

Cómo citar este artículo: Buitrago, O. Y., Espitia, A.A. & Molano, L. (2017, enero-junio). Análisis envolvente de datos para la medición de la eficiencia en instituciones de educación superior: una revisión del estado del arte. *Rev. Cient. Gen. José María Córdova* 15(19), 147-173. DOI: <http://dx.doi.org/10.21830/19006586.84>



Análisis envolvente de datos para la medición de la eficiencia en instituciones de educación superior: una revisión del estado del arte*

DOI: <http://dx.doi.org/10.21830/19006586.84>

Recibido: 3 de julio de 2016 • Aceptado: 2 de noviembre de 2016

Data Envelopment Analysis for Efficiency Measurement on Higher Education Institutions: a State of the Art Review

Analyse entourent de données pour la mesure de l'efficacité dans les institutions d'éducation supérieure: une révision de l'état de l'art

Análise envolvente de dados para a medição da eficiência das instituições de educação superior: uma revisão do estado de arte

Oscar Yecid Buitrago Suescún^a
Anny Astrid Espitia Cubillos^b
Lisbeth Molano García^c

* Artículo derivado del proyecto de investigación titulado "Medición de eficiencia y productividad de los programas de pregrado de la Universidad Militar Nueva Granada aplicando análisis envolvente de datos", con código INV-ING-1542, financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada UMNG - Vigencia 2014, del grupo de investigación PIT (Productividad, innovación y tecnología).

^a Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Ingeniero Químico de la Universidad Nacional de Colombia, magíster en Ingeniería Industrial de la Universidad de Los Andes, candidato a doctor en ingeniería de la Universidad de Carabobo, docente de tiempo completo de Ingeniería Industrial de la Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá (Colombia) <oscar.buitrago@unimilitar.edu.co>

^b Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Ingeniera Industrial de la Universidad Militar Nueva Granada, magíster en Ingeniería Industrial de la Universidad de Los Andes, candidata a doctora en ingeniería de la Universidad de Carabobo, docente de tiempo completo de Ingeniería Industrial de la Universidad Militar Nueva Granada, líder del grupo de investigación GINTECPRO de la Universidad El Bosque, Bogotá (Colombia). <anny.espitia@unimilitar.edu.co>

^c Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Ingeniera Industrial de la Universidad Militar Nueva Granada. <lismolano_211@hotmail.com>



Resumen. Este trabajo analiza los estudios más significativos a nivel mundial sobre medición de la eficiencia en instituciones de educación superior (IES), que para tal fin utilizan *Análisis Envolvente de Datos*. Para cada estudio se consideran las siguientes características: modelo seleccionado, orientación del modelo, entradas y salidas, resultados principales, conclusiones y empleo de algún método complementario. Se analizan estadísticamente los modelos y características estudiadas en las investigaciones citadas, destacando las pautas más usadas. Se espera que los resultados sean útiles para brindar una base a futuros investigadores sobre la forma de realizar la medición de eficiencia y el cálculo de índices de productividad, usando esta metodología según sus necesidades y requerimientos específicos. Se concluye que DEA se ha utilizado ampliamente para medir la eficiencia de la educación a nivel mundial, identificando 254 entradas y 230 salidas que para el análisis se agruparon en cuatro y tres categorías, respectivamente.

Palabras Claves: Eficiencia de la educación, Análisis input-output, Rendimiento de la educación, Optimización, Programación Lineal (Fuente: Tesoro de la Unesco).

Abstract. This paper analyze the most significant studies done globally of the efficiency measurement on higher education institutions (IES in Spanish), which for this purpose use Data Envelopment Analysis. Within each study the characteristics considered are: selected model, model guidance, inputs and outputs, main findings, conclusions and the use of a complementary method. Models and characteristics studied in the papers are statistically analyzed, highlighting patterns used by most authors. Results are expected to be useful to provide a basis for future research on how to assess the efficiency measurement and productivity indices through this methodology. As a conclusion, DEA has been extensively used to measure the efficiency of education globally, 254 input variables were identified and divided into four categories and 230 output variables were identified and grouped into three categories for analysis.

Keywords: Educational efficiency, Input output analysis, Educational output, Optimization, Linear programming (Source: Unesco Thesaurus)

Résumé. Ce travail analyse les études plus significatives au niveau mondial sur la mesure de l'efficacité dans les institutions d'éducation supérieure (IES) à travers de l'analyse entourent de données (DEA). Pour chaque étude se sont considérées les suivantes caractéristiques: le modèle sélectionné, l'orientation du modèle, les entrées et les sorties, les résultats principaux, les conclusions et l'utilisation d'une méthode complémentaire. Se sont analysé statistiquement les modèles et les caractéristiques étudiées dans les recherches mentionnées en mettant en évidence les aspects les plus utilisés. S'attend que les résultats soient utiles pour fournir une base aux futures investigateurs sur la façon de réaliser la mesure de l'efficacité et le calcul des indicateurs de productivité en utilisant cette méthodologie, selon leurs nécessités et leurs particularités. C'est conclu que le DEA a été assez utilisé pour la mesure de l'efficacité de l'éducation au niveau mondial, en identifient 254 variables d'entrée et 230 de sortie que pour l'analyse se sont groupées en quatre et trois catégories respectivement.

Mot clés: Efficacité de l'éducation, analyses input-output, performance de l'éducation, optimisation, programmation linéal (Font: Trésor de l'UNESCO)

Sumário. Este trabalho analisa os estudos mais significativos a nível mundial sobre a medição da eficiência das instituições de educação superior (IES) a traves do analise envolvente de dados (DEA). Para cada estudo se há considerado as seguintes características: o modelo selecionado, a orientação do modelo, as entradas e saídas, os resultados principais, as conclusões e a utilização de algum método complementar. Se há analisado estatisticamente os modelos e as características estudadas em as investigações mencionadas mostrando em evidencia os aspetos mais utilizados. Se espera que os resultados sejam úteis para fornecer uma base para os futuros investigadores sobre a fação de realizar a medição da eficiência e o cálculo dos



indicadores de productividad utilizando esa metodología, de acuerdo a sus necesidades e particularidades. Se ha concluido que el DEA es ampliamente utilizado para la medición de la eficiencia de la educación a nivel mundial, identificando 254 variables de entrada y 230 variables de salida que para el análisis se han agrupado en cuatro y tres categorías respectivamente.

Palabras claves: eficiencia de la educación, análisis input-output, performance de la educación, optimización, programación lineal (Fuente: Tesoro de la UNESCO).

Introducción

Globalmente un tema trascendente para la sociedad es la calidad y la cobertura de la educación. En Colombia, por ejemplo, a raíz de las marchas estudiantiles del año 2011, en agosto de 2014 se presentaron al Ministerio de Educación Nacional dos propuestas para reorientar el futuro de la educación: una del Consejo Nacional de Educación Superior (CESU), “Acuerdo por lo Superior 2034: propuesta de política pública para la excelencia de la educación superior en Colombia”, y otra del movimiento *Todos por la Educación*, denominada: “Gran Acuerdo Nacional por la Educación”.

En este contexto, la medición de la eficiencia en instituciones educativas es importante para optimizar la utilización de los recursos, lo que además pretende contribuir a la materialización del ideal de una educación de calidad libre de barreras para el acceso con cobertura total. El hecho de tener indicadores cuantitativos y confiables para la medición de las actividades misionales de las instituciones educativas, se convierte en una oportunidad para que la dirección pueda tomar decisiones acertadas.

El *Análisis Envolvente de Datos* (DEA, por sus siglas en inglés) es una herramienta útil para la medición de la eficiencia relativa en instituciones educativas, y así cabe señalar que la primera aplicación del método fue en la evaluación de Colegios (tesis doctoral Rhodes, 1978). Su bondad radica en una correcta definición de la unidad evaluada (DMU en el contexto de DEA) y de las entradas y salidas de la misma, de modo que tras su aplicación es posible establecer clasificaciones entre unidades eficientes e ineficientes, y asignar pares de referencia para el mejoramiento de las unidades ineficientes y crear metas para la utilización de recursos.

Con base en la necesidad de tener herramientas objetivas para la medición de la eficiencia, y dadas las características de DEA, este artículo se centra en la realización de un estado del arte sobre su aplicación en el sector educativo, enfocado en educación superior. Se espera que sirva para el entendimiento y difusión de DEA en este contexto; para que los tomadores de decisiones en las IES lo tengan en consideración y puedan aplicarlo una vez conozcan sus ventajas:

- Permite múltiples entradas y salidas.
- Asigna ponderaciones a entradas y salidas, evitando la subjetividad del evaluador.
- Evita la imposición de una forma funcional para evaluar las unidades.
- Permite establecer metas de mejoramiento cuantitativas y alcanzables.
- Identifica pares de referencia para el mejoramiento de unidades ineficientes.
- Permite variables expresadas en distintas unidades de medida.



Este documento inicia con una descripción de DEA, luego presenta estudios realizados en Europa, Asia y Oceanía; posteriormente los de América, seguido por los estudios colombianos. Finalmente, se elabora un análisis estadístico de los modelos y características citadas (generando un resumen y destacando las pautas más utilizadas), y se presentan conclusiones.

Análisis envolvente de datos (DEA)

La exposición de la técnica en la tesis doctoral de Rhodes (1978), basándose en el trabajo de Farrell (1957), plantea una programación matemática para la construcción de una frontera eficiente, con respecto a la cual se mide la eficiencia de las unidades evaluadas. Se parte del principio de contrastar sólo entidades comparables puesto que el índice de eficiencia obtenido es relativo; por ello se debe ser cuidadoso al definir la unidad de análisis (DMU), y las entradas que a través del proceso se transforman en salidas.

En los modelos DEA se pueden dar básicamente dos orientaciones: a entradas y a salidas respectivamente (aunque existen modelos no orientados). En las primeras se busca no deteriorar el nivel de las salidas con la máxima contracción en el vector de entradas, mientras en las segundas se pretende lograr la máxima expansión de las salidas sin incrementar el valor de las entradas.

En cuanto a los rendimientos a escala, Farrell (1957) expone tres tipos: los constantes, que indican un incremento porcentual de salidas igual al crecimiento porcentual de los recursos productivos; a escala creciente, que indican que el crecimiento porcentual de los recursos productivos es mayor al de los factores, y, a escala decreciente, que indica que el crecimiento porcentual de las salidas es menor que el de los recursos productivos.

Modelo Básico: En el modelo inicial de Charnes et al. (1978), la medida de eficiencia es la razón entre la suma ponderada de entradas y de salidas de cada DMU, con la restricción de que este índice debe ser positivo y menor que la unidad.

Con unidades $j=1,2,3,\dots,n$ a evaluar que consumen el mismo tipo de entradas para generar igual clase de salidas, marcando la unidad evaluada con el subíndice o y definiendo:

- x_{ij} ($x_{ij} \geq 0$) como la cantidad de entrada i ($i=1,2,3,\dots,m$), consumida por la j -ésima DMU.
- y_{rj} ($y_{rj} \geq 0$) como la cantidad de salida r ($r=1,2,3,\dots,s$), producida por la j -ésima DMU.
- x_{io} la cantidad de entrada consumida por la DMU_o .
- y_{ro} la entrada cantidad de salida producida por la DMU_o .
- Unidad evaluada, $Unidad_o$
- u_r y ($r=1,2,3,\dots,s$), v_i ($i=1,2,3,\dots,m$) representan los pesos o multiplicadores de salidas y entradas.

Según el modelo DEA CCR (Charnes et al. 1978) de programación fraccional para la medición de eficiencia, por cada DMU evaluada se debe solucionar un modelo.



$$\text{Max}_{u,v} h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}$$

Sujeto a:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \leq 1$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

Mediante procedimientos de linealización y aplicación de propiedades Primal-Dual, Charnes et al. (1978) obtienen el modelo DEA CCR, y Banker et al. (1984) desarrollan el modelo DEA BCC de programación lineal; estos son los más utilizados.

DEA-CCR

$$\text{Min}_{\theta, \lambda} z_0 = \theta$$

Sujeto a:

$$Y\lambda \geq y_0$$

$$\theta x_0 \geq X\lambda$$

$$\lambda \geq 0$$

DEA BCC

$$\text{Min}_{\theta, \lambda, s^+, s^-} z_0 = \theta - \varepsilon(Is^+ + Is^-)$$

Sujeto a:

$$Y\lambda = y_0 + s^+$$

$$\theta x_0 = X\lambda - s^-$$

$$\vec{1}\lambda = 1$$

$$\lambda, s^+, s^- \geq 0$$

Donde ε es un número más pequeño que cualquier real positivo, $\lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \end{pmatrix}$ es el vector de intensidades de cada DMU (así λ_j es la intensidad de la DMU j).

En el modelo BCC están incorporadas las variables de holgura y exceso de entradas y salidas ($Is^+ + Is^-$) y una restricción de convexidad $\vec{1}\lambda = 1$. Este modelo se aplica para el caso de retornos variables de escala.

Estos modelos se solucionan en dos etapas y permiten concluir que una DMU es 100% eficiente si y solo si $\theta^* = 1$, $s^{+*} = 0$ y $s^{-*} = 0$. Si pero si alguna variable de holgura es positiva, se está ante un caso de ineficiencia de holgura. Valores de $\theta^* < 1$ indican una DMU ineficiente.



Con la misma nomenclatura se tienen los modelos DEA CCR y DEA BCC con orientación a salidas:

CCR orientado a salidas

$$Max = \theta$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} \leq X_{i0}, i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} \geq \theta Y_{r0}, r = 1, \dots, s$$

$$\lambda_j \geq 0$$

$\theta = \text{No restringida}$

BCC orientado a salidas

$$Max = \theta$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} \leq X_{i0}, i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} \geq \theta Y_{r0}, r = 1, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$\theta = \text{No restringida}$

Aplicaciones del *DEA* en el sector educativo en Europa, Asia, y Oceanía

A continuación se presenta la revisión de aplicaciones de DEA en forma cronológica o, en su defecto, agrupadas por afinidad.

Para empezar, los investigadores Tomkins y Green (1988) analizan 20 facultades de contabilidad en Reino Unido mediante DEA-CCR, usando tres entradas, a saber: profesores de tiempo completo, salarios y otros; y seis salidas: estudiantes de pregrado, investigaciones de postgrado, ingresos, egresados y postgraduados. Sinuany et al. (1994) también aplican el modelo CCR con orientación a entradas para medir la eficiencia de 21 departamentos educativos en Israel, utilizando como entradas las siguientes: gastos operativos y salarios del profesorado; y como salidas las siguientes: dinero de subvención, publicaciones, graduados y créditos del departamento (horas); los resultados indican cuáles departamentos deben aumentar los estudiantes de postgrado; y como complemento realizan análisis clúster y análisis de costos por estudiante.

Respecto a los investigadores Johnes y Johnes (1995) evalúan, mediante el modelo CCR, 36 universidades en Reino Unido, utilizando tres entradas, a saber: valor *per cápita* de las becas de investigación por subvenciones, tiempo disponible de investigación y meses/persona trabajados en investigación; así como utilizando nueve salidas, a saber: artículos en revistas académicas, cartas en revistas académicas, artículos en revistas especializadas, artículos en revistas populares, libros, libros editados, informes oficiales publicados, contribuciones a obras editadas y artículos o cartas publicadas en las principales revistas. Los resultados muestran que el tiempo disponible para la investigación representa una entrada adicional a la producción, ya que las variables planteadas son susceptibles a la redistribución en el sistema.



Los investigadores Athanassopoulos y Shale (1997), segmentan 45 universidades de Reino Unido en tres grupos según su orientación siguiente: científica, equilibrada y no científica. Utilizan seis entradas, a saber: estudiantes, postgraduados, personal académico, puntuación media de ingreso, ingresos por investigación y gasto en servicios bibliotecarios y de computación; así como tres salidas, a saber: egresados, graduados con honores y calificación ponderada en investigación. Los autores comparan la aplicación de modelos CCR y BCC, orientados a entradas y salidas. Los resultados indican que cerca del 24% de las universidades son eficientes con un modelo y 60% con el otro; al analizar las universidades con más de 10.000 estudiantes, se encuentra que el tamaño, por sí solo, no es suficiente para lograr eficiencia.

En Australia, Avkiran (1999) analiza 36 universidades, incluyendo dos entradas de personal, a saber: académico y no académico, así como tres tasas de salida, a saber: retención de estudiantes, progreso del estudiante y empleo en postgraduados; es de aclarar que el autor utiliza modelos CCR y BCC orientados a salidas. Los modelos fueron probados bajo VRS (Retornos variables a escala). Por lo demás, señala como desventaja de la elección de VRS una pérdida de poder discriminante por el aumento en unidades deficientes.

Ahora bien, en el nuevo milenio los autores Abbott y Doucouliagosa (2001) analizan las mismas universidades, incluyendo las siguientes cuatro entradas: personal académico de tiempo completo, personal no académico de tiempo completo, demás gastos y activos no corrientes; así como las siguientes tres salidas: alumnos equivalentes a tiempo completo, estudiantes de postgrado y de pregrado; utilizando el modelo BCC orientado a entradas y análisis de conglomerados. Estos autores destacan que es posible una clasificación de universidades en regionales y urbanas, y concluyen que el nivel de eficiencia técnica en el sistema universitario australiano parece ser alto, sin descartar la posibilidad de que todo el sistema sea de bajo rendimiento, y que la comparación con universidades extranjeras pueda mostrarlas como no eficientes.

Por otra parte, los autores Castrodeza y Peña (2002) realizan una medición con modelos CCR y BCC orientados a salidas en 22 departamentos de Ciencias Sociales y Jurídicas, de la Universidad de Valladolid, tomando como entradas las siguientes: recursos propios para investigación y capacidad investigadora; y como salidas las siguientes: calidad, cantidad e impacto en investigación y actividad en formación de investigadores. Bajo CRS (rendimientos de escala constantes) la eficiencia media es del 75,5%, mientras que con VRS asciende a 88,6%; dichos autores concluyen que, aproximadamente, un 13% de ineficiencia procede de problemas de escala de operación.

Asimismo, los investigadores Cordero et al. (2004) recurren al modelo BCC orientado a entradas, para analizar 79 centros públicos de Extremadura (2001-2002), de modo que utilizan 10 entradas relacionadas con las características de los alumnos, a saber: con asignaturas al día, que aprobaron todas las asignaturas en el curso anterior, con buenas notas en el curso anterior, cuyos padres consideran que están capacitados para terminar con éxito una carrera universitaria, que nunca han repetido curso 11, cuyos padres tienen ingresos mensuales superiores a 1.800 euros; cuyo padre tiene una profesión que requiera alta cualificación, cuya madre tiene una profesión que requiera una alta cualificación, cuyo padre ha estudiado una carrera universitaria y cuya madre ha estudiado una carrera universitaria. Y es de aclarar que solo consideran como salida la calificación de una prueba de ingreso a la universidad. Entonces, estos autores concluyen que para



un análisis correcto se deben considerar entradas no controlables, proponiendo así incorporar el modelo de Banker y Morey (1986) con el desarrollo del análisis de etapas múltiples, en el que tras una primera etapa en que se aplica el modelo DEA, ignorando el efecto de las entradas no controlables en la evaluación, se ajustan los índices calculados con el fin de incorporar los efectos de dichas variables.

Por otro lado, el autor Seijas Díaz (2005) evalúa 53 centros educativos, utilizando las siguientes tres salidas: nota media de pruebas de estado (científico-técnica y ciencias de la salud), nota media en humanidades y ciencias sociales, alumnos que aprobaron las pruebas; y como entradas las siguientes: entorno familiar y grupo de compañeros, nota media del estudiante, gastos de funcionamiento por alumno y profesores. Para la investigación implementa el modelo BCC orientado a salidas y resalta el papel de factores no controlables (contexto escolar y nota promedio).

En cuanto al investigador Johnes (2005) evalúa 100 universidades en Inglaterra, definiendo cinco entradas, a saber: estudiantes de pregrado, estudiantes de postgrado, personal académico, gastos académicos y de administración; y tres salidas, a saber: graduados de postgrado y pregrado, e investigación; recurriendo a modelos CCR y BCC con orientación a salidas. Este autor reporta que la eficiencia de escala es alta, con un promedio de 96%. La frecuencia con la que una DMU eficiente aparece como par es de interés: una frecuencia baja sugiere que tiene una característica extrema (por ejemplo, tamaño) que le hace un par no adaptado para emular. Estas universidades pueden considerarse eficientes debido a su característica “extrema”.

Ahora bien, los investigadores Emrouznejad y Thanassoulis (2005) analizan 15 universidades de Reino Unido durante 1994 y 1998, teniendo como entradas las subvenciones recurrentes y totales de capital, mientras que las salidas son las siguientes: ingresos de subvenciones y contratos de investigación, títulos de doctorados, otros postgrados y pregrado otorgados. Con el modelo CCR orientado a entradas distinguen entre la correspondencia y la coincidencia de los niveles de entrada y salida. También en Reino Unido pero mediante el modelo BCC con las dos orientaciones, los autores Glassa et al. (2005) evalúan 98 universidades definiendo como entradas las siguientes: personal académico y no académico, subvenciones por investigaciones y gastos; y como salidas las siguientes: investigación, estudiantes en pregrado y graduados. El resultado es una propuesta de fusiones.

Los investigadores Kao y Hungb (2006) aplican DEA en la Universidad Nacional Cheng Kung, evaluando 41 Facultades, seleccionan cuatro grupos de departamentos y los clasifican con descomposición de eficiencia y análisis de conglomerados, bajo los modelos CCR y BCC; las entradas consideradas son las siguientes: personal, gastos de operación y espacio utilizado; mientras las salidas son las siguientes: horas-crédito, publicaciones, donaciones externas y contratos.

En cuanto a los investigadores Cassia et al. (2006) miden la eficiencia de 25 instituciones educativas de España y Brasil, bajo el modelo CCR orientado a salidas, determinando cuatro entradas, a saber: presupuesto anual, recursos de origen público, recursos para transferencia tecnológica y dotación de investigadores; y se establecen dos salidas, a saber: publicaciones y contratos de transferencia tecnológica.

Con un modelo BCC orientado a salidas, Johnes (2006) analiza un conjunto de datos de 54.564 estudiantes de 49 universidades de Reino Unido, empleando las siguientes nueve entradas: prueba de estado, edad, género, estado civil, tiempo de estudio, vivienda propia, vive en el



campus, es independiente y si el estudio es prioritario y se establece como única salida la cantidad de graduados; dicho autor concluye que aunque el género, estado civil, nacionalidad, tipo de residencia, edad y antecedentes de escuela afectan los resultados de estudios, la calificación de entrada es la variable explicativa más importante de los logros académicos.

Por otra parte, los autores Torrico et al. (2007) estudian 152 unidades académicas de la Universidad de Málaga, considerando las siguientes dos entradas: capacidad docente del profesorado funcionario y no funcionario; y como salidas se establecen las siguientes: alumnos, participación académica de cada unidad funcional y productividad científica, aplicando los modelos BCC y CCR, orientados a salidas que permiten identificar ineficiencias de escala.

El investigador Martín (2008) analiza 28 departamentos académicos experimentales y 29 no experimentales de la Universidad de La Laguna, España, teniendo como entradas las siguientes: catedráticos, titulares, profesores asociados y ayudantes y presupuesto departamental; con seis salidas, a saber: porcentaje de profesores con buena valoración, créditos del departamento, matriculados en primer y segundo ciclo, alumnos de tercer ciclo, publicaciones e ingresos por proyectos de investigación. Este autor aplica el modelo CCR orientado a salidas.

Los autores Murias et al. (2008) realizan su investigación en 43 universidades públicas españolas, e incluyen una variable ficticia (ya que todos los indicadores se combinan en el lado de salida) que toma un valor de uno, y nueve salidas, a saber: tiempo del personal/estudiante, estudiantes que se gradúan en un plazo “adecuado” de tiempo, satisfacción de las necesidades sociales de los estudiantes, estudiantes de intercambio, ingreso de investigación por investigador, tesis doctorales por PhD, estudios de postgrado de estudiantes de postgrado, camas para alojamiento y asientos de la biblioteca por estudiante. Estos investigadores implementan el modelo CCR orientado a salidas, y determinan que el valor medio obtenido por universidades, en áreas adineradas, es considerablemente más alto que para instituciones en regiones más pobres.

En cuanto a los investigadores García y Palomares (2008) investigan 43 universidades públicas españolas, mediante las siguientes tres entradas: gastos, personal académico y no académico; y como salidas las siguientes: graduados, publicaciones e investigaciones. Emplean modelos CCR y BCC orientados a salidas. Al realizar análisis independientes para enseñanza, investigación y productividad, dichos autores sugieren que la mayor parte del crecimiento se asocia con mejoras en investigación. A su vez, el aumento de la productividad de la enseñanza proviene de ganancias tecnológicas, mientras que las ganancias de investigación están asociadas a la eliminación de la ineficiencia. Como valor agregado calculan los índices de productividad de Malmquist.

Mediante el implemento de DEA-BCC orientado a salidas, los autores Worthington y Leeb (2008) analizan 35 universidades australianas utilizando cinco entradas, a saber: personal de tiempo completo académico y no académico, gastos no laborales, carga de pregrado y de postgrados; y cinco salidas, a saber: estudiantes de pregrado, estudiantes de postgrado, PhD, subvenciones y publicaciones. Los resultados en este caso indican que el crecimiento anual de la productividad promedio es de 3,3%, debido a avances tecnológicos.

Por otra parte, los investigadores Johnes y Yu (2008) analizan 109 Universidades Chinas (2003-2004), definiendo como entradas las siguientes: personal de tiempo completo y medio tiempo, investigación, libros en biblioteca, área construida y estudiantes postgraduados; y establecen las siguientes tres salidas: prestigio de la universidad, publicaciones de investigación e índice



de las publicaciones de investigación. Ellos implementan el modelo BCC orientado a salidas. Dividen las universidades en grupos usando tres criterios como son: localización, que estén financiados centralmente y si son universidad completa o especializada. Las universidades integrales tienen consistentemente mayor eficiencia media que las instituciones especializadas.

En cuanto a los autores Agasisti y Perez (2009) estudian 57 instituciones universitarias públicas italianas y 46 españolas, empleando cuatro entradas, a saber: estudiantes, estudiantes de PhD, profesores y recursos financieros disponibles; y dos salidas, a saber: graduados y recursos externos atraídos por investigación. Comparan los modelos CCR y BCC orientados a salidas y brindan como resultado que la eficiencia promedio del sector es bastante alta en 2004 y 2005, aproximadamente 80% en ambos países; sin embargo en conjunto, las universidades italianas parecen ser más eficientes que las españolas.

Los investigadores Pino et al. (2010) recurren al modelo CCR orientado a salidas para medir la eficiencia de los grupos de investigación en España. Utilizan las siguientes tres entradas: doctores activos, demás personal de I+D+I y subvenciones recibidas en convocatoria de ayudas; y las siguientes cuatro salidas: ingresos por proyecto, publicación en revistas ISI, tesis y contratos. Dichos autores encuentran 19 grupos de investigación eficientes y determinan cuál ha sido el grupo que aparece más veces como referencia, denominándolo *líder*.

Por otro lado, los autores Katharaki y Katharakis (2010) evalúan 20 universidades griegas, utilizando cuatro entradas, a saber: personal académico y no académico, matriculados y gastos de explotación; y como salidas establecen las siguientes: graduados (pregrado y postgrado) e ingresos de investigación, con la aplicación del modelo CCR orientado a entradas. Ellos complementan los resultados con análisis de regresión múltiple y de factores.

En cuanto a los investigadores Agasisti et al. (2011) evalúan 75 facultades italianas durante años, utilizando tres entradas, a saber: área de laboratorios, personal (administrativo y de investigación) y actividades de transferencia tecnológica; y establecen cinco salidas, a saber: ingresos de actividades financiadas, ingresos de actividades financiadas desde el extranjero, ingresos de pedidos (medida como actividades de investigación realizadas y financiadas por otras instituciones), publicaciones anuales y doctorados en cooperación con órganos externos. Ellos aplican modelos CCR y BBC orientados a salidas y concluyen que la eficiencia de los departamentos universitarios de Lombardía es la más alta (eficiencia CRS = 0.75, eficiencia VRS = 0.78).

El investigador Gómez (2010) aplica modelos CCR y BCC orientados a salidas para evaluar 35 universidades españolas, pues considera que los gestores universitarios tienen poca capacidad de actuación sobre las entradas, y de tal manera concentran sus esfuerzos en obtener la máxima salida posible. Define las siguientes dos entradas: estudiantes y otros gastos; y las siguientes dos salidas: tesis leídas y graduados.

Respecto a los autores Fernández et al. (2012) analizan, con modelos BCC y CCR orientados a salidas, la eficiencia de 39 universidades públicas españolas. Para ello definen cinco entradas, a saber: profesorado de tiempo completo, personal de administración y servicios, matriculados, alumnos de postgrados e ingresos; y tres salidas, a saber: graduados, tesis defendidas y ayudas en investigación y desarrollo. Estos investigadores concluyen que de 156 DMU, 33 trabajan con rendimientos de escala constantes, y el 79% operan a un nivel distinto de su capacidad productiva.



Por otra parte, los autores Cunha y Rocha (2012) estudian 14 universidades públicas portuguesas, tomando como entradas las siguientes: recursos financieros, gastos y personal académico; y como salidas las siguientes: estudiantes, cursos y doctorados recibidos. Ellos eligen los modelos CCR y BCC orientados a entradas. Concluyen que sólo el 14% de las IES son eficientes, mientras que entre los politécnicos la proporción llega al 20%. El mismo modelo es empleado por los autores Azlina et al. (2012), para investigar 22 departamentos de una universidad pública de Malasia, utilizando tres entradas, a saber: personal académico, personal no académico y costos operacionales; y tres salidas, a saber: graduados por año, ganancias por subvenciones de investigaciones y publicaciones. Los resultados mostraron siete departamentos eficientes.

Respecto a los investigadores Erasmus y Msigwa (2013) analizan siete universidades públicas de 11 que operan en China, y así determinan las siguientes cuatro entradas: matrícula, personal académico, personal no académico y personal total; y establecen las siguientes tres salidas: estudiantes en pregrado, estudiantes en postgrado y graduados. Aplican el modelo BCC orientado a entradas en tres escenarios; uno con las entradas y salidas descritas; otro con las mismas entradas y una salida, y el tercero con las mismas entradas y combinación de las salidas de los escenarios anteriores.

Respecto a los autores Barra y Zotti (2013) evalúan un grupo de 18 departamentos y seis facultades, el cual se designa HSS, así como otro grupo con 10 departamentos y tres facultades, nombrado como ST, en la Universidad de Salerno, y valoran así actividades de investigación y docencia, con tres entradas, a saber: personal equivalente, gastos de investigación y gastos de enseñanza y cinco salidas, a saber: publicaciones, índices de productividad de investigación, fondos para investigación, graduados e índices de satisfacción. De tal manera, ellos seleccionan el modelo BCC orientado a salidas y concluyen que el grupo HSS es menos eficiente que el ST. También calcularon índices de Malmquist.

En cuanto a Santín y Suárez (2012) aplican el modelo BCC orientado a salidas para 132 centros de enseñanza secundaria (26,7% privados y 73,5 % públicos), en España, definiendo las siguientes tres entradas: estatus socioeconómico del alumno, indicador de calidad de recursos educativos, y un índice de calidad de profesores; y las siguientes dos salidas: resultado de lectura y resultado de matemáticas de la evaluación del estado. Para establecer determinantes de eficiencia ellos emplean regresión Tobit y Bootstrapping.

Los investigadores Murias et al. (2004) analizan 89 centros de educación secundaria gallegos, y asignan cuatro entradas, a saber: profesores, gasto, capacidad y entorno; y dos salidas, a saber: estudiantes aprobados y nota media. Dichos autores aplican el modelo de Banker & Morey con orientación a entradas, puesto que permite tener en cuenta recursos escolares y entradas no controlables, tales como entorno socioeconómico y capacidad del alumno.

El investigador Murias (2004), analiza los 72 departamentos de la Universidad de Santiago de Compostela; 38 de las cuales no experimentales (Ciencias Sociales y Humanidades), y 34 de las cuales experimentales (Ciencias de la Salud, Experimentales y Técnicas); dicho autor usa como entradas: capacidad docente, becarios, recursos de investigación y matriculados; y usa como salidas: créditos de licenciatura ofertados, créditos de doctorado ofertados, alumnos que aprobaron materias y producción de investigación; así entonces Murias utiliza los modelos BCC y CCR orientados a salidas. La mayoría de los departamentos eficientes (22) pertenecen al grupo no experimental, frente a 10 del grupo experimental.



Por otra parte, Vázquez-Cueto (2008) analizan 47 universidades públicas españolas, y utilizan tres entradas, a saber: matriculados, profesores doctores e investigadores y puestos de biblioteca; y como salidas: graduados y tesis leídas. Ellos realizan la medición con el modelo CCR orientado a entradas, complementado con escalado multidimensional y análisis multivariante, clúster, factorial y de componentes principales.

Por otro lado, los autores Vázquez-Rojas (2010) analizan 43 universidades públicas españolas, e identifican las siguientes tres entradas: alumnos de primer y segundo ciclo, personal docente e investigador de tiempo completo, así como total de gastos menos gastos de personal; y las siguientes cuatro salidas: graduados, investigación básica, ingresos por investigación aplicada y tesis doctorales.

El investigador Mcmillan (1998) con el modelo BCC orientado a entradas, mide 45 universidades canadienses, usando como entradas: profesores de tiempo completo, gasto total, gastos de funcionamiento y gastos de investigación; y usa como salidas: matrículas totales, matrículas de pregrado, matrículas de pregrado en distintos programas, estudiantes en postgrado, matrícula en maestría, matrícula en doctorado, gastos totales de investigación patrocinados, profesores elegibles y subvenciones. Este autor concluye que las universidades principalmente de licenciaturas tienen el valor de eficiencia más baja (0.943), en contraste con universidades integrales (0.98); sin embargo los valores no son significativamente diferentes.

Ahora bien, los autores Caballero et al. (2004) evalúan 142 departamentos académicos de la Universidad de Málaga, y establecen una agregación por rama de conocimiento (Ciencias Experimentales, Ciencias de la Salud, Ciencias Sociales y Jurídicas, Enseñanzas Técnicas y Humanidades). Ellos utilizan entonces cuatro entradas, a saber: capacidad docente del profesorado funcionario y no funcionario, becarios y personal administrativo y servicios de laboratorio; así como tres salidas, a saber: matriculados, tamaño medio de los grupos de docencia y carga docente real. A partir de BCC y CCR orientado a salidas, dichos investigadores generan el modelo DEA MCDMDEA con las siguientes tres fases: DEA para evaluación de eficiencia técnica, Modelo MCDM para asignación presupuestaria, y un nuevo modelo DEA para comprobar mejora de eficiencia media del sistema. Así ellos utilizan técnicas de toma de decisiones *multicriterio* como son herramientas de planificación ex-ante, y DEA como instrumento de evaluación ex-post.

Investigaciones en el continente americano

Como estrategia de agrupación, se relacionan las aplicaciones de DEA en el continente americano sin incluir Colombia, ya que para estas aplicaciones se reserva la sección posterior a la presente.

Para empezar, los autores Breu y Raab (1994) analizan 25 universidades y 25 escuelas de arte en Estados Unidos, y eligen para su investigación cuatro entradas, a saber: nota promedio de la evaluación de estado, porcentaje de facultades con doctorado, recursos/estudiante y gastos/estudiante, y ello en conjunto con dos salidas, a saber: graduados y tasa de no deserción; implementando los modelos CCR y BCC orientados a salidas. Su resultado revela siete universidades eficientes. Los autores utilizan regresión lineal para ver correlación de variables.



Por otro lado, el investigador Chalos (1997) estudia 207 escuelas de educación media de Illinois (USA), teniendo en cuenta las siguientes ocho entradas: gastos operativos, docentes por alumno, tasa de asistencia de alumnos, porcentaje de maestros con maestría, años de experiencia docente, porcentaje de ingresos, porcentaje de no minorías y porcentaje de no nativos ingleses; y una salida, a saber: puntaje en las pruebas de estado, utilizando el modelo BCC orientado a entradas. Muestran 118 distritos escolares ineficientes.

Por otra parte, Marta (2008) elige 32 universidades argentinas para su estudio y utiliza dos modelos orientados a salidas, el primero es CCR con cuatro entradas, a saber: alumnos, gastos en personal, gastos de funcionamiento, insumos y docentes investigadores; el segundo modelo es BCC con cinco entradas (adicionando docentes exclusivos); y para ambos modelos usa dos salidas, a saber: graduados y publicaciones científicas. Señala siete instituciones universitarias (22%) eficientes en las dos versiones de los modelos, y para complementar calcula los índices de Malmquist.

Los investigadores Gonzáles y Verdugo (2008) analizan 43 Universidades chilenas, con las siguientes cuatro entradas: aporte fiscal directo, ingresos, docentes y matriculados; y con las siguientes tres salidas: recursos por proyectos, publicaciones ISI y docentes. Aplicando los modelos CCR y BCC, para las universidades privadas, estos autores obtienen un 95% de eficiencia promedio mientras que para las públicas un 90%. El aumento en la productividad se debe al cambio en la eficiencia y al progreso técnico.

Por otra parte, Marinho et al. (1997), que aplican el modelo BCC a 52 IES, miden 15 entradas, a saber: área de edificios, hospitales y laboratorios, estudiantes, personal con doctorado, maestría, especialización, pregrado y segundo y primer grado de enseñanza, personal administrativo, personal administrativo con secundaria y profesional, presupuesto para gastos corrientes, alumnos nuevos en pregrado y residentes médicos; así como nueve salidas, a saber: cursos de pregrado, cursos de postgrado, certificados emitidos, certificados médicos, tesis de master, tesis doctorales aprobadas, promedio de evaluaciones del estado en los master y doctorados. Ellos encuentran 16 universidades totalmente eficientes y siete con una eficiencia mayor al 90%.

Aplicaciones del *DEA* en el sector educativo colombiano

En este numeral se presentan las aplicaciones relevantes en el contexto de la Educación Superior en Colombia, y, de tal manera, se incluyen algunas que, aunque son implementadas en la educación media, resultan pertinentes.

Para empezar, los autores Díaz y Palacios (2003) analizan 476 centros educativos públicos de dos jornadas escolares, y utilizan como entradas costos: anuales por alumno, de personal directivo, de personal administrativo, del material por alumno y del material no asociado con el proceso; y utilizan como salidas: puntaje en lenguaje, matemáticas y ciencias, alumnos en nivel dos de lenguaje, en nivel uno de matemáticas, en nivel dos de matemáticas, en nivel uno de ciencias, en nivel dos de ciencias, y puntaje promedio obtenido en las pruebas de estado. Ellos proponen incluir en el modelo áreas para extensión, personal administrativo de apoyo, actividades de extensión y estudiantes auxiliares involucrados en proyectos de extensión.



Ahora bien, Visbal y Palacios (2005) evalúan 30 instituciones de las 31 del Sistema de Universidades Estatales (SUE), con la utilización de cuatro entradas, a saber: salario anual docente y del personal administrativo, gastos generales e inversión; y tres salidas, a saber: graduados en pregrado, graduados en postgrado (Doctorado, Maestría y Especialización) e índice de investigación. Ellos utilizan los modelos BCC y CCR orientados a entradas, y complementan con análisis de regresión logística. Por tanto, mediante los modelos CRS resultan eficientes 10 de las instituciones y, además, mediante los modelos VRS las instituciones eficientes aumentan a 14. Consecuentemente, estos investigadores encuentran que 16 universidades son ineficientes globalmente, y en otras cuatro universidades hallan que la ineficiencia es debida a la escala con la que operan.

Por otra parte, los investigadores Moriones y Palacios (2006) analizan 313 centros de educación del distrito, 49% de ellos en jornada de la tarde, y 39% de ellos en jornada de la mañana, y 12% de ellos en jornada nocturna, con un número de estudiantes entre 501 y 1500. Dichos autores usan las mismas entradas y salidas que Díaz y Palacios (2003), pero expresadas en términos de valores relativos no absolutos. Se investiga a través del modelo BCC con retornos variables a escala, BCC con el *ratio* transformando datos de entrada y salida. Con dos orientaciones, a saber, una a salidas y la otra al *ratio*, y con la inclusión del modelo *slack* basado en la medida SBM, incluyendo ineficiencia de mezcla; el primer modelo determina la eficiencia de cada centro de educación en cuanto a la generación de resultados en pruebas académicas, y el segundo es utilizado para examinar la capacidad en la generación de cupos escolares.

Por otro lado, los investigadores Buitrago y Avella (2008) analizan 16 colegios de Tunja, utilizando seis entradas estandarizadas por estudiante, a saber: docentes, área de aulas, área de laboratorios, computadores área recreativa y unidades sanitarias; también como salidas los puntajes obtenidos en cada área de las pruebas que realiza el Estado a los estudiantes de grado once. Ellos emplean el modelo CCR orientado a entradas y concluyen que la mitad de los colegios son eficientes: de éstos el 62.5% son de carácter oficial, y el 37.5% son privados que prestan el servicio por medio de convenio.

En cuanto a los autores Chediak y Rodríguez (2009) miden la eficiencia académica en 47 municipios de Tolima; y usan tres entradas, a saber: docentes oficiales, inversión en educación y área disponible; y como salida una, a saber: matriculados. Para este estudio se basan en los modelos CCR y BCC orientados a salidas. Como resultados se resalta que 10 municipios fueron 100% eficientes, y 31 municipios obtuvieron rendimiento de escala creciente, mientras que tres municipios con rendimientos constantes de escala (CRS), y otros 13 municipios con rendimientos de escala decrecientes.

Ahora bien, Soto et al. (2009), mediante modelos CCR y BBC orientados a salidas, evalúan 16 programas académicos en Pereira (2007), utilizando seis entradas, a saber: matriculados, docentes de planta con doctorado, docentes de planta y transitorios tiempo completo, docentes catedráticos tiempo completo, horas de investigación y horas de docencia; e incluyen 10 salidas, a saber: becados, graduados con promedio superior a 4,3/5, estudiantes que pasan a semestre de transición, promedio general, tasa de deserción, egresados, situación actual del programa (3 si está acreditada y 1 si no), libros de investigación publicados, reportes de investigación docente y grupos de investigación reconocidos por Colciencias (Tipo A, B y C).



Asimismo, el investigador Rojas (2010) analiza 34 grupos de investigación de la Facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, utilizando las siguientes dos entradas: integrantes y antigüedad; con cuatro índices de salida, a saber: nuevo conocimiento, conocimiento, formación y divulgación; a través del modelo CCR y el método de eficiencia cruzada. Este último calcula n veces la eficiencia para cada DMU, empleando los pesos óptimos obtenidos con el modelo CCR orientado a salidas. También emplean un análisis de clúster puesto que las DMUs ineficientes, no optarían por contraer sus entradas, ya que la dinámica de formación y trabajo de los grupos de investigación hace que se tenga mucho más control sobre las salidas.

En cuanto a Quesada et al. (2010) analizan los centros educativos de 45 municipios del departamento de Bolívar, para los años 2007 y 2008 respectivamente, con tres entradas, a saber: docentes oficiales, inversión en educación y espacio de aula; y matriculados como salida. Ellos aplican el modelo BCC orientado a salidas, y concluyen que con los recursos que se están utilizando la cobertura puede incrementarse.

El autor Piñeros (2010) evalúa el desempeño de 33 departamentos colombianos durante el periodo de años 2002-2009, con cuatro entradas, a saber: nivel educativo de docentes, alumnos, tamaño del salón de clases y cantidad de establecimientos educativos; y con dos salidas, a saber: pruebas de estado y cobertura; este investigador incluye modelos BCC y CCR con orientación a salidas. Concluye que los departamentos que destinan menores recursos son los que obtienen una eficiencia menor al promedio nacional. El departamento de Boyacá es el único que mantiene su nivel de eficiencia al 100%, ya que tiene mejores insumos en materia de docentes, recursos y cobertura educativa.

En cuanto al investigador Barbosa (2010) estudia 54 unidades (27 escuelas en los semestres de 2009), en las Facultades de la Universidad Industrial de Santander, implementando las siguientes cinco entradas: docentes de tiempo completo de planta, cátedra, con doctorado, sin doctorado y presupuesto; y con las siguientes seis salidas: cupos de pregrado, cupos de postgrado, graduados de pregrado, graduados de postgrado, evaluación docente y resultados del ECAES (Hoy Saber Pro). Incluye tres modelos CCR-BCC orientados a salidas; el primero de los mismos considera variables de formación, el segundo de investigación y extensión y, el tercero, de formación, investigación y extensión; muestra que 31 unidades son eficientes. Por otra parte, el modelo BCC indica que 42 unidades son eficientes. En consecuencia, 31 unidades presentan rendimientos constantes a escala y 11 rendimientos variables a escala.

Los autores Soto et al. (2010) miden la eficiencia académica del Municipio de Dosquebradas (2008), recurriendo a cinco entradas, a saber: capacidad instalada, aulas, docentes, directivos docentes y nómina docente; con las siguientes cinco salidas: saber 9, *Icfes* (ahora Saber 11), matrícula, egresados noveno y egresados undécimo; aplicando el modelo BCC, comparando sólo las eficientes de similar tamaño. Con la inclusión del análisis de componentes principales, se logró agrupar las salidas en dos factores, directamente relacionados con dos de los cuatro aspectos (calidad y cobertura). Únicamente cuatro de las 16 instituciones son eficientes en el factor calidad, mientras que 13 son clasificadas como eficientes en el factor cobertura.

Por otra parte, Rodríguez (2011) evalúa las actividades de extensión en diferentes unidades de la Universidad Nacional de Colombia, definiendo 31 DMUs de la forma que se especifica a continuación. Sede Bogotá: 11 Facultades y seis institutos; Sede Medellín: cinco Facultades; Sede



Manizales: el nivel central y tres Facultades; Sede Palmira: dos Facultades y de la Sede presencia nacional: Amazonia, Orinoquia y Caribe. Empleó dos entradas, a saber: horas de dedicación de los docentes y dineros obtenidos de fuentes de financiación; así como tres salidas, a saber: proyectos, transferencias y capital relacional; relaciones internacionales en unidades, aplicando el modelo CCR, orientado a salidas. La comparación entre departamentos se hace categorizando, puesto que hay disciplinas que para adelantar sus actividades de investigación y docencia requieren de laboratorios y tecnologías, lo que conlleva una alta inversión de recursos, contrastando con aquellas que no lo requieren.

Por otro lado, García y González (2010) analizan 32 universidades colombianas (2003-2009), con cuatro entradas, a saber: área, docentes de tiempo completo, gastos en personal administrativo y recursos financieros; y 13 salidas, a saber: grupos de investigación reconocidos por COLCIENCIAS, revistas indexadas, artículos de investigación, graduados en maestrías y doctorados, ponentes, estudiantes de pregrado, estudiantes de primer nivel, graduados en pregrado, programas en pregrado, estudiantes con resultados *Ecaes* superiores al percentil 75, estudiantes de postgrado, graduados de postgrado, programas de postgrado. Aplicando el modelo CCR orientado a salidas y análisis clúster complementario. Pues bien, docentes de tiempo completo fue el indicador que obtuvo mayor incremento, un 81%, al comparar los siete años de estudio; mientras que la mitad de este indicador fue el incremento de recursos financieros y, un poco menos de la tercera parte (25%), el crecimiento de área. El escalafón de las universidades en términos de eficiencia en el índice de formación, muestra 17 universidades eficientes, siendo la Militar, Sucre, UIS, Tolima, Cúcuta, Pamplona, Distrital, Nariño, Popular, Pacífico, las primeras 10. La eficiencia promedio de las 32 universidades fue de 89%.

Los autores López y Suarez (2011) estudian 78 instituciones educativas del sector oficial de Bucaramanga, considerando cada una como unidades diferentes correspondientes a los años 2009 y 2010. Utilizan seis entradas, a saber: docentes, personal administrativo, matriculados, valor total de propiedad, planta y equipo, ingresos anuales y área de aulas de clase; así como cinco salidas, a saber: graduados, estudiantes aprobados, pruebas saber 11°, pruebas saber 5° y pruebas saber 9°; con modelos CCR y BCC orientados a salidas. La aplicación del Modelo CCR muestra que 41 unidades son eficientes, y del modelo BCC 48. En consecuencia, 41 unidades presentan rendimientos constantes a escala, y siete rendimientos variables a escala.

En la Figura 1 se presenta un esquema que indica los modelos DEA empleados en las investigaciones realizadas en Colombia que fueron consideradas, y en la parte izquierda se ubican los autores que usaron modelos CCR, a la derecha BCC, y en el medio los dos modelos.

Según los investigadores Cervera, Oviedo y Pineda (2013), en Colombia seis universidades han aplicado DEA en Instituciones de Educación Superior (Universidad de los Andes, Universidad Industrial de Santander, Universidad Nacional de Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira, Universidad Central y Universidad de Antioquia).



Figura 1. Modelos *DEA* implementados en Colombia
Fuente: Los autores

Modelos *DEA* implementados

En la revisión de los trabajos consultados a nivel mundial se evidencia que el modelo a utilizar es variable; dado que depende básicamente del investigador, la orientación y la información disponible. En la Figura 2 se muestra el número de investigaciones que utilizaron el modelo CCR (de retornos constantes a escala), el BCC (retornos variables a escala), los dos u otros.

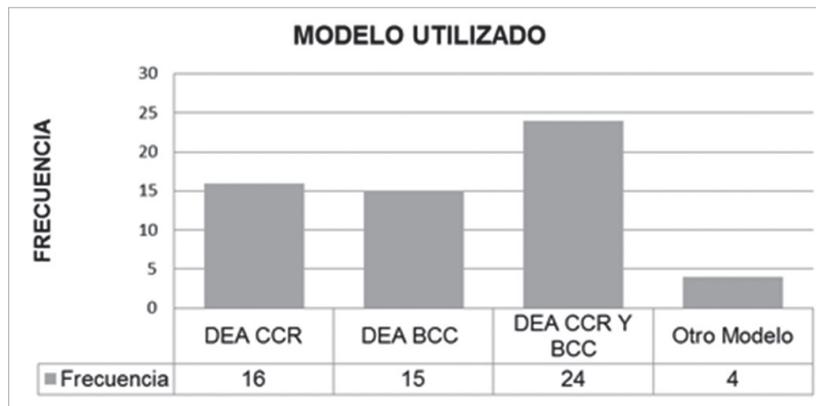


Figura 2. Modelos seleccionados

Fuente: Los autores

Se identifica la preferencia entre los investigadores por los modelos CCR y BCC, a causa de permitir analizar los efectos de las economías de escala en los resultados. Los modelos BCC y CCR, individualmente se utilizan con una frecuencia similar. En la Figura 3, se ubican los modelos utilizados a nivel mundial.



Figura 3. Modelos utilizados a nivel mundial.

Fuente: <https://fotosymapas.wordpress.com>, modificado por los autores.

Orientación de los modelos

Luego de determinar el modelo, se debe decidir su orientación. En la Figura 4, se muestran las frecuencias con que los investigadores usan cada tipo de orientación: a entradas, a salidas o sin definir.

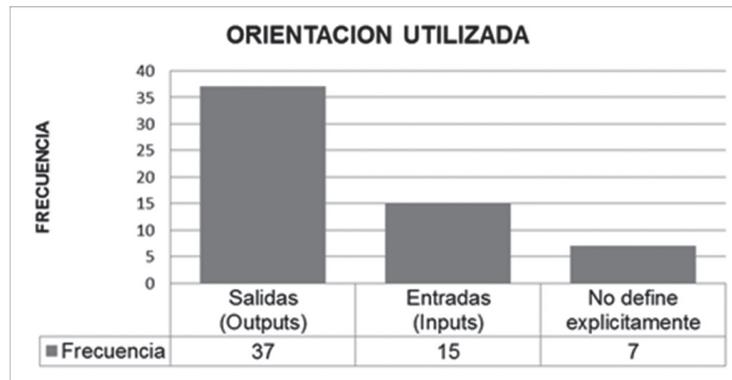


Figura 4. Orientación utilizada
Fuente: Los autores

Se observa que la orientación a salidas es la más utilizada en el contexto estudiado, y se concluye que se debe a que los insumos en muchos casos no son controlados por las DMU evaluadas (las universidades públicas, por ejemplo, son financiadas por el Estado), y el objetivo es mostrar el mejor valor posible en las salidas.

Análisis de entradas y salidas usadas

A continuación se presenta un análisis de cuáles fueron las entradas y las salidas utilizadas en las investigaciones referenciadas, para facilitar su definición en estudios similares.

Entradas

Se encuentra que no hay convergencia puesto que existe una gran variedad de características medibles o cuantificables en una institución educativa. En la Figura 5, se muestra la cantidad de entradas utilizadas en las investigaciones citadas.



Figura 5. Número de entradas
Fuente: Los autores

Se observa que el 88,13% de las investigaciones utiliza entre dos y seis entradas, mientras que el 52,54% utiliza entre tres y cuatro. En cuanto a cuáles son los factores que se miden, se encuentran recurrentemente la capacidad docente, gastos de funcionamiento, número de alumnos, entre otros.

En este estudio se identificaron las entradas seleccionadas por los autores de las investigaciones consultadas, obteniendo así un total de 254; y dada la cantidad para su análisis se consolidan en cuatro categorías, a saber:

- Recursos Físicos: Evidencia las disposiciones tangibles de las instituciones para la prestación del servicio.
- Recursos Financieros: Recursos monetarios referenciados por entidades públicas, privadas internas o externas que aseguran el correcto funcionamiento.
- Recursos Humanos: Recursos de personal para la atención de los estudiantes.
- Recursos de Condición: Recursos no tangibles que afectan los resultados de los estudiantes, tales como condiciones socioeconómicas o de capacidad educativa.

Las Figuras 6, 7, 8 y 9, muestran las distribuciones de las entradas en las categorías definidas.

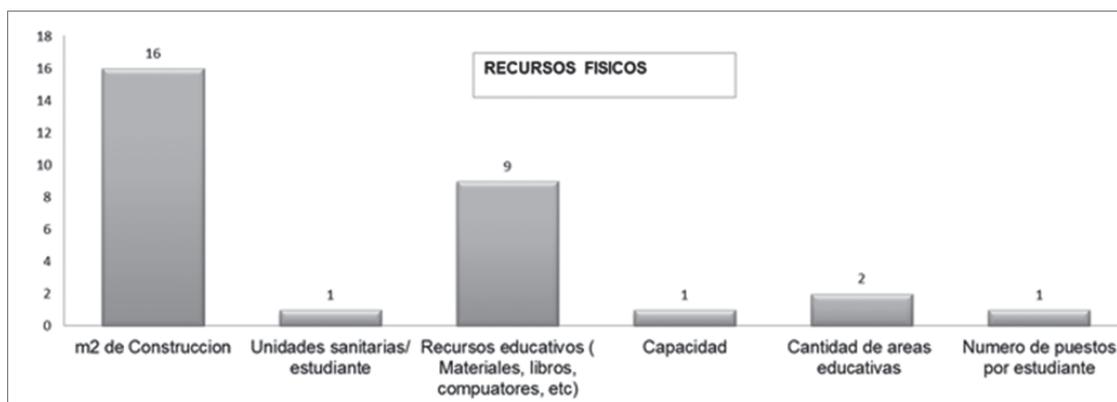


Figura 6. Entradas de Recursos Físicos

Fuente: Los autores.

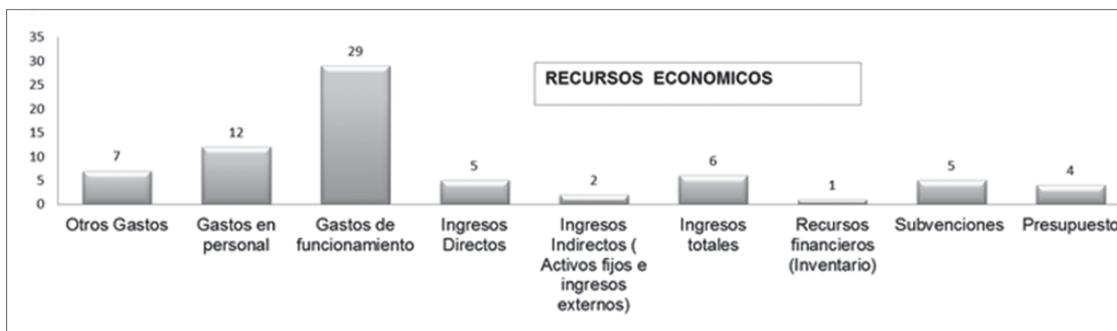


Figura 7. Entradas de Recursos Económicos

Fuente: Los autores.

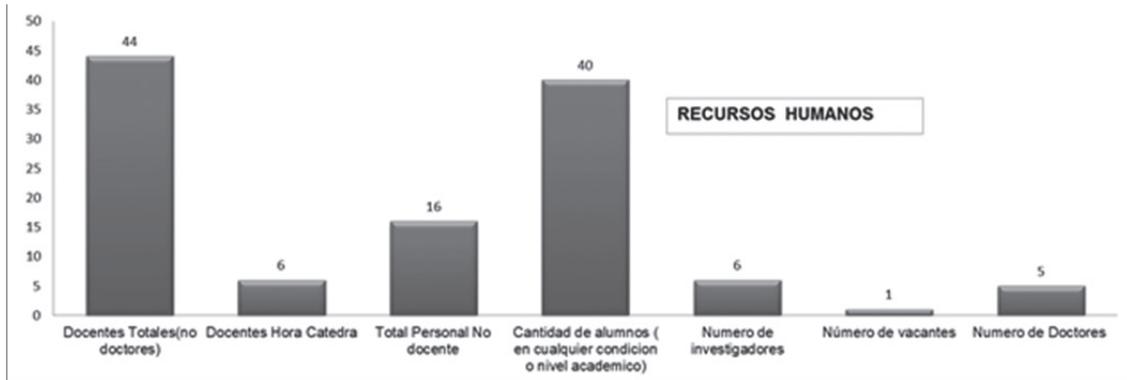


Figura 8. Entradas de Recursos Humanos
Fuente: Los autores

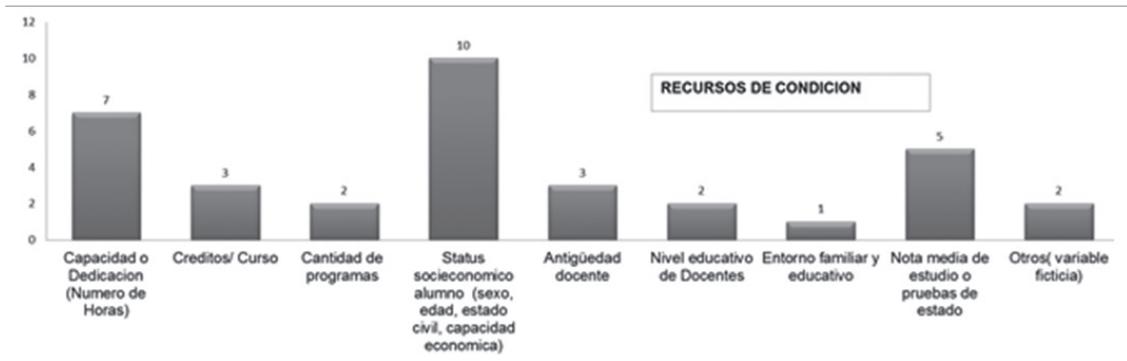


Figura 9. Entradas de Recursos de Condición
Fuente: Los autores

Se encuentra que la mayoría de entradas se hallan en las categorías de recursos financieros y humanos, con un 74,40% del total, tal y como lo muestra la Figura 10.

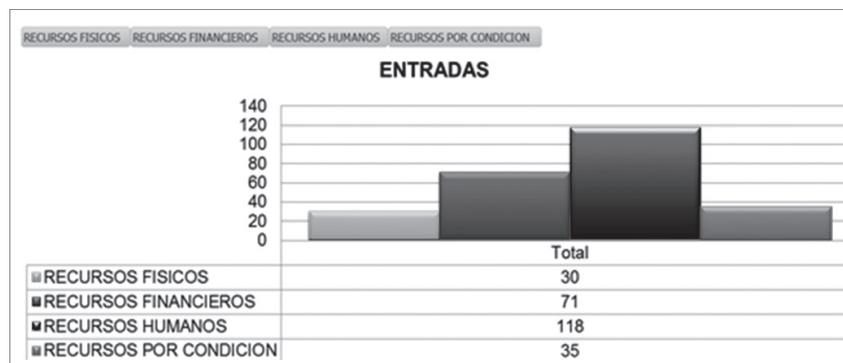


Figura 10. Distribución de las entradas
Fuente: Los autores



Salidas

Con respecto a las salidas estudiadas como determinantes del proceso educativo, no existe una regla para establecerlas; esta decisión depende de los datos disponibles y del criterio del investigador. En la Figura 11, se muestra el número de salidas citadas.



Figura 11. Número de salidas
Fuente: Los autores

Se determinó que el 49% de los estudios analizados utiliza entre dos y tres salidas.

Entre las salidas definidas por los investigadores referenciados, se tienen en cuenta resultados de exámenes de Estado, cantidad de graduados, entre otras. Se extrajeron 230 salidas, que se agrupan para su interpretación en tres categorías: Recursos físicos, recursos financieros y recursos humanos.

Las Figuras 12, 13 y 14, muestran la clasificación de las categorías, a saber: recursos físicos, financieros y humanos, y la cantidad de variables en las investigaciones citadas, respectivamente.

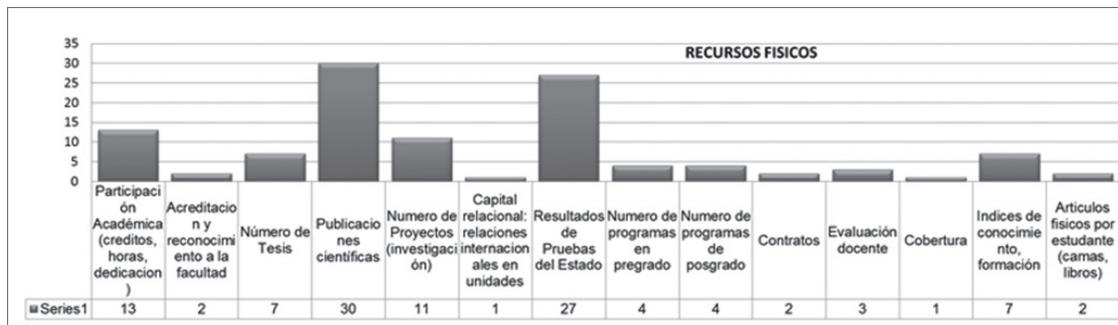


Figura 12. Salidas de Recursos Físicos
Fuente: Los autores



Figura 13. Salidas de Recursos Financieros
Fuente: Los autores



Figura 14. Salidas de Recursos Humanos
Fuente: Los autores

Las variables físicas son las que los autores consulados más utilizan, como lo muestra la Figura 15.

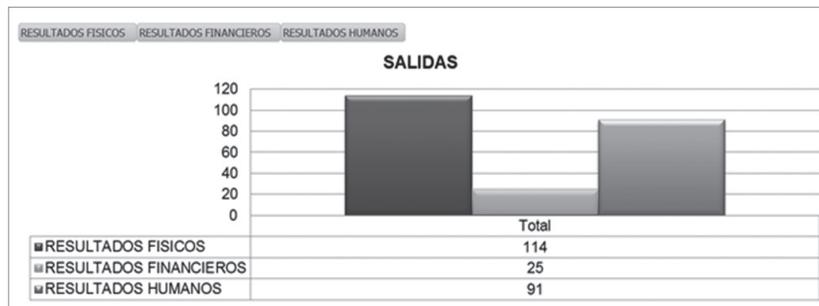


Figura 15. Clasificación de las salidas.
Fuente: Los autores



Conclusiones

El presente trabajo contribuye a la revisión bibliográfica sobre investigaciones a nivel global, que incluyen la aplicación del método no paramétrico *Análisis Envoltente de Datos* (DEA), con relación a la eficiencia de las instituciones educativas: en especial las de educación superior (IES).

Dentro del trabajo se destacan las investigaciones a nivel mundial que incluyen comparaciones de las universidades, facultades o programas; adicionalmente, se dedica un espacio a investigaciones colombianas. En cada caso se determinan las características relevantes para la implementación del método.

Cabe resaltar que los autores relatan sus mediciones de forma que son explícitas dentro del contexto matemático, pero también dentro del contexto institucional; dado que el método relaciona variables cualitativas y genera resultados cuantitativos, con los cuales se puede determinar si la unidad productiva es técnicamente eficiente con las unidades estudiadas; de no ser así las sitúa dentro de un marco de referencia en las cuales se tienen pares de eficiencia. También se establece la presencia de economías de escala en cada investigación, lo que lleva a la aplicabilidad del modelo CCR o BCC.

Con respecto al análisis estadístico descrito en el artículo, se concluye que la determinación de las variables es decisión de los investigadores, pero dentro del documento se determinan cuatro macro categorías, donde se albergan las entradas citadas, a saber: recursos físicos, financieros, humanos y de condición; para las salidas se determinan tres categorías, a saber: físicos, financieros y humanos. Con respecto a la cantidad de variables esta investigación no es contundente, pero se concluye que en los documentos consultados se encuentran entre dos y seis entradas, y entre dos y tres salidas.

Un análisis tanto de los modelos utilizados, las orientaciones sustentadas, entradas y salidas, además del estado del arte descrito a nivel mundial, son una base para posibles investigadores que tengan como objetivo realizar una medición de la eficiencia a nivel educativo, o en cualquier otra área, basándose en localización de datos y recursos que tengan presentes para el desarrollo investigativo. Con el objetivo final de que los resultados de las evaluaciones sirvan a entes administrativos, así como a grupos de investigación relevantes, para la toma de medidas con respecto al rumbo de la educación, y con ella alcanzar altos estándares de calidad, de las entidades públicas y privadas que prestan servicios educativos, así como también la mejor destinación de los recursos invertidos.

Agradecimientos

Producto derivado del proyecto INV-ING-1542, financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la UMNG - Vigencia 2014, del grupo de investigación PIT (Productividad, innovación y tecnología).



Referencias

1. Abbott, M., Doucouliagos, C. (2001). The efficiency of Australian universities: a data envelopment analysis. Department of Applied Economics, Australia. pp. 89-97.
2. Agasisti, T., Dal Bianco, A., Landoni, Sala, A., Salerno, M. (2011). Evaluating the Efficiency of Research in Academic Departments: an Empirical Analysis in an Italian Region. Italy, Volume 65, No. 3, pp 267-289
3. Agasisti, T., Pérez, C. (2010). Comparing Efficiency in a Cross-Country Perspective: The Case of Italian and Spanish State. Higher Education, Vol. 59, pp. 85-103.
4. Ahn, T., Charnes, A., Cooper, W. (1990). Some statistical and DEA evaluations of relative efficiencies of public and private institutions of higher learning. pp. 171.
5. Athanassopoulos, A., Shale, E., Assessing the Comparative Efficiency of Higher Education Institutions in the UK by the Means of Data Envelopment. Coventry, Education Economics, pp. 117-134.
6. Avkiran, N., (1999). Investigating technical and scale efficiencies of Australian Universities through data envelopment analysis. Australia. Socio-Economic Planning Sciences 35, pp. 57-80.
7. Azlina, N., Aziza, A., Mohd, R., Mahadic, R., (2013) Comparative Departmental Efficiency Analysis within a University: A DEA Approach, Universiti Teknologi, Malaysia. 6th International Conference on University Learning and Teaching, pp. 540 – 548.
8. Banker, R., D., Charnes, A., Cooper, W., (1981) A Bi-Extremal Principle for Frontier Estimation and Efficiency Evaluations. Management Science, Vol. 27, No 12.
9. Banker, R., D., Charnes, A., Cooper, W., (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. Management Science, Vol. 30, No 9.
10. Barbosa, S., (2010). Evaluación de la eficiencia de las escuelas de la Universidad Industrial de Santander aplicando Análisis Envolvente De Datos (DEA). Colombia. pp. 23-107.
11. Barra, C., Zotti, R., (2013). Interdepartmental Centre for Research in Labour Economics and Economic Policy. Interdepartmental Centre for Research in Labour Economics and Economic Policy. University of Salerno, pp. 1-30.
12. Breu, T., Raab, R., Efficiency and Perceived Quality of the Nation's "Top 25" National Universities and National Liberal Arts Colleges: An Application of Data Envelopment Analysis to Higher Education. University of Minnesota-Duluth, pp. 33-45.
13. Buitrago, O., Avella, J., (2008). Estudio de la Eficiencia Relativa de los colegios municipales de la ciudad de Tunja Aplicando Análisis Envolvente de Datos. Boyacá, Tunja. Universidad de Boyacá.
14. Caballero, R.; Galache, T.; Gómez, T.; Molina, J. and Torrico, A. (2004) Asignaciones presupuestarias y eficiencia en la política de recursos humanos de una universidad bajo criterios múltiples. XI Encuentro de Economía Pública, pp. 1-25.
15. Castrodeza, C, Peña, T., (2002). Evaluación de la actividad investigadora universitaria: Una aplicación a la Universidad de Valladolid. Estudios de Economía Aplicada, vol. 20, pp. 29-44.
16. Cervera, A., Oviedo, W., y Pineda, J. (2013). Revisión bibliográfica de la aplicación de la metodología DEA en el ámbito educativo colombiano. Revista Civilizar Ciencias Sociales y Humanas, 13(25), pp.133-156.
17. Charnes, A.; Cooper, W., y Rhodes, E. (1978): Measuring
18. Chalos, P., (1997). An examination of budgetary inefficiency in education using Data Envelopment Analysis. Financial Accountability & Management, 13, pp. 0267-4424.
19. Charnes, A.; Cooper, W., y Rhodes, E. (1978): Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, 2, 429-444.
20. Chediak, F., Rodríguez, Y., (2009). La eficiencia relativa en cobertura educativa de los municipios del Tolima, aplicando el Análisis Envolvente De Datos –DEA. Scientia et Technica Año XVII, No 47. pp. 1-5
21. Colin, J., McCallionb, G., McKillopc, D., Implications of variant efficiency measures for policy evaluations in UK higher education. School of Business, Retail & Financial Services, University of Ulster, Ireland, UK. Socio-Economic Planning Sciences 40, pp. 119-142.
22. Cordero, J., Ferrera, F., Pedraja, C., Salinas, J., (2005). Eficiencia en educación secundaria e inputs no controlables: sensibilidad de los resultados ante modelos alternativos. Revista de Economía Pública, pp. 61-83.
23. Cunha, M., Vera, (2012). On the Efficiency of Public Higher Education Institutions in Portugal: An Exploratory Study. University of Porto, pp. 1-30.
24. Diaz, G., Palacios, F. (2003). Construcción de índices asociados a técnicas multivariadas y el Análisis Envolvente de Datos para los centros educativos distritales. Universidad de los Andes. pp. 60-108
25. Emrouznejad, A., Thanassoulis, E. (2005). A mathematical model for dynamic efficiency using data envelopment



- analysis a Statistics and Operational Research Group, UK. *Applied Mathematics and Computation* 160, pp. 363–378.
26. Erasmus, F., Msigwa, R. (2013). Efficiency of Higher Learning Institutions: Evidences from Public Universities in Tanzania. *Journal of Education and Practice*. Vol.4, China, pp. 1-11.
27. Farrell, M., (1997). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, Vol. 120, No 3.
28. Fernández, Y., Almudena, S., Fernández, J., (2013). Evaluación de la eficiencia y el cambio de productividad en el sistema universitario público español tras la implantación de la LOU. *Review of Public Economics*, 205, pp. 71-98
29. García, A., González, M., (2011). La evaluación de la eficiencia de las universidades públicas de Colombia utilizando el Análisis Envolvente De Datos (AED). Bucaramanga, Colombia, pp. 27-224.
30. García, A., Palomares, D., (2008). Evaluation of Spanish Universities: Efficiency, Technology and Productivity Change. *Prime-Latin America Conference at Mexico*, pp. 24-26.
31. Giménez, V., Martínez, J. Eficiencia en Costes en la Universidad. Una Aplicación a los Departamentos de la UAB. *Universidad Autónoma de Barcelona*, pp. 12.
32. Gómez, J. (2012). La evaluación de la eficiencia en las universidades públicas españolas. *Universidad de Lleida. Espana*, pp. 1-24.
33. González, M., Verdugo, G., (2010). Análisis de eficiencia y productividad de las universidades chilenas mediante análisis y encapsulamiento de datos. *Curicó –Chile. Rev. Aporte Santiaguino*, pp. 245-256.
34. Izadi, H.; Johnes, G.; Oskrochi, R. y Crouchley, R. (2002). Stochastic Frontier Estimation of a CES Cost Function: The Case of Higher Education in Britain. *Economics of Education Review*, Vol. 21, pp. 63-72,
35. Johnes, J. (2005). Data envelopment analysis and its application to the measurement of efficiency in higher education Department of Economics, Lancaster University Management School, *Economics of Education Review* 25, pp. 273–288.
36. Johnes, J., (2006). Measuring efficiency: a comparison of multilevel modelling and Data Envelopment Analysis in the context of higher education. Department of Economics, Lancaster University, USA, *Bulletin of Economic Research*, pp. 1-30.
37. Johnes, J., Johnes, G. (1995). Research Funding and Performance in U.K. Departments of Economics: A Frontier Analysis. Lancaster University, Lancaster LA1 4YX, U.K. pp. 301-314.
38. Johnes, J., Yu, L. (2008). Measuring the research performance of Chinese higher education institutions using data envelopment analysis. *UK, China Economic Review* 19, pp. 679–696.
39. Kaoa, C., Tai, H., (2006). Efficiency analysis of university departments: An empirical study. *Department of Industrial and Information Management, Tainan, Omega* 36, pp. 653 – 664
40. Katharaki, M., Katharakis, G. (2010). A comparative assessment of Greek universities' efficiency using quantitative analysis. *Quantitative Methods, Statistics and Econometrics, Athens, Greece. International Journal of Educational Research* 49, pp. 115–128.
41. López, O., Suárez, E., (2011). Evaluación de la eficiencia de las instituciones educativas oficiales de Bucaramanga mediante el Análisis Envolvente de Datos DEA. Bucaramanga, Colombia, pp. 41-124.
42. Marinho, A., Resende, M., Façanh, L., (1997). Brazilian Federal Universities: Relative Efficiency Evaluation and Data Envelopment Analysis. *Brazil*.
43. Marta, M., (2008) Eficiencia técnica de las universidades de gestión estatal en Argentina. *Facultad de Ciencias Sociales y Económicas*. pp. 1-46
44. Martín, R., (2008) La Medición de la Eficiencia Universitaria: Una Aplicación del Análisis Envolvente de Datos. *Universidad de La Laguna, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Formación Universitaria Vol. 1(2)*, pp. 17-26
45. Melville, L., Debasish, D., (1998). The Relative Efficiencies of Canadian Universities: A DEA Perspective, *Department of Economics. Alberta*. pp. 1-27
46. Moriones, N., Palacios, F., (2006). Aplicación de Análisis Envolvente De Datos a los centros de educación del distrito (CED' s). *Tesis Universidad de los Andes. Bogotá*.
47. Murias, M., (2004). Eficiencia técnica y calidad del output en la Universidad de Santiago de Compostela. *Universidad de Santiago de Compostela*. pp. 29-64.
48. Murias, P., Martínez, R., Miguel, D., y Rodríguez, D., (2004), Un Análisis Envolvente de Datos de la eficiencia de los centros de educación secundaria gallegos. *España*, pp. 1-14.
49. Murias, P., Miguel, J., Rodríguez, D., (2008). A Composite Indicator for University Quality Assesment: The Case of Spanish Higher Education System *Social Indicators Research*, Vol. 89, No. 1, pp. 129-146.
50. Pino, J., Solís, M., Delgado, M., y Barea, R., (2010). Evaluación de la eficiencia de grupos de investigación mediante análisis envolvente de datos (DEA)". *El profesional de la información*, v. 19, n. 2, pp. 160-167.



51. Piñeros, J. (2010). Descentralización, gasto público y sistema educativo oficial colombiano: un análisis de eficiencia y calidad. Universidad Nacional de Colombia, pp. 9-51
52. Quesada, V., Blanco, I., Maza, F. (2010). Análisis envolvente de datos aplicado a la cobertura educativa en el departamento de Bolívar-Colombia (2007-2008) *Omnia*, vol. 16, núm. 3, pp. 77-100.
53. Rodríguez, G. (2011). Indicadores DEA (Data Envelopment Analysis) de Eficiencia y Productividad para las actividades de Extensión universitaria Aplicación en la Universidad Nacional de Colombia. pp. 15-240.
54. Rojas, M. (2010). Clasificación de los grupos de investigación de la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, mediante la estimación de la eficiencia técnica utilizando Análisis Envolvente De Datos. Universidad Nacional De Colombia, pp. 25-78.
55. Rhodes, E. (1978), Data envelopment analysis and related approaches for measuring the efficiency of decision-making unit with application to Program follow through U.S. education. Carnegie-Mellon University School of Urban and Public Affairs, Pittsburgh, Ph. D. Thesis.
56. Santín, D., Sicilia, G., (2012), La medición de la eficiencia educativa en Uruguay. ¿Cuáles son sus determinantes? Departamento de Economía Aplicada VI. Universidad Complutense de Madrid, España. pp. 2-25
57. Seijas, A., (2005). Análisis de la eficiencia técnica en la Educación Secundaria. Universidad de A Coruña. Estudios de Economía Aplicada Vol. 23 - 2, 2005. España. pp. 299-322.
58. Silva, C., (2011). Análisis de eficiencia de institutos tecnológicos de España y Brasil: una aplicación del Análisis Envolvente De Datos (DEA), *Technol. Manag. Innov.* 2006, Volume 1, Issue 4, pp. 43-57.
59. Sinuany, Z., Sterna, A., Barboys, A., Academic departments efficiency via DEA. Department of Industrial Engineering & Management, Israel. *Computers Ops Res.* Vol. 21. No. 5, pp. 543-556.
60. Soto, J., Bernal, M., Arenas, W. (2009). Enfoque metodológico para medir la calidad de los programas académicos de la universidad tecnológica de Pereira. *Scientia et Technica*, vol. XV, núm. 42, Pereira, Colombia. pp. 111-116.
61. 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 B Management*, pp. 442-4.
62. Torrico, A., Pérez, F., Galache, T., Molina, J., Gómez, T. y Caballero, R., (2007). Análisis de la eficiencia de las unidades productivas de una universidad. Universidad de Málaga. España, pp. 1-33.
63. Vázquez, M. (2004). Medición de la eficiencia de las universidades públicas españolas. Combinación de la metodología DEA con PCA. Universidad de Sevilla. España. pp. 1-19.
64. Visbal, D., Palacios, F., (2005). Evaluación de la eficiencia relativa en el uso de recursos de las universidades públicas colombianas mediante la metodología Data Envelopment Analysis. Universidad de Los Andes, Colombia pp. 1-18.
65. Worthington, Leeb, B., (2008) Efficiency, technology and productivity change in Australian universities, 1998–2003. *Australia. Economics of Education Review* 27, pp. 285–298.