del DEA, midiendo la eficiencia con rendimientos constantes, rendimientos variables y en algunos casos utilizan el estadístico *bootstrap*, pero todos ellos difieren del trabajo que se está presentando porque se realiza la medición de la eficiencia técnica pura, técnica de escala y técnica global con *bootstrap*, utilizando como *input* financiamiento y como *outputs*: docentes, matrícula total, doctores, doctores en el SNI, publicación de artículos ISI y graduados total.

Los siguientes autores calculan la eficiencia técnica, pero ninguno de ellos utiliza el estadístico *bootstrap*. Ramírez & Alfaro (2013) estimaron la eficiencia técnica con rendimientos constantes a escala de las universidades chilenas para el 2011, utilizando como *inputs* los gastos operativos y como *outputs* publicaciones ISI y número de estudiantes matriculados. También Cunha & Rocha (2012) hacen un análisis de la eficiencia técnica con rendimientos constantes a escala de las instituciones de educación superior en Portugal en el 2008, usando como *inputs* el total de financiamiento por estudiante, el total de gasto por estudiante y el personal académico por estudiante, y como *output* el total de estudiantes graduados, el total de estudiantes graduados de doctorados premiados y el número total de cursos.

Kipesha & Msigwa (2013) evaluaron la eficiencia técnica con rendimientos constantes a escala, eficiencia técnica con rendimientos variables a escala y eficiencia de escala, de siete universidades públicas que operan en Tanzania. Utilizan tres modelos: en el primero los *inputs* son la matrícula total, personal académico, el total de personal no académico, y utilizan como *outputs* número de graduados universitarios, licenciados y titulados de postgrado de manera conjunta; el segundo modelo considera las mismas variables de entrada y como *output* la recaudación interna generada; en el tercer modelo, de igual manera, tiene las mismas variables de entrada, pero para los *outputs* combina las variables de salida de los dos primeros modelos.

En los siguientes casos, los autores calculan la eficiencia técnica utilizando *bootstrap*, pero en ninguna situación se presentan los resultados desagregados como en esta investigación. Nazarko & Sapauskas (2014) realizaron un estudio de las universidades de Polonia, midiendo la eficiencia técnica con rendimientos constantes a escala aplicando el estadístico *bootstrap*. Considerando como *inputs*: presupuesto, número

de profesores, número de empleados; y como *outputs*: número de estudiantes de tiempo completo, número de estudiantes de doctorado de tiempo completo, porcentaje de estudiantes internacionales, porcentaje de estudiantes con beca, porcentaje de estudiante con beca de gobierno, preferencia del empleador para contratar egresados, evaluación paramétrica de los logros académicos de la facultad.

Tzeremes & Halkos (2010) hicieron un estudio para medir la eficiencia técnica con rendimientos constantes a escala y rendimientos variables a escala con *bootstrap*, con el fin de determinar los niveles de rendimiento de 16 departamentos de la universidad de Grecia, utilizaron como *inputs* personal académico, personal auxiliar, número de estudiantes, recursos para investigación; y como *outputs* número de graduados y número de publicaciones. También los autores Guccio *et al.* (2014) realizan una investigación donde calculan la eficiencia con rendimientos a escala constantes y rendimientos a escala variables con *bootstrap* de las universidades italianas, utilizando variables de enseñanza e investigación

Como se puede observar, todos los modelos son diferentes al estudio que aquí se presenta, ya que en ninguno se calcula de manera integral la eficiencia técnica con rendimientos constantes, la eficiencia técnica con rendimientos variables, la eficiencia de escala y la instrumentación del *bootstrap* en los tres casos. Asimismo, existen diferencias en los *inputs* y *outputs* considerados entre este trabajo y los modelos revisados. Es decir, esta investigación comprende un análisis más completo de eficiencia, que permite identificar si se tiene una adecuada utilización de los recursos en el sector educativo. De tal forma, que a partir de ello se puedan planear y organizar los recursos humanos —docentes y estudiantes— y financieros, con la finalidad de fortalecer la docencia y la investigación en las universidades de México.

## CONCLUSIONES

En el documento se presenta la medición de la eficiencia técnica en las universidades públicas de México en el 2012, a través del modelo de DEA, aplicando la técnica *bootstrap* para darle robustez a los datos.

Para el cálculo de la eficiencia DEA se desarrolla un modelo de rendimientos constantes a escala y rendimientos variables a escala con orientación *input*. Los DMU que se utilizaron fueron 32 universidades públicas del país, utilizando como *input* el total de financiamiento recibido federal y estatal y como *outputs*



la matrícula total, el número de doctores que son doctores, el número de doctores en el SNI, las publicaciones de artículos ISI y el total de graduados.

Los modelos DEA VRS y CRS con *bootstrap* tuvieron un nivel de ineficiencia de 22% y 28%, respectivamente. Por lo que la hipótesis se cumple, ya que los resultados dan cuenta de que las universidades públicas de nivel superior de México no fueron eficientes durante el 2012, debido a que no se utilizó de manera óptima el financiamiento para elevar la matrícula, el número de doctores, el número de doctores pertenecientes al SNI, las publicaciones de artículos ISI y los graduados totales.

Con respecto a las diferentes investigaciones que se han efectuado en las mediciones de la eficiencia en las universidades, se observa que en este trabajo se presenta un mayor nivel de desagregación al considerar la EFP, de EE, ETG y la aplicación del *bootstrap*. Esta última técnica no ha sido contemplada en otros estudios en el ámbito educativo en su nivel superior en México.

La evaluación de la eficiencia de las universidades a través la metodología no paramétrica del DEA permitió calcular la eficiencia técnica con rendimientos constantes, la eficiencia técnica con rendimientos variables y la eficiencia de escala. De esta manera, se pudo determinar qué tan eficiente utilizaron los recursos financieros las universidades, en función de los alumnos matriculados, de los alumnos graduados, de los profesores con grado de doctor, de los profesores en el SNI y de las publicaciones en revistas con factor de impacto. Estos resultados proporcionan elementos para la implementación de políticas educativas que fortalezcan en específico a cada universidad, y así eleven su nivel educativo y formen recursos humanos que fomenten el desarrollo social y económico de su estado.

Con los resultados obtenidos y la revisión bibliográfica realizada se identifican más áreas que permiten fortalecer este tipo de estudios, como es el uso de otras metodologías con fronteras estocásticas, así como el análisis de más instituciones de educación superior, como puede ser el ampliar las investigaciones a otros países de América Latina, de Europa y de Asia.

## REFERENCIAS

- Agasisti, T., & Dal Bianco, A. (2009). Reforming the University Sector: Effects on Teaching Efficiency Evidence from Italy. *Higher Education*, 57(4), 477-498.
- Agasisti, T., & Pérez-Esparrells, C. (2010). Comparing efficiency in a cross-country perspective: the case of Italian and Spanish State Universities. *Higher Education*, 59(1), 85-103.
- Ahn, T., Charnes, A., & Cooper, W. (1988). Some Statistical and DEA Evaluation of Relative Efficiencies of Public and Private Institutions of Higher Education. *Socio-Economic Planning Sciences*, 22(6), 259-269.
- Athanassopoulos, A., & Shale, E. (1997). Assessing the comparative efficiency of higher education institutions in the UK by the means of Data Envelopment Analysis. *Education Economics*, 5(2), 117-134.
- Banker, R., Charnes, A., & Cooper, W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
- Beasley, J. E. (1990). Comparing university departments. *OMEGA*, 18(2), 171-183.
- Charnes A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the Efficiency of Decision-making Units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.
- Coelli, T. J. (1995). Recent Developments in Frontier Modelling and Efficiency Measurement. *Australian Journal of Agricultural Economics*, 39(3), 219-245.
- Coelli, T. J. (1996). *A guide to FRONTIER version 4.1*. Centre for Efficiency and Productivity Analysis. Working Paper no. 7/96, University of New England, Armidale, Australia.
- Coll, V., & Blasco, O. (2006). *Frontier Analyst. Una herramienta para medir la eficiencia* (edición electrónica). Recuperado el 16 de octubre de 2014 de <http://www.eumed.net/libros/2006c/206/>
- Cunha, M., & Rocha, V. (2012). *On the Efficiency of Public Higher Education Institutions in Portugal: An Exploratory Study*. FEP Working Papers 468, Universidade do Porto, Faculdade de Economia do Porto.
- Daghbashyan, Z. (2009). Do university units differ in the efficiency of resource utilization? *Working Paper Series in Economics and Institutions of Innovation*, No, 176, Royal Institute of Technology, CESIS.
- Debreu, G., (1951). The Coefficient of Resource Utilization. *Econometrica*, 19(3), 273-292.
- Estudios Comparativos de Universidades Mexicanas (ECUM). (2014). *Metodología, financiamiento*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado el 20 de junio de 2015 de <http://www.ecum.unam.mx/?q=node/3>
- Efron, B. (1979). Bootstrap Methods: Another Look at Jackknife. *The Annals of Statistics*, 7(1), 1-26.
- Farrell, M. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Serie A*, 120, Part III, 253-267.
- Guccio, C., Martorana, M. F., & Mónaco, L. (2014). Efficiency and Productivity Trends of Italian Universities: a Bootstrapped DEA Approach. *Munich Personal RePEc Archive (MPRA)* Paper No. 56673. Recuperado de <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/56673/>
- Johnes, J. (2008). Efficiency and Productivity Change in the English Higher Education Sector from 1996/97 to 2004/05. *The Manchester School*, 76(6), 653-674.
- Kantabutra, S., & Tang, J. C. S. (2010). Efficiency analysis of public universities in Thailand. *Tertiary Education and Management*, 16(1), 15-33.

- Kipsha, E., & Msigwa, R. (2013). Efficiency of Higher Learning Institutions: Evidences from Public, Universities in Tanzania. *Journal of Education and Practice*, 4(7), 63-73.
- Koopmans, T. (1951). Efficient Allocation of Resources. *Econometrica*, 19(4), 455-465.
- López, A., Rodríguez, A., & Ramírez, L. (2008). Eficiencia técnica en la educación superior, la necesidad de un nuevo paradigma. *Revista de Educación Superior*, 37(146), 135-151.
- Nazarko, J., & Saparauskas, J. (2014). Application of DEA Method in Efficiency Evaluation of Public Higher Education Institutions. *Technological and Economic development of Economy*, 20(1), 25-44.
- Ramírez, P., & Alfaro, J. (2013). Evaluación de la eficiencia de las universidades pertenecientes al Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas: Resultados de un análisis envolvente de datos. *Formación Universitaria*, 6(3), 31-38.
- Rodríguez, R. (2014). Educación superior y política de transición en México. *Revista de Educación Superior*, 43(171), 9-36.
- Shephard, R. (1953). *Cost and Production Functions*. Princeton University Press: Princeton.
- Secretaría de Educación Pública (SEP). (2014). *Educación en México*. Recuperado de <http://educacion.michoacan.gob.mx/>
- Simar, L. (1992). Estimating Efficiencies from Frontier Models with Panel Data: A Comparison of Parametric, Non-Parametric and Semi-Parametric Methods with Bootstrapping. *Journal of Productivity Analysis*, 3(1), 171-203.
- Simar, L., & Wilson, P. (1998). Sensitivity Analysis of Efficiency Scores: How to Bootstrap in Nonparametric Frontier Models. *Management Science*, 44(1), 49-61.
- Simar, L., & Wilson, P. (2000). A general Methodology for Bootstrapping in Non-parametric Frontier Models. *Journal of Applied Statistics*, 27(6), 779-802.
- Simar, L., & Wilson, W. (2004). Performance of the Bootstrap for DEA Estimators and Iterating the Principle. En W. W. Cooper, M. L. Seiford & J. Zhu (Ed.). *Handbook on Data Envelopment Analysis* (pp. 265-298). Kluwer Academic Publishers.
- Sinuany-Stern, Z., Mehrez, A., & Barboy, A. (1994). Academic departments efficiency via DEA. *Computers & Operations Research*, 21(5), 543-556.
- Thanassoulis, E. (2001). *Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis, A foundation text with integrated software*. England: Springer, Birmingham.
- Thanassoulis, E., Kortelainen M., Johnes, G., & Johnes, J. (2009). *Costs and Efficiency of Higher Education Institutions in England: A DEA Analysis*. Lancaster University: The Department of Economics, Working paper.
- Tomkins, C., & Green, R. (1988). An experiment in the use of data envelopment analysis for evaluating the efficiency of UK university departments of accounting. *Financial Accountability & Management*, 4(2), 147-164.
- Tzeremes, N., & Halkos, G. (2010). A DEA Approach for Measuring University Departments' Efficiency, *Munich Personal RePEc Archive (MPRA)* Paper No. 24029. Recuperado el 3 de junio de 2016 de <http://mpr.a.ub.uni-muenchen.de/24029/>
- Wolszczak-Derlacz, J., & Parteka, A. (2011). Efficiency of European public higher education institutions: a two-stage multicountry approach. *Scientometrics*, 89(3), 887-917.