

## **Las variables de entorno dentro de la eficiencia del subsector de biodiesel**

(Recibido: septiembre 2017/Aceptado: enero 2018)

## Resumen

El subsector energético considerado uno de los primordiales para desarrollo de toda nación, atraviesa por una fase importante, que ha conducido a la búsqueda de energías alternativas, dentro de las cuales se encuentran los biocombustibles. En este contexto la presente investigación tiene como objetivo principal determinar el nivel de eficiencia técnica relativa de empresas productoras de biodiesel a base de aceites vegetales y grasas animales (BAVGA) de México, en relación a las de Costa Rica, España y Estados Unidos (EU) incorporando variables ambientales o de entorno de forma adicional a las variables de técnicas de entrada, haciendo además uso del modelo *Data Envelopment Analysis* (DEA) como herramienta de análisis económico cuantitativo. La evaluación se realizó en 30 empresas durante el 2014. Lo cual permite establecer decisiones en áreas operativas para que las empresas mexicanas logren mayor nivel de eficiencia. Los hallazgos en el presente análisis, permitirán dar cumplimiento a los objetivos planteados. En donde se encuentra que las políticas y los apoyos gubernamentales son los principales factores que determinan el aumento de la eficiencia relativa, principalmente en las empresas norteamericanas.

*Palabras clave:* biodiesel, eficiencia, sustentabilidad, variables ambientales.

### *Clasificación JEL: Q01*

\* Profesora en la Facultad de Economía de la UMSNH. Correo electrónico: bravajoss@hotmail.com

\*\* Profesor en la Facultad de Economía de la UMSNH. Correo electrónico: brayajoss@hotmail.com.  
\*\* Profesor-investigador en la Facultad de Economía de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Correo electrónico: rogomo@gmail.com

\*\* Profesora-investigadora en la Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas de la UMSNH.  
Correo electrónico: jc.espirita.m@gmail.com

## The environment variables within the efficiency of the biodiesel subsector

### Abstract

The energy sector is considered one of the key to development of any nation, is going through an important phase, there are factors that have led to searches for alternative energy sources, and biofuels are among these alternatives. In this context, this research objective is to determine the level of relative technical efficiency of companies producing vegetable oil and animal fat based biodiesel fuels (BAVGA) in Mexico, in relation to Costa Rica, Spain and the United States and incorporating inputs and environmental variables, also making also use of the model DEA model as a tool for quantitative economic analysis quantitative incorporating each of the variables mentioned before. The evaluation was applied to the operations of 30 companies during the year 2014 and can guide decision-making in operational areas of Mexican companies to achieve higher efficiency levels. The main finds of the present analysis, are the following: it is found that the policies and the government support are the main factors that determine the increase in the relative efficiency, mainly in the North American companies.

*Keywords:* biodiesel, efficiency, environmental variables, sustainability.

*JEL classification:* Q01.

### 1. Introducción

El sector energético es esencial para la vida diaria del ser humano, y el desempeño económico tiene un efecto directo en la dinámica del consumo de energía [Secretaría de Energía (SENER, 2010, p. 9)]. El sector transporte es el consumidor de energía más grande y con la mayor tasa de crecimiento a nivel mundial. “Entre 2000 y 2010 la tasa de motorización prácticamente se duplicó en México. Martínez (2012), muestra en su investigación que la contaminación derivada del sector transporte en ciertas zonas del país es grave.

La contaminación atmosférica aparece con más frecuencia en las zonas de alta densidad demográfica o industrial, donde los principales agentes contaminantes son las emisiones causadas por los vehículos, lo cual representa en el país 75% de las emisiones anuales de contaminantes (p. 4). “Los efectos del cambio climático representan un reto importante. Estos retos requieren una transformación en los patrones de producción y uso de energía” (SENER, 2013, p. 4). En la práctica, la mayoría de los trabajos académicos y políticas se han centrado en la interacción entre economía y medio ambiente, mientras que la dimensión social ha sido la más frágil y menos desarrollada (Lehtonen, 2011, p. 2425). “En México se proyecta que la bioenergía y en particular los biocombustibles jueguen un papel importante en el logro de las política de largo plazo en cuanto a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y en la contribución del sostenimiento de oferta energética” (Bellarby, y Gill, 2010, p. 1935).

Ante esta posibilidad y oportunidades que este tipo de bioenergía presenta, también existen inquietudes en torno al proceso que conlleva la generación de los biocombustibles, tales como deforestación, aumento de materias agrícolas, ineficiencia ambiental en todo el ciclo de vida del producto, etc. “No existe producción de energía o tecnología de conversión sin riesgos o sin desechos. En algún punto de todas las cadenas de energía se producen o emiten contaminantes” (Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA, 2008, p. 1).

El biodiesel presenta una adecuada oportunidad, ya que tiene propiedades químicas similares al diésel, por lo cual no requiere ninguna modificación en la Ingeniería o en el equipo para habilitar su uso tanto en forma de mezcla como de sustituto total y puede ser obtenido de las siguientes fuentes: *aceite vegetal virgen; grasas animales y; aceite de cocina usado y automotor* (Moreco, 2013). Entre las ventajas se pueden mencionar el bajo precio, la reducción de problemas ambientales, la obtención de subproductos y la reducción de plagas y cucarachas. Mientras que las desventajas se encuentran la limitación de la materia prima, la deficiencia en la recolección, y la baja legislación en la recolección. Esto indica que existen importantes ventajas, sin embargo hacen falta estímulos para llevar a cabo la producción en escala grande y un sistema de recolección estructurado.

De la problemática descrita anteriormente, se describe el siguiente objetivo de investigación, el cual es: determinar el nivel de eficiencia técnica

relativa de empresas productoras de BAVGA de México, con relación a las de Costa Rica, España y Estados Unidos incorporando variables de entrada y variables de entorno, haciendo uso del modelo DEA. Para el logro de este objetivo se plantea el uso del análisis DEA, como herramienta de análisis económico cuantitativo, la cual es válida y ampliamente utilizada para evaluar el desempeño de sectores y subsectores productivos, como el subsector de biodiesel (López, J., Henao, S. y Morales, M., 2007). Dentro de estos estudios se vienen desarrollando métodos de estimación de eficiencia incorporan factores externos al proceso de producción; las llamadas variables ambientales y factores de entorno (Palomares, 2012, p. 4).

Para el logro de los objetivos propuestos en la presente investigación se utilizó el método, de tipo no experimental-transversal, ya que no se manipularon las variables y los datos fueron retomados en un momento dado. *La primera fase*, presenta los fundamentos de la presente investigación; *La segunda fase* detalla los fundamentos teóricos; *La fase tres y cuatro*, describe todos los aspectos relacionados con el objeto de estudio, y se lleva a cabo la recolección de datos y su procesamiento. La fase cinco muestra los resultados de la evaluación de eficiencia en el biodiesel y, *La fase seis y siete* presenta en la parte final, donde se exponen conclusiones, las recomendaciones y propuestas para mejorar el subsector energético de los biocombustibles.

## 2. Marco Teórico

El enfoque teórico de la eficiencia de los biocombustibles abarca conceptos como sustentabilidad y eficiencia evaluadas en tres etapas, por lo cual es importante conocer las diferentes aportaciones con relación a estos temas.

*En torno a la sustentabilidad.* Como ya fue mencionado en la parte introductoria, el desarrollo sustentable, es de mucha importancia dentro del ámbito de la energía en cuanto este impacta directamente al aspecto económico y al aspecto ambiental. “Cuando el uso de las fuentes de energía es examinado en términos de eficiencia de producción, y minimización de los efectos negativos sobre el medio ambiente, el concepto de fuentes de energías limpias e inagotables hace su aparición dentro de la agenda” (Acaroglu *et al.*, 2011). Pierri (2008), menciona que los primeros planteamientos entorno a la sustentabilidad se hallan con Thomas Robert Malthus en su ensayo *Sobre población* (1798), argumentando que mientras la población se

desarrollaba exponencialmente, la producción de alimentos lo hacía linealmente lo cual a largo plazo tendría un efecto importante sobre el medio ambiente (p. 38). Cincuenta años más tarde, en la década de los 40 aparecen movimientos de la sociedad civil y la academia que cuestionaban el modelo de industrialización y de desarrollo. (Gutiérrez, 2007, p. 55). Pocos años más tarde, una vez concluida la Segunda guerra mundial “una parte importante de la producción teórica se centró en la elaboración y el análisis de modelos estilizados, pero el rápido crecimiento de la economía mundial de mediados de los años sesenta, hizo olvidar la incidencia de los aspectos sociales y ambientales en el desarrollo (OLADE y CEPAL, 2003, p. 7). En 1972 en la Conferencia de Estocolmo se reconoce que el desarrollo económico requiere de una invención ambiental. Esta versión fue reelaborada en el artículo *Environnement et styles de développement* (1974), que describe el concepto de ecodesarrollo, utilizado para describir un estilo de desarrollo que busca la satisfacción de las necesidades básicas y la autonomía (Pierri, 2005, pp. 48-49). El término sustentabilidad se popularizó ya por primera vez en 1987, en La Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo de las Naciones Unidas (CMMAD), la cual plantea que “La sustentabilidad puede garantizarse por medio de la acumulación de capital físico que compense las reducciones de acervo material” (Comisión Económica para América Latina (CEPAL, 2003, p. 89).

Dentro de las aproximaciones del término de eficiencia, se muestra que históricamente la concepción y aplicación de la eficiencia ha tomado vertientes distintas dentro de la economía: desde un enfoque *macroeconómico*, Maldonado (2008), menciona que la eficiencia se traduce en la habilidad de un país para explotar sus recursos disponibles y obtener su producción total (p. 14). Pero cuando es analizado desde la perspectiva *microeconómica*, Gómez (2012), menciona que la función denota la relación técnica que mide el volumen máximo de producción que puede obtenerse a partir de una cantidad de factores o el volumen mínimo de *inputs* para obtener una cantidad de producción. (p. 31). “Metodológicamente, para obtener una medida de eficiencia es necesario conocer la función de producción o bien el conjunto de datos de producción aplicado, así como la frontera eficiente” (Guzman, 2005, p. 5). La aproximación cuantitativa que se muestra desde el trabajo de Farrel, “es desarrollada desde una perspectiva real y no ideal, donde cada unidad de decisión pueda ser evaluada en relación con otras unidades homogéneas” (Fernández y Flores, 2005, p. 3). Sus dos grandes aportaciones,

se basaron en el desglose técnico y asignativo. La primera se refiere de acuerdo a Arzubi y Berbel (2002), a la habilidad de obtener el máximo nivel de producción dado la menor combinación de insumos, bajo el supuesto de rendimientos constantes a escala (RCE); Mientras que la segunda, menciona Romeu y Rodríguez (2008), supone lograr el costo mínimo de producción de una cantidad determinada de producción al cambiar las relaciones proporcionales de los insumos utilizados en función de sus precios y productividades marginales (p. 6). “El concepto de eficiencia puede ser extendido en varias direcciones costos, la maximización de ingresos o la maximización de beneficios” (Gómez, 2012, p. 38). Que de acuerdo con este mismo autor las ecuaciones que las determinan son:

Dentro de la eficiencia en costos, la frontera determina el coste mínimo ( $C^*$ ) que cada empresa podría alcanzar, dado su vector de *outputs* ( $y$ ) y el vector de precios de los *inputs* ( $v$ ). Los costos reales de la empresa ( $C$ ) dependen, además del vector de *outputs* ( $y$ ), del vector de precios de los *inputs* ( $v$ ), y del nivel de ineficiencia en costos ( $\varepsilon_c$ ):

$$C = C^*(y, v) + \varepsilon_c \quad (1)$$

La eficiencia en costos ( $EC$ ), de acuerdo con el concepto de Farrell, se define como el cociente entre el mínimo coste al que es posible obtener un determinado vector de *outputs* y que está determinado por la frontera ( $C^*$ ) y el coste en el que realmente se ha incurrido ( $C$ );  $EC=C/C^*$ . La eficiencia en costos está acotada entre 0-1. Un valor de la eficiencia en costos de  $EC$  significa que sería posible producir el mismo vector de producción con un ahorro en costos de  $100*(1-EC)$  %.

Dentro de la eficiencia en ingresos, se relaciona los ingresos generados con un determinado vector de producción ( $I$ ) con el máximo ingreso posible asociado a ese vector y determinado por la frontera de ingresos ( $I^*$ ). Si se supone que existe competencia perfecta en los mercados de *outputs* de forma que las empresas son precio aceptantes y toman los precios ( $u$ ) como dados, la empresa bancaria tratará de maximizar los ingresos ajustando las cantidades de los vectores de cantidad de *output* ( $y$ ). La frontera de ingresos ( $I^*$ ) puede expresarse como:

$$I = I^*(U) + \varepsilon_i \quad (2)$$

*La eficiencia en ingresos*, de acuerdo con el concepto de Farrell, se define como el cociente entre el ingreso observado ( $I$ ) y el ingreso máximo

alcanzable determinado por la frontera dados los precios de *outputs*, ( $I^*$ ). Un valor de la eficiencia en ingresos de  $EI = I/I^*$  implica que sería posible aumentar el ingreso de la empresa en  $(1-EI) \cdot 100\%$ , dados los precios de los *outputs* a los que se enfrenta la empresa.

*Eficiencia en beneficios:* la eficiencia en beneficios relaciona los beneficios ( $B$ ), generados con un determinado vector de producción, con el máximo beneficio posible asociado a ese vector y determinado por la frontera ( $B^*$ ). Si consideramos la existencia de poder de mercado en la fijación de los precios de los *outputs*, siguiendo a Berger y Mester (1997) y a Maudos y Pastor (1999), se obtiene la denominada frontera de beneficios estándar, la cual supone que existe competencia perfecta en los mercados de *outputs* e *inputs* de forma que las empresas son precios aceptantes y toman los precios como dados. Dado el vector de precios de los *outputs* ( $u$ ) y el de precios de los *inputs* ( $v$ ), la empresa bancaria trata de maximizar los beneficios ajustando las cantidades de los vectores de cantidad de *output* ( $y$ ) e *inputs* ( $x$ ). Así, en este supuesto, se puede expresar:

$$B = B^*(v, u) + E_B \quad (3)$$

*La eficiencia en beneficios*, de acuerdo con Farrell, se define como el cociente entre el beneficio observado ( $B$ ) y el beneficio máximo alcanzable determinado por la frontera ( $B^*$ ), dados los precios de *outputs* e *inputs*. Así, un valor de la eficiencia estándar en beneficios de  $EB = B/B^*$  implica que sería posible aumentar el beneficio de la empresa en  $(1-EB)^*100\%$ , dados los precios de los *outputs* e *inputs* a los que se enfrenta (pp. 39-42). En cuanto a la opción metodológica de estimación, hay quienes prefieren los métodos paramétricos, por su uso de la econometría. Mientras otros prefieren los de programación matemática.

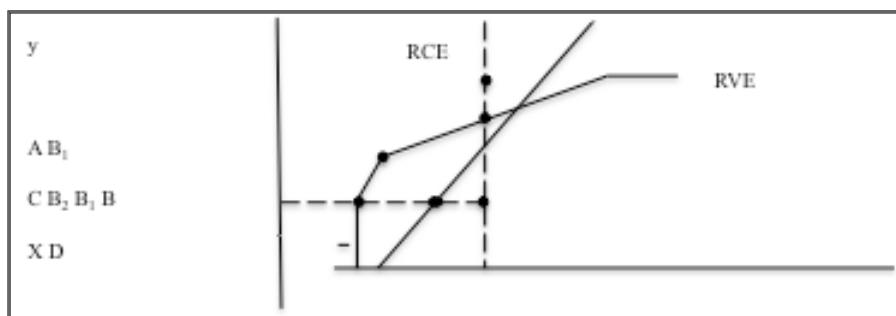
El análisis DEA es una técnica de programación matemática no lineal donde las empresas eficientes se unen linealmente, conformando una envolvente de posibilidades de producción para el resto de las empresas ineficientes. “El segmento que une dos empresas eficientes próximas entre sí constituye un límite eficiente y con orientación *input* u *output*, haciendo uso de algoritmos de programación lineal obteniendo resultados equivalentes” (González y Álvarez, 2001). La información obtenida mediante el modelo presenta cuatro aspectos descritos por Fernández y Flores (2005):

El indicador de eficiencia, que revela si la unidad analizada es o no es eficiente; Las holguras, que señalan las cantidades de *inputs* y *outputs* a

disminuir e incrementar; *Las unidades eficientes* que se toman como punto de referencia, y a las que se deberán aproximar el resto de unidades no eficientes; *Los coeficientes*, que señalan la importancia de cada indicador en el nivel de eficiencia (p. 4).

Asimismo, la información que facilita el modelo permite evaluar los niveles de actividad y recursos que podrían alcanzarse en situación de eficiencia, y; el nivel de producto que podría obtenerse si se redujeran los recursos disponibles (Fernández y Flores, 2005). Inicialmente el modelo de *Rendimientos Constantes a Escala* (RCE), se da a conocer en 1978 con una publicación realizada por Charnes, Cooper y Rhodes, el cual fue posteriormente extendido por Banker, Charnes y Cooper (1984), es decir el modelo de *Rendimientos Variables de Escala* (RVE), o modelo BCC (Gómez y Pascual, 2010). En la figura siguiente, se ilustra el caso de dos entidades *A* y *B* tales que a partir de un único *input*, *x*, obtienen un único *output*, *y*. En ella se representan las dos fronteras DEA de los modelos DEA-RCE y DEA-RVE:

En la figura 1 se expresa lo siguiente, el segmento indicado por  $B_1$  y  $A$  representa rendimientos crecientes a escala. De manera que la unidad  $B_1$  es técnicamente eficiente, pero ineficiente a escala constante. El punto *A* se encuentra sobre ambas fronteras, por lo tanto representa eficiencia tanto técnica como a escala. El tramo  $A$  y  $B_3$  representa rendimientos decrecientes, siendo estas técnicamente eficientes, pero ineficientes a escala. Considerando una orientación *output*, puede observarse que en el supuesto de RCE, la eficiencia de la entidad *B* está dada por el cociente  $DB/DB_4$ . Si la entidad opera



Fuente: elaboración propia con base en información obtenida en Gómez, 2012.

Figura 1  
Representación gráfica del modelo DEA- RCE y RVE

con tecnología de rendimientos variables a escala, la eficiencia está dada por la ratio  $DB/DB_3$ . La relación por cociente entre la *eficiencia técnica global* y la *eficiencia técnica pura* ( $ETG/ETP$ ), es decir,  $DB_3/DB_4$  produce como resultado la eficiencia de escala.

$$ETG = ETP + EE \quad (4)$$

donde:

$ETG$  = eficiencia técnica global

$ETP$  = eficiencia técnica pura

$EE$  = eficiencia técnica de escala

Puede concluirse que la frontera de *RCE* es más restrictiva y producirá, generalmente, un menor número de entidades eficientes así como puntuaciones menores de eficiencia. Debe observarse, además, que la eficiencia *input* y *output* bajo *RVE* no es necesariamente igual. Los resultados que pueden obtenerse con la aplicación del modelo *DEA-RCE* es similar a la que proporciona el modelo *RCE*. A partir de los valores óptimos de la resolución del modelo para cada unidad pueden determinarse diferentes aspectos: valores objetivo, conjuntos de referencia para las unidades ineficientes, porcentajes de mejora *input/output*, porcentajes de contribución *input/output*, etc. Además, es posible descomponer la eficiencia técnica global en eficiencia técnica pura y eficiencia de escala (Gómez, 2012, pp. 76-78).

Tanto en la versión *RCE* como en la *RVE*, la eficiencia puede ser caracterizada con relación a dos orientaciones básicas:

Los modelos *outputs* orientados, buscan, dado el nivel de *inputs*, el máximo incremento proporcional de los *outputs* permaneciendo dentro de la frontera de posibilidades de producción. Los modelos *inputs* orientados, persiguen, la máxima reducción proporcional en el vector de *inputs* permaneciendo dentro de la frontera de posibilidades de producción (Gómez, 2012, p. 70).

Modelo de rendimientos variables de escala (*RCE*): Al adentremos al modelo bajo esta condición, la representación matemática del modelo de acuerdo supone una muestra de unidades de decisión de medida (DMUs) tales que cada  $DMU_j$  ( $j=1,2,3\dots n$ ) produce  $s$  *outputs*  $Y_{rj}$  ( $r=1,2,3\dots s$ ) utilizando  $m$  *inputs*  $X_{ij}$  ( $i=1,2,3\dots m$ ). El modelo *DEA-RCE output* orientado expresado en forma fraccional se formula mediante las ecuaciones siguientes:

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimizar } h(u, v) = \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}} \\
 & \text{s.a. } \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}} \geq 1 ; \\
 & \quad v_i, u_r \geq 0 \\
 & \quad j = 1, \dots, n; r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m
 \end{aligned} \tag{5}$$

El subíndice, representa a la unidad evaluada. Los pesos óptimos ( $u^*r$ ;  $v^*i$ ), solución del problema, diferirán de una entidad a otra, ya que el modelo se resuelve para cada entidad. El coeficiente de eficiencia de la unidad está dado por  $1/h^*0$ . Si la solución óptima es  $h^*0 = 1$ , esto indicará que la entidad que está siendo evaluada es eficiente en relación con las otras entidades consideradas. Si el índice es mayor que uno, la unidad evaluada será ineficiente. En este caso, las entidades que con los mismos pesos ( $u^*r$ ;  $v^*i$ ) de la entidad ineficiente que está siendo evaluada, resulten ser eficientes se denominan *peers* (pares) y constituyen el conjunto de referencia eficiente de la unidad ineficiente. Este programa factorial puede transformarse en un programa lineal para facilitar su resolución. Para ello, basta con minimizar el numerador de la función objetivo manteniendo constante el denominador.

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimizar } h(u, v) = \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} \\
 & \text{s.a. } \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} = 1 \\
 & \quad \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \geq 0 \\
 & \quad V_i, u_r \geq 0 \\
 & \quad j = 1, \dots, n; r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m
 \end{aligned} \tag{6}$$

El programa lineal selecciona las ponderaciones que minimizan el *input* virtual de la unidad evaluada ( $v_i x_{i0}$ ) condicionadas a que su *output* virtual ( $u_r y_{r0}$ ) sea igual a la unidad, así como que la aplicación de dichas ponderaciones al resto de unidades de decisión evaluadas no permita que su *output* virtual exceda del *input* virtual. La unidad será eficiente si su *input* virtual es la unidad. En la práctica, el cálculo de los índices de eficiencia resulta más sencillo si se utiliza la forma dual del modelo anterior, a través de la cual se construye una aproximación lineal por tramos a la verdadera frontera de producción. La formulación dual es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximizar } \varphi \\
 \text{s.a. } & \sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} \leq X_{i0} \quad i = 1, \dots, m \quad (I) \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} \geq \varphi \cdot Y_{r0} \quad r = 1, \dots, s \\
 & \lambda_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{7}$$

En este caso,  $\varphi = 1$  si la unidad evaluada se considera eficiente, pues no existe otra que produzca más o que consiga el mismo nivel de producción con menores recursos que ella. Con este análisis DEA también se puede detectar posibles reducciones adicionales en los *inputs* o incrementos en los *outputs* mediante la incorporación al modelo dual de las denominadas variables de holgura o *slack*s. Por tanto, es posible que no se satisfaga la condición de eficiencia de Pareto-Koopmans, más restrictiva que la de Farrell, según la cual una entidad es eficiente si y solo si  $\varphi^* = 1$  y todas las holguras son cero, en caso contrario la entidad es evaluada como ineficiente. Concretamente, para los *inputs* estas holguras representan la cantidad adicional que se podría ahorrar cada productor en la utilización de los mismos en el caso de ser eficiente, mientras que, para los *outputs* se identifican con cuánto podría incrementar la producción si alcanzara un comportamiento eficiente. Estas variables de holgura se pueden incluir en el DEA a través de las siguientes expresiones:

$$s^- i = X_{i0} - (\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{j0}) ; S^+ r = (\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj}) - \varphi \cdot r_0 \tag{8}$$

Donde  $s^- i$  representa el exceso de *input*  $i$  y  $S^+ r$  la carencia del *output*  $r$ . Por lo que el modelo dual (de maximización del *output*) es la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximizar } \varphi + \sum_{i=1}^m s^- i + \sum_{r=1}^s S^+ r \\
 \text{s.a. } & \sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} + s^- i = X_{i0} \quad i = 1, 2, \dots, m \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} - S^+ r = \varphi \cdot r_0 \quad r = 1, 2, \dots, s \\
 & \lambda_j \geq 0; S^+ r \geq 0; i^- \geq 0
 \end{aligned} \tag{9}$$

Donde  $\varphi$  es el índice de eficiencia,  $\lambda_i$  son las ponderaciones y  $s^- i$  y  $S^+ r$  son las variables de holgura de los *inputs* y de los *outputs*, respectivamente. En este caso una DMU es relativamente eficiente si y solo si su índice de eficiencia es igual a la unidad y además todos los *slack*s son nulos. Con esta

formulación del programarse asigna un índice de eficiencia a cada unidad evaluada, se obtiene la ineficiencia en el uso de cada *input* o en la consecución de cada *output*.

A nivel práctico, uno de los resultados DEA que puede resultar más interesante, consiste en la obtención, para toda entidad ineficiente, de un punto de proyección ( $X_0, \bar{Y}_0$ ) sobre la frontera eficiente que represente a una entidad (real o virtual) eficiente, la cual, en un modelo *outputs* orientado producirá, como mínimo, la proporción  $\varphi$  de los *outputs* de la unidad evaluada y consumirá, como mucho, la misma cantidad de *inputs*. El referido punto de proyección vendrá dado por  $X_0 = \sum_{j=1}^n \lambda *_j X_j; Y_0 = \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j$  es decir, la entidad eficiente resultante de la proyección es obtenida como una combinación lineal de los puntos observados, esto es, de otras entidades, que se dice constituyen el conjunto de referencia de la entidad evaluada y calificada como ineficiente. Conocidas para la entidad ineficiente las coordenadas de su proyección sobre la frontera, es posible determinar otros dos importantes resultados: sus valores objetivo (*input* y *output*) y la mejora potencial que debería promoverse. Los valores objetivo (*targets*), son los niveles *input* y *output* que, en caso de alcanzarlos, convertirían a una entidad ineficiente en eficiente. La mejora potencial, en términos absolutos o relativos, se obtiene al comparar los valores observados para la entidad evaluada con sus valores objetivo. Determinado el conjunto de referencia y los valores objetivo de una entidad ineficiente, también resulta muy interesante poder saber en qué medida cada una de las unidades del conjunto de referencia (*benchmark*) contribuye a éstos. Esta información expresa la mayor o menor importancia que, en cada variable *input* y *output*, representa la *benchmak* para la entidad ineficiente. El porcentaje de contribución de la entidad eficiente  $k$  a los valores objetivo del *output*  $r$  de una entidad ineficiente ( $PC_{k,r}$ ), vendrá dado por:

$$PC_{k,r} = 100 \frac{\lambda Y_{rk}}{\sum_{j=1}^n \lambda *_j Y_{rk}} \quad (10)$$

En tanto que el porcentaje de contribución de la entidad eficiente  $k$  a los valores objetivo del *input*  $i$  de una entidad ineficiente ( $PC_{k,i}$ ) será:

$$PC_{k,i} = \frac{100 (\lambda_{ik} X_{ir})}{\sum_{j=1}^n \lambda *_j X_{ij}} \quad (11)$$

Modelo de rendimientos variables de escala (RVE): desde el punto económico supone el proceso productivo de la empresa bajo el horizonte

temporal de largo plazo. En la orientación *output* a medida de eficiencia de una unidad puede estar condicionada no solo por la gestión de la misma; sino también, por la escala en la que opere y los modelos anteriores suponen RCE:

$$\text{Maximizar } h(u,v) = \sum_{r=1}^s U_r Y_0 + \mu \quad (12)$$

$$\text{s.a. } \sum_{r=1}^s V_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m U_i X_{ij} + \mu \leq 0; j = 1, L, n \quad (13)$$

$$\sum_{r=1}^s V_r Y_{rj} = 1; j : 1, \dots, n \quad (14)$$

$$\begin{aligned} V_r, u_i &\leq 0; j : 1, \dots, n \\ \mu &\text{ libre} \end{aligned} \quad (15)$$

En este último modelo el óptimo,  $\mu$ , indica las posibilidades de rendimientos a escala en que se encuentra operando la unidad. “ $\mu \leq 0$  implica que la unidad evaluada está operando con rendimientos crecientes a escala;  $\mu \geq 0$  implica que la unidad está operando bajo rendimientos decrecientes y, finalmente  $\mu = 0$  indica que está operando bajo RCE” (Sanhueza, 2003, p. 89).

Recientemente se vienen desarrollando métodos de estimación de eficiencia que tienen en cuenta los factores externos al proceso de producción. “La realización de un análisis sin tener en cuenta estos, da lugar a que empresas no lleguen a la frontera por imperativos fuera de su entorno y sean calificadas como ineficientes” (Palomares, 2012, p. 4). La idea central es que la eficiencia que se deriva de la resolución de la frontera incluyendo únicamente las variables propias de la producción contiene solapados dos efectos distintos que se deben a la eficiencia de la empresa dentro de su entorno (Palomares, Martínez, y Carrasco, 2006, p. 478). Dentro de este tipo de análisis es importante considerar cuál es el objetivo planteado con el análisis. Es decir, la corrección del efecto del entorno, o la detección y estudio del mismo. Martínez y Palomares, (2010) en su investigación de variables de eficiencia, describen los distintos métodos que existen para medir la eficiencia de acuerdo al número de etapas que estos presentan: de una etapa: incluyen la información sobre los *inputs* no controlables en la construcción de los índices de eficiencia, de dos etapas: realiza un ajuste sobre los índices de eficiencia iniciales a partir de los parámetros estimados en una regresión en la que se incluyen los índices de eficiencia iniciales como variable dependiente y las variables de los factores de eficiencia como regresores de

tres etapas, se basan en la utilización de los *slack*s totales de las variables estimadas en el DEA inicial estándar. El objetivo es identificar que parte de estos *slack*s se explica por el efecto de los *inputs* no controlables y que parte está asociada con la propia ineficiencia técnica de los productores. Esta descomposición permite realizar ajustes directos sobre los valores de las variables (Palomares, 2010, pp. 483-486).

### **3. Definición, selección del objeto de estudio y manejo de datos**

Las variables que intervienen se pueden clasificar y definir atendiendo a la implicación que tienen, de acuerdo a Palomares y Martínez, (2010) se distinguen: Variables de salida (*outputs*): que representan el producto y servicio obtenido en el proceso de producción; Las variables de entrada (*Input*) que son los factores que se consumen en el proceso; Las variables entorno o ambientales que son variables no controlables en el corto plazo que inciden en los distintos niveles de eficiencia, y los factores de eficiencia que representan características relacionadas con la mejor o peor gestión de los recursos en el proceso de producción y que pueden corregirse en el corto plazo (pp. 479-481). El modelo se fundamenta de acuerdo a lo establecido por Romeu y Rodríguez (2008): medida de eficiencia técnica DEA; La orientación es hacia el *output*, y; la tipología de rendimientos de escala constantes y variables. Con un total de 30 empresas como ya se mencionó. Las cuales adquieren la siguiente notación:

La notación para la variable de salida, de entrada, y los factores de eficiencia empleados son las siguientes:

**Tabla 1**  
**Notación de las DMU empleadas**

	<b>Costa Rica</b>	<b>Estados Unidos</b>
1	Cooperativa Agrícola Industrial Victoria (Coopavi)	14 Baker Commodities Los Angeles (Backmoan)
2	Energías Biodegradables (Enerbio)	15 Bay Biodiesel, LLC (San Jose) (Baybio) 16 Biodiesel Industries of Ventura, LLC (Bioventura)
	<b>México</b>	17 BioDiesel One Ltd Bridgeport Biodiesel, LLC (Bioneltd)
3	Combustibles Biológicos de México (Cambiomex)	18 Bridgeport Biodiesel LLC (Bridgeport)
4	Moreco (Moreco)	19 CGF Clayton LLC Community Fuels (Cfgclayton)
5	Renovables Maya Verde (Remave)	20 Community Fuels (Communityfuel)
	<b>España</b>	21 Crimson Renewable Energy, LP (Crimsonrenew)
6	Biodiesel Castilla-La Mancha (Biocama)	22 Delta American Fuel, LLC FL Biofuels, LLC (Deltamerican)
7	Bio Bionet Europa, S.A (Biobionet)	23 FL Biofuels LLC (FLbiofuel)
8	Bionor Transformación, S.A. (Bionor)	24 Genuine Bio-Fuel (Genuinebiofuel)
9	Bionorte (Bionorte)	25 GeoGreen Biofuels, Inc.(Geogreen)
10	Grupo Ecológico Natural, S.L. (Grenatura)	26 Healy Biodiesel (Healybiofuel)
11	Stocks Del Valles, S.A. (Stockva)	27 Imperial Western Products (Imperialwest)
12	Ecofuel (Ecofuel)	28 Iowa Renewable Energy, LLC (Iowarenewa)
13	Bioenergética Española (Bioenergética)	29 Middle Georgia Biofuel (Middlegeorg) 30 New Leaf Biofuel, LLC (Newleaf)

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 2**  
**Notación de las variables empleadas**

Variable	Indicador	Notación
de entrada	nivel de producción	nivelprod
de salida	empleados	empleado
	capacidad de producción	capacidprod
variables ambientales	impuesto al diesel	impuestodie
	precio del diesel	preciodies
	población	pobmun
	apoyos y programas gubernamentales	progra y apoyo

Fuente: elaboración propia

#### **4. Variables ambientales y factores de eficiencia clave**

Dentro de las variables ambientales y factores de eficiencia, existen algunas que son consideradas clave, debido al efecto que tienen en el proceso de desarrollo. La primera de ellas son las políticas y programas gubernamentales, que Lattanzi (2004) menciona que “en las condiciones actuales en las que se desenvuelve el sector de biocombustibles, sería difícil que este se desarrolle por sí solo” (p. 3). Mientras que Duffey (2011) afirma que “la industria de los biocombustibles se ha ido desarrollado gracias a la existencia de ambiciosas políticas establecidas por los gobiernos y que hoy en día la gran mayoría de los países del mundo poseen algún tipo de política o instrumento para favorecer su desarrollo” (p. 7). Las políticas que se están desarrollando para llevar a cabo una transición a tecnologías bajas en carbono son muy variadas, oscilando entre aquéllas que priman la utilización de energías renovables hasta las basada en la financiación de proyectos de I&D (Castillo y Lozano, 2009, p. 9). Barde (2005), menciona que “el camino hacia el desarrollo sustentable requiere la integración efectiva entre políticas económicas y ambientales” (p. 13). La elección de políticas de promoción de los biocombustibles depende de que los legisladores se decidan definir grandes objetivos y dejar su curso a los mercados, o promover un desarrollo específico para la estrategia de largo plazo (Berndes *et al.*, 2009). “Conocer las políticas activas de fomento a los biocombustibles en los países más avanzados, permite desarrollar no sólo

un marco legal que otorgue la seguridad necesaria e iniciativas de este tipo, sino, también concentrar los esfuerzos de la sociedad para aprovechar las ventajas que nuestro país ofrece" (Lattanzi, 2004, p. 3).

En la UE el uso de biocombustibles comenzó a promoverse en los años 80 para prevenir la caída en las áreas rurales y responder a los crecientes niveles de demanda energética. En los últimos años ha crecido notablemente alcanzando para 1999 los 12 millones y acaparando 79.5% de los biocombustibles (Ericcson y Nilsson, 2004, pp. 205). Actualmente el contexto nacional e internacional, ha propiciado la generación de diversos instrumentos y políticas que incentivan la producción de biocombustibles, siendo 30% más del consumo final de energía en toda la UE, es originado por el sector transporte. Esto, unido a la fuerte dependencia energética, ha originado acciones encaminadas a fomentar el uso de los biocombustibles (Castillo y Lozano, 2009, p. 6). En España el consumo de los biocombustibles ha experimentado un crecimiento espectacular en los últimos años. Torres y Carrera (2010) mencionan que "se ha tenido un incremento de 669% en el periodo 2005-2009. En cuanto a las emisiones de GEI, España cumplió en 2009 con las cuotas establecidas" (AOP, 2007). Según el informe anual de la CNE, (2009) "se cumplió la exigencia legal superándola en tres centésimas, gracias al diesel con 3.67% (el objetivo era de 2.50%)". De acuerdo a Sorda *et al.*, (2010), esto ha sido resultado en gran medida de las políticas de impulso establecidas, entre ellas: *El Real Decreto*; La Ley 12/2007. En 2012, La ley de mezcla de biocarburantes. En América, las políticas de incentivo hacia los biocombustibles difieren de país a país. En algunos como en EU, las políticas son tendientes hacia el reemplazo parcial de los combustibles fósiles, mediante políticas, programas y apoyos concretos. Mientras que en países como en México, los cambios comienzan a gestarse. En Costa Rica, las energías alternativas, principalmente la bioenergía se encuentra en un estado incipiente. "En EU, es muy amplio y complejo el apoyo recibido a los biocombustibles por parte del gobierno en sus diferentes niveles. Este apoyo abarca desde una visión global hacia las diferentes fuentes de energías renovables, hasta una más reducida específicamente a los biocombustibles" (Lamers, Hamelinck, Faaij, y Junginger, 2011).

"A partir de la información del DOE de los EU, y por el DSIRE<sup>1</sup> es posible conocer los incentivos federales, estatales y locales que promueven el uso de

<sup>1</sup> Base de datos de incentivos estatales para las energías renovables.

tecnologías renovables” (Lattanzi, 2004). Dentro de los incentivos y políticas establecidas se tiene: las modificaciones al Acta de Aire Puro en 1990; El programa voluntario de Ciudades Limpias; El Programa de bioenergía de 2000; Proyecto de Ley Agrícola de 2002; La Ley de energía de 2005, en donde se estipulan diferentes incentivos fiscales para la producción y consumo tanto del etanol como del biodiesel; La Ley de independencia y seguridad energéticas de 2007; En julio de 2010, entra en vigor el Estándar RFS2; La Ley de política energética, establece que a partir de 2012. El uso de biocombustibles en México es casi inexistente. No obstante existen diversas plantas productoras de bioetanol y biodiesel que han comenzado a producir volúmenes pequeños. “México inició una serie de medidas tendientes a crear un mercado interno de los biocombustibles” (Moreno G. *et al.*, 2002). Sin embargo “las líneas actuales de desarrollo parten de dos materias primas con niveles altos de producción en el país: caña de azúcar y el maíz amarillo para la obtención de biocombustibles” (Montiel, 2008, p. 8). Entre estas políticas se mencionan las siguientes: *El Programa Sectorial de Energía 2001-2006*.

El análisis del sistema impositivo es otro elemento de gran importancia, de acuerdo con la Confederación Sindical de Comisiones Obreras (CCO, 2011) “la política fiscal juega un papel determinante dentro del modelo social y económico de un país. La gestión adecuada puede mejorar el uso de los recursos, alcanzar un reparto más equilibrado y justo, y limitar el uso de algunos bienes y servicios que puedan dañar a la sociedad”. Los impuestos especiales gravan el consumo de bienes como alcohol, tabaco, hidrocarburos y, electricidad. De acuerdo a la Comisión Europea, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OECD) y la Agencia Internacional de la Energía (IEA), se definen los impuestos ambientales como aquellos cuya base imponible consiste en una unidad física que tiene un impacto negativo sobre el medioambiente (Martínez G. B., 2012). “Los teóricos mencionan que cambios en los precios relativos conducen a cambios en la demanda ingreso” (Keney y Hertel W., noviembre, 2009, p. 896). Para Barde (2005), la recaudación de un impuesto tiene un doble objetivo: recaudar ingresos por el uso de algún bien, y modificar las conductas de los individuos y empresas sobre los costos ambientales de sus acciones (pp. 24-25). Sin embargo, para el medio ambiente es importante que los instrumentos incidan en el comportamiento:

La elasticidad del bien: a mayor elasticidad, mayor será la respuesta con cambios en el precio.<sup>2</sup> El grado de sustitución del bien: los bienes que tienen menos grado de sustitución presentarán un mayor impacto. Impacto de los impuestos en los costos marginales de los individuos: es necesario que el individuo perciba que el impuesto aumentará al emitir una unidad más de contaminante, por lo que las tasas fijas no generan incentivos para modificar conductas (pp. 53-54).

Se debe tomar en cuenta las elasticidades grandes para que así, los pequeños movimientos generen grandes cambios:

Ejemplo claro de la efectividad de estas adaptaciones a largo plazo se encuentran en EU, México y Canadá, países en los que los precios de la gasolina son muy bajos y existe un mayor consumo que en los países Europeos, donde los precios de la gasolina son realmente altos. En estos casos generalmente se observa que las elasticidades en el corto plazo son bajas, pero la demanda en el largo plazo responderá al ingreso y al precio del combustible (Martínez B. 2012, p. 7).

Durante la década pasada, en los países de la OCDE hubo un aumento considerable del uso de instrumentos económicos para la protección del medio ambiente. La OCDE, en su informe de 2013, menciona que:

En México se están generando presiones ambientales.<sup>3</sup> Los costos de degradación ambiental y el agotamiento de recursos naturales se estiman en 7% del PIB en el 2010. Para esto una forma de presionar esta tendencia a la baja es la implementación de impuestos, pero éstos son bajos, y basados principalmente en imposiciones sobre combustibles. Sin embargo este reporte no deja claro qué tipo de impuestos cubre cada nación. México tiene tributos ambientales pero no los define claramente. Su referencia debe basarse a los gravámenes sobre gasolinas (Rodríguez, 2008).

Las tres principales categorías son: impuesto por la adquisición de autos nuevos; Impuestos anuales a vehículos usados por el derecho de uso (en México se aplica la tenencia anual); Cobro de derechos por el uso de caminos o carreteras.

<sup>2</sup> Ejemplo claro de la efectividad de estas adaptaciones a largo plazo es que en Estados Unidos, México y Canadá, donde los precios de la gasolina son muy bajos, existe un mayor consumo que en los países Europeos, donde los precios de la gasolina son realmente altos.

<sup>3</sup> Debido a la rápida urbanización, el crecimiento demográfico y el aumento en el nivel de ingresos.

El impuesto ambiental más importante en la mayoría de los países en el presente análisis son los impuestos sobre los energéticos, principalmente a la gasolina. “Inicialmente estos impuestos se crearon por una razón fiscal, pero en años posteriores comenzaron a gravarse por su contenido de azufre o plomo” (Braathen, 2002, p. 46). La OCDE (2013), por su parte menciona que prácticamente la totalidad de los ingresos correspondientes a impuestos ambientales (90%) proviene de gravámenes a la gasolina, el diesel y vehículos automotores (OCDE, 2013). Un impuesto al combustible no suele ser la mejor manera de alcanzar todas las metas ambientales relacionadas con el sector transporte, pero puede ser parte importante de un paquete de instrumentos de política ambiental (Martínez, 2012, p. 6). En la UE, los impuestos ambientales han representado un instrumento efectivo para influir en los consumidores para utilizar y adquirir productos menos perjudiciales para el medio ambiente.

En 2007, los impuestos sobre energía representaron 72% de los impuestos ambientales en la UE, los relacionados con el transporte supusieron 24%, mientras que los relacionados con la contaminación y el uso de recursos representaban el porcentaje restante. Ya para el 2008, los impuestos energéticos representaron 79.9% del total, mientras que los impuestos sobre el transporte el 19.2% (EUROSAT, 2013).

El análisis además, muestra que la evolución de la participación de los impuestos ambientales en relación a los impuestos como proporción del PIB está muy ligado a los precios de los combustibles de los vehículos de motor (Moreno y Mendoza, 2002).

El segundo aspecto es la certificación, que no es solo un valor añadido para la empresa que la obtiene como un requisito para competir, ya que son exigidas o valoradas positivamente por consumidores finales, por los grandes clientes industriales o por las administraciones públicas en los contratos y licitaciones de obras y servicios públicos, etc. (Miranda, Chamorro, y Rubio, 2010). Cuando no todos los actores cuentan con cada uno de los elementos sobre un producto, se produce un problema generado por información imperfecta de los mercados. Cassasola, Cortés, y Muñoz (2010), mencionan que “la falta de información puede conducir a una elección incorrecta por parte de los consumidores, o transformarse en oportunismo de los productores que cuentan con toda la información para manejar el precio y otros elementos en una negociación”. En el caso de los biocombustibles, podrían no tomarse en cuenta los costos ambientales de la contaminación

que genera su producción incluyendo todas sus fases, y solo considerar los posibles beneficios de su uso, como es el caso de los agrocombustibles:

Una forma de corregir la ausencia de información es dando señales correctas que inciten a los productores a revelar sus prácticas o niveles de emisiones, mediante la certificación. La obtención de un distintivo es una estrategia de diferenciación donde hay productos o servicios que aseguran ser menos nocivos para el ambiente (Casassola *et al.*, 2012).

En los últimos años, los investigadores se han centrado en determinar cuáles son los cultivos que pueden ser producidos de una manera sustentable. Las certificaciones de alguna manera proporcionan seguridad al consumidor y pueden generar una pauta sobre estas emisiones. En general estas deben reflejar lo siguiente para catalogarse como sustentables: la materia prima de los biocombustibles, debe ser cultivada tomando en cuenta la huella ecológica que dejan en el uso de la tierra, el agua y los demás recursos naturales; se debe dar prioridad a los biocombustibles que pueden secuestrar carbono, que tengan un balance cero o negativo en el ciclo entero de producción, como los producidos a base de desechos (Groom, *et al.*, 2008). Sin embargo FAO (2013) advirtió que los sistemas de certificación de biocombustibles pueden convertirse en barreras comerciales indirectas para los pequeños agricultores si no se gestionan adecuadamente. El informe señala:

“Los biocombustibles y el reto de la sostenibilidad”, hecho público por la FAO sostiene que los actuales sistemas de certificación, voluntarios y en gran parte privados, pueden excluir a los pequeños campesinos al estar principalmente diseñados para la agroindustria a gran escala. El informe advierte que las grandes inversiones necesarias en muchos sistemas de certificación pueden dejar fuera a los pequeños productores (Elberhi y Lui, 2013).

Actualmente la mayoría de las líneas de acción en certificación plantea que se deben definir estándares parciales por fase de producción del biocombustible, que sean de aplicación voluntaria primero y obligatoria después:

La certificación se considera uno de los más importantes factores de la gestión de riesgos del sector. Sin embargo, la cuestión que se plantea es, cómo debe aplicarse el proceso de certificación. Para ello los países de la región deberán recorrer el largo camino para alcanzar un enfoque común hacia un mercado sostenible conciliando los intereses de los distintos sectores (Lobato, 2010).

De acuerdo con lo establecido por Hereford (2004), para que los certificados de calidad sean efectivos al mostrar los atributos de valor diferenciadores

se requiere que el certificado sea reconocido por el mercado objetivo que el certificado garantice que un organismo independiente controla o verifica las características diferenciales; que la certificadora sea reconocida; que el consumidor sea educado en los atributos diferenciadores; que exista un mercado con capacidad de compra para pagar el valor agregado. El sector de biocombustibles es reducido y muy poco conocido ante la sociedad mexicana, por esta razón las certificaciones y las características descritas son de muy poco impacto en el subsector, contrario a lo que sucede en países como España y EU.

## 5. Análisis de resultados

Al contemplar que se trata de empresas mayormente de tamaño mediano y en crecimiento, los valores de los índices de eficiencia bajo RVE, que miden el nivel comparativo de ETP y excluyen los efectos de escala, son mayores que los correspondientes bajo RCE, los cuales miden el nivel de ETG. Estos resultados indican que los países no operan en la escala más eficiente. Para la mayoría de las empresas, la diferencia en los niveles de eficiencias es inferior 6%. Sin embargo en la empresa Bioenergética la diferencia es 9%, en Moreco 36% y en el caso de la empresa Remave es de un 63%. Se puede observar además que de manera general y para ambos casos, las empresas norteamericanas lideran los niveles de eficiencia. El valor inferior 100% para la mayoría de los países, significa que la mayoría de los países no han sido capaces de alcanzar su máximo nivel de eficiencia (en términos comparados), ya que no están operando en la escala más productiva que pudieran. Únicamente la empresa Middle Georgia e Imperial Western de EU alcanzan un nivel de eficiencia de 100% con economías de escala. Dados los resultados anteriores, se procedió a evaluar cada una de las variables establecidas anteriormente para el modelo DEA, mediante el modelo de RVE. Así a continuación se muestran los resultados del análisis de eficiencia incorporando únicamente variables de escala:

Del lado izquierdo de la tabla 6, se observan las empresas eficientes. Siendo todas de Estados Unidos, las cuatro primeras de California, mientras que las últimas tres de Delaware, Iowa y Georgia respectivamente. También se muestran empresas con alto nivel de eficiencia cercanos a la unidad. En el caso de las empresas estadounidenses, se muestra que todas las empresas están cercanas al nivel de eficiencia. Para el caso de México, la empresa michoacana

Moreco también se encuentra en un alto nivel de eficiencia. En el caso de España las empresas Bionor Transformación y Bionorte de Álava y Asturias respectivamente son las empresas con alto nivel de eficiencia. Las empresas con bajos niveles de eficiencia son Cooperativa Agrícola Industrial Victoria, de Alejuela Costa Rica, Cambiomex, empresa mexicana situada en Villa Hermosa Tabasco, Bioenergética Española que es una empresa establecida en Zaragoza, además de Ecofuel que es una empresa que se sitúa en el mismo país.

Tabla 6  
Eficiencia técnica bajo rendimientos variables de escala

DMU	Eficiencia	DMU	Eficiencia
Remave	100%	Coopavi	36.7%
Bioventura	100%	Enerbio	42.3%
Cfgclayton	100%	Combiomex	3.5%
Community	100%	Moreco	93.1%
Crimsonrenew	100%	Biocama	50.8%
Imperialwest	100%	Biobionet	76.5%
Middlegeorg	100%	Bionor	88.6%
		Bionergetica	13.4%
		Bionorte	97.0%
		Ecofuel	25.3%
		Grenatura	76.9%
		Stockva	69.0%
		Backcoman	92.1%
		Baybio	91.0%
		Bioneltd	95.3%
		Bridgeport	82.9%
		Deltamerican	93.7%
		Flbiofuellc	90.7%
		Genuinebio	87.8%
		Geogreen	99.5%
		Healybio	96.6%
		Iowarenew	96.5%
		Newleaf	81.4%

Fuente: elaboración propia con base en mediciones obtenidas de *Data Envelopment Analysis Online*, 2014.

En una posterior etapa, se procede a evaluar el nivel de eficiencia mediante la metodología DEA bajo el esquema de rendimientos crecientes a escala incorporando factores de eficiencia. Cooperativa Agrícola Industrial Victoria incrementa su nivel de eficiencia de 37% al 100%. En el caso de Energías Biodegradables que al inicio mostraba un 42% logra incrementarse en un 100%. La empresa Stocks Del Valles, S.A. pasó de 69% en la primera fase a 100% al incorporarse variables ambientales. Lo cual indica la importancia que se tiene en el logro de la eficiencia estas variables. En el caso de Moreco, *Bionor Transformación, S.A.*, *Bionorte, Biodiesel Industries of Ventura, LLC*, CGF Clayton LLC, *GeoGreen Biofuels, Inc.*, *Delta American Fuel, LLC*, y *Healy Biodiesel* igual que en el caso de incorporación de factores de eficiencia, son empresas que también logran elevar sus niveles de eficiencia hasta un 100%. En el caso de las empresas españolas Bio Bionet Europa, S.A. únicamente aumenta un medio punto porcentual. Bioenergética Española aumenta únicamente dos puntos porcentuales pasando de 13 a 15%. La empresa *Ecofuel* pasa también de 25% a 26%. Finalmente la empresa Biodiesel Castilla-La Mancha mantiene el nivel inicial de eficiencia e inferior. Esto indica que las variables ambientales tienen un peso inferior en el caso de las empresas españolas.

En cuanto al análisis de la descomposición se tiene: dentro de los excedentes o *slack*s mostrados en las variables de entorno, se encuentra principalmente en la parte de población del municipio o la localidad en la que se encuentra la planta. En el caso de Biodiesel Castilla-La Mancha 535 433 en relación con la cantidad de personas que son aprovechadas en otras empresas. Bio Bionet Europa, S.A. mantiene un excedente de 212 362. Bioenergética Española 599 324 habitantes. *Baker Commodities Los Angeles* lo hace en 8 427 354, en el caso de *Bay Biodiesel, LLC* esta empresa mantiene un excedente de 664 986, Bio Diesel One Ltd tiene en excedente 594 529 personas, para el caso de Bridgeport Biodiesel, LLC el excedente es de 202 207. En cuanto a los pesos que tienen las variables, se muestra que los impuestos al diesel y los apoyos y programas gubernamentales de carácter cuantitativo en la mayoría de las empresas, al hablar de mejoras, se mantienen prácticamente intactos, a excepción de algunas empresas en donde no se considera tan necesario el impuesto elevado al diesel, o de lo contrario, las *Lambdas* muestran que las empresas norteamericanas Biodiesel Industries of Ventura, LLC de California, CGF Clayton LLC de Delaware, *Community Fuels* de California, *Delta American* de Arkansas, *GeoGreen Biofuels, Inc.* De California, *Healy Biodiesel* de Kansas e *Imperial Western Products* de California también no muestran

un modelo a seguir dentro de las empresas. Para el resto de las empresas norteamericanas lo más conveniente sería imitar a las empresas siguientes: *Community Fuels de California*, *GeoGreen Biofuels, Inc.*, *Healy Biodiesel* de Kansas e *Imperial Western Products* de California, en el caso de las empresas españolas, mexicanas y costarricenses, no se puede determinar un patrón a seguir, esto debido a que las políticas gubernamentales que engloban estas variables son más fuertes en Estados Unidos.

Al abordar las variables por tipo se obtienen los siguientes resultados: el precio del diésel afecta positivamente el nivel de eficiencia en las empresas de Costa Rica como: Cooperativa Agrícola Industrial Victoria y Energías Biodegradables de sus empresas más eficientes.

Tabla 7  
Variables analizadas por empresa

Precio de diésel (12 empresas)	Población (14)	Impuesto al diésel (10)	Apoyo gubernamental (8)
Coopavi	Coopavi	Moreco	Combiomex
Enerbio	Remave	Remave	Remave
Remave	Bionor	Bioventura	Bionorte
Bioventura	Bionorte	Cfgclayton	Bioventura
Cfgclayton	Stockva	Community	Cfgclayton
Community	Bioventura	Crimsonrenew	Community
Crimsonrenew	Cfgclayton	Deltamerican	Crimsonrenew
Deltamerican	Community	Imperialwest	Deltamerican
Geogreen	Crimsonrenew	Middlegeorg	
Healybio	Deltamerican	Moreco	
Imperialwest	Geogreen		
Middlegeorg	Imperialwestern Iowarenewable MiddleGeorgia		

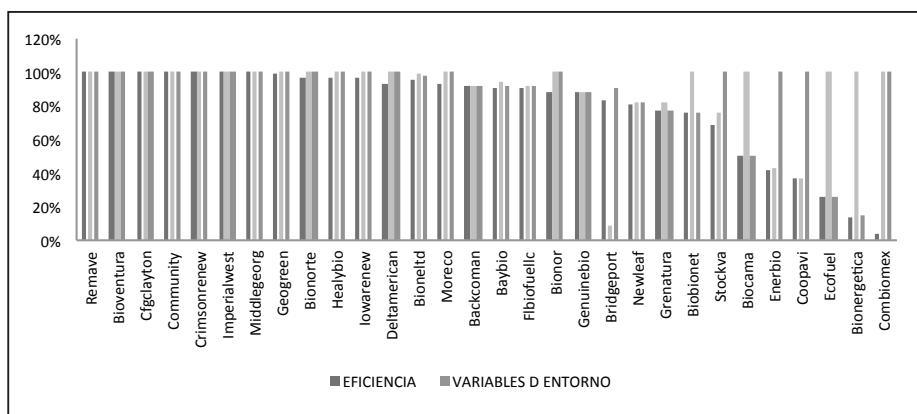
Fuente: elaboración propia con base en mediciones obtenidas de *Data Envelopment Analysis Online*, 2014.

Al igual que las empresas norteamericanas *GeoGreen Biofuels* de California y *Healy Biodiesel* de Kansas. La variable población hace elevar los niveles

de eficiencia en diversas empresas. En Costa Rica lo hace en Cooperativa Agrícola Industrial Victoria, en España en Bionor Transformación, S.A., *Bionorte y Stocks Del Valles*, S.A. Mientras que en EU, lo hace en *GeoGreen Biofuels, Inc.*, de California, y Iowa Renewable Energy, LLC de Iowa. El impuesto al diesel afecta positivamente únicamente a la empresa Moreco. Apoyo gubernamental y políticas de gobierno cuantitativas Las políticas de gobierno ayudan a elevar los niveles de eficiencia de unas empresas de España y de Estados Unidos, tal como: Bionorte, *Delta American Fuel, LLC*, *GeoGreen Biofuels, Inc.* y *Healy Biodiesel*.

En el gráfica 1, la primera barra muestra los niveles de eficiencia alcanzados incorporando las variables de entrada y la segunda las variables de entorno. Dentro del mismo gráfico puede observarse que las variables de entorno y los factores de eficiencia elevan considerablemente los niveles de eficiencia para aquellas empresas que lo mantenían inferiores al 100%. Además hay que recalcar que los niveles obtenidos son términos relativos en los cuales no se puede corroborar si los niveles de eficiencia en términos absolutos, también ha aumentado.

Gráfica 1  
Niveles comparativos de eficiencia en cada etapa



Fuente: elaboración propia, 2015.

Ante estos resultados se procedió a realizar una descripción de las principales empresas utilizadas como *benchmarking*:

En España las empresas se encuentran produciendo biodiesel en una proporción mucho mayor que la de bioetanol, siendo 36 mientras cinco, bioetanol, principalmente en la parte centro y norte del país. En su mayoría basan su producción de aceites vegetales vírgenes y en menor proporción de AVU, pero en algunas regiones con un sistema de recolección bien establecida. Los biocarburantes de Argentina e Indonesia verían entrando a España con un precio mucho más barato que el del mercado, lo cual impedía la competencia de los productores españoles. Las empresas comenzaron a salir de la crisis en abril de 2012 cuando España, que importaba la mitad del biodiesel argentino, puso un freno a su compra. Hasta ese momento muchas empresas tuvieron que cerrar y muchas otras aún están produciendo por debajo de su capacidad. Los principales actores son la empresa estadounidense Bunge y Cargill, Dreyfus, la suiza Glencore y las argentinas Molinos Río de la Plata y Vicentin.

Las exportaciones argentinas de biodiesel sufrieron el año pasado un fuerte freno respecto del acelerado crecimiento que mostraron durante los últimos años. En el mes de abril del presente año los biocombustibles en Argentina comenzaron juicio contra Europa por las trabas al biodiesel. Ya que el bloque impuso aranceles de hasta 25% para las importaciones del biocombustible basado en soya por entender que el país incurría en dumping. La Cámara Argentina de Biocombustibles considera que España ha impedido de forma arbitraria y discriminatoria el acceso de las empresas argentinas de biodiesel (*Next Fuel*, 2014). Lo que sumado a las actuales restricciones a las importaciones, permiten la reactivación del sector de biodiesel en España. Por otro lado el impuesto al diesel de 0.417 dólares incentiva el consumo de biodiesel. Así mismo el precio al que se vende el biodiesel es inferior al que se vende el diesel, en aproximadamente 0.40 dólares.

*Bionor Transformación, S.A.* Es uno de los principales productores españoles de biodiesel. Una empresa de tamaño mediana-grande. Inició su producción en 2003 filial de la empresa CIE *Automotive* desde al 2008 (*Biodiselspain*, 2013). Cuenta con dos plantas productivas una en el territorio Español (Barentevilla) y otra en Italia. Además cuenta con tres proyectos más en España, Guatemala y uno en Sao Paulo. Basa su producción en la jatropha como materia prima, y en menor medida en AVU y grasas animales. Bionor asume la política de calidad de CIE *Automotive*, que se fundamenta en cuatro criterios: prevención, formación, revisión sistemática y mejora continua. Con el respaldo de la certificación ISO 9001 y de la norma UNE

EN 14214. La Universidad Castilla la Mancha y CIE Automotive juegan un papel muy importante en cuanto a la investigación y desarrollo (*Europapress*, 2013). Para su recolección cuenta con dos grandes empresas accionarias: Resigras S.L. de Madrid y Gave S. L. de Madrid. Para su distribución se cuenta con tres grandes distribuidores: *Via Oil*, *Global Petróleos* y *Vía Credit Card*. Comercializando los dos primeros a particulares y el último a flotas y colectivos de transporte. En años anteriores tuvo problemas con la producción de tal manera que tuvo que aplicar una ERE de seis meses a nuevos empleados, por lo que actualmente sólo conserva nueve.

*Bionorte*: es una empresa de mediano tamaño que se encuentra produciendo a 75% de su capacidad instalada; sin embargo tiene la capacidad de expandirse hasta un triple de ser necesario. Es una empresa con sólo 13 años de vida. Su producción está basada únicamente en aceites vegetales usados. En sus comienzos comenzó a crecer a gran velocidad, sin embargo comenzó a tener problemas a partir del 2008 cuando comenzó la competencia de Argentina, Indonesia y Malasia, donde la producción está fuertemente incentivada por subvenciones estatales. Para el año 2010 prácticamente se paralizó quedándose con dos empleados únicamente. Actualmente cuenta con siete empleados y su producción ha comenzado a estabilizarse. Tiene dos líneas de producción una por lotes y otra continua ya que la composición de los aceites vegetales usados es variable dependiendo de su composición y origen. A pesar de lo corta que es la plantilla, tiene un grupo de I&D muy activo, que se encuentra finalizando el *Europapress* el proceso de paso por lotes a continuo, de baja presión y temperatura, actualmente dado las condiciones de mercado, únicamente una persona es dedicada a la investigación (Agromeat, 2014). La empresa *Isastur* juega un papel muy importante en la recolección de los aceites, mientras que *petroasturias* en la distribución del biocombustible. La mayor parte de la producción, 80%, se exporta hacia Europa, principalmente Alemania y Austria, ya que en el mercado nacional no puede competir con las importaciones (CIE, 2014).

En EU existen diversas plantas para la producción de biodiesel basadas en diversas materias primas, entre ellas la recolección y procesamiento de grasas animales y aceites vegetales, residuos forestales, algas, y aceites vírgenes de diferentes cultivos agrícolas, las cuales se encuentran produciendo más de 40 000 000 de litros anualmente. Existen diversas asociaciones y organizaciones que han impulsado el sector del biodiesel, entre ellos podemos mencionar: *National Biodiesel Board*, La Comisión Nacional de Energía, El Departamento de Energía.

Además existen diversas reglamentaciones y certificaciones de las cuales hacen uso las empresas para respaldar la calidad del biodiesel, tales como: Acreditación BQ- 9000, que establece los estándares necesarios para producirse con los niveles necesarios de calidad nacional; Certificación ASTM D6751, que incluye las especificaciones de producción, comercialización y de laboratorios necesarios para comercializarse en los EU. Actualmente existen más de 100 plantas, que se encuentran distribuidas principalmente en la parte este, y en menor medida en la parte suroeste.

La mayor parte de las empresas se encuentran produciendo en volúmenes superiores a las 50 000 toneladas anuales. Para mayo del 2004, el departamento de Energía de los EU reportó 25 millones de litros más que en abril del mismo, siendo la región medio oeste la que produjo alrededor de 70% (con aproximadamente 94 plantas). Para 2014 se tenía una capacidad de producción de 6 500 millones de litros anuales. La principal fuente de materia prima es el aceite de canola con 183.3 millones de kilos, mientras que la de grasas animales es de 428.644 millones de kilogramos en los primeros cinco meses de 2014 (EIA, 2014). El gobierno norteamericano ha establecido diversos programas y apoyos gubernamentales en sus tres niveles, para incentivar la producción del biodiesel y promueven y obligan a utilizar cierta cantidad de mezcla de biodiesel. Algunos Estados, principalmente California, han establecido diversos programas como: asistencia técnica, desarrollo tecnológico, garantías para elevar la producción y competitividad, programas de educación, incentivos para uso de biodiesel en autobuses escolares y de departamentos gubernamentales, entre otros. El precio del biodiesel en los EU es inferior a los establecidos en España, Costa Rica y México para biodiesel B20, pero en mezclas B99 es superior. Los impuestos al diesel tienden a variar ampliamente dependiendo del Estado del cual se hable, ya que existe un impuesto Federal, al cual se le agrega un impuesto estatal y que es establecido por los propios gobernadores de cada Estado. Arkansas presenta un impuesto de 0.1246, mientras que Connecticut establece un impuesto de 0.2084 y California de 0.1914.

*Biodiesel Industries of Ventura, LLC:* La empresa situada en Port Hueneme, es una subsidiaria de Biodico, localizada en Santa Bárbara, California. Es considerada de tamaño mediana-grande cuenta con cuatro empleados y no tiene personal directo dedicado a la investigación y desarrollo, sin embargo tiene convenios con otros organismos, así como la empresa BIODICO para estar en constante investigación. Ha obtenido grandes garantías de

la Comisión de Energía de California, para de alguna manera abastecer y tener la propia energía para la base naval de Port Hueneme, en mayo de 2012 obtuvo dos millones de dólares, mientras que en abril obtuvo 1 829.54. Estas garantías se han venido extendiendo hasta 2015. La idea es llegar a los 10 millones de galones, 25 veces más de lo que ellos consumen bajo el esquema de cultivos agrícolas acuáticos y terrestres, así como desechos de grasas animales y vegetales. En los últimos años ha trabajado directamente con la naval de EU, bajo el "Acuerdo sobre investigación y Desarrollo Cooperativa". La empresa Biodico ha sido de importante apoyo ya que esta se dedica a construir refinerías sustentables basándose en el desarrollo de sus tecnologías patentadas, desde hace 19 años, y desde hace nueve años comenzó con la producción de biodiesel. La comercialización de sus productos se ha extendido desde California hasta Colorado, Nevada y Texas y en algunas partes de Australia. Biodiesel Ventura se encuentra establecido en una ciudad grande que es capaz de proporcionar grandes cantidades de desechos de grasas animales y aceites vegetales. Además, al ser de los Estados que tienen impuestos más altos al diesel, hace que el precio del biodiesel sea inferior, favoreciendo con ello la venta en la región del biocombustible (Biodico, 2014).

*CGF Clayton LLC: Chesapeake Green Fuels* es una empresa con avanzadas técnicas de conversión de biodiesel, basado en múltiples materias primas que se adecuen en sus necesidades. El mercado de esta empresa se encuentra orientado hacia vehículos escolares, municipales y vehículos de envío; Estaciones de gasolineras. Además la empresa distribuye keroseno. En un principio la empresa trató de producir el biodiesel únicamente a base de aceite de soya, pero encontraron mucho más caro que otros aceites vegetales y las grasa animales, la producción era elevada. Sin embargo los créditos a los impuestos habían expirado. CFG Clayton se encuentra ubicada en Delaware en una ciudad de tamaño mediano. Al tener impuestos bajos al diesel se enfrenta a precio inferior del que mantiene el biodiesel B20 y B99 (CFG Clayton, 2014).

*Community Fuels:* esta empresa produce biodiesel de la más alta calidad, bajo el esquema de *Environmental Protection Agency* (EPA), además de cumplir con los estándares ASTM y las certificaciones BQ 9000. *Community Fuels* es una de las grandes empresas de la parte oeste de los EU. Actualmente se encuentran trabajando a su máxima capacidad instalada. Debido a su localización es perfecta para la distribución del producto en muchos estados de los EU.

Cuenta con la facilidad de dos trenes transcontinentales, así como el canal profundo de Stockton y de los puertos de la Costa oeste que conecta con los mercados de Asia Pacífico. La forma de venta es en volumen de manera directa, principalmente con la industria petrolera quienes lo mezclan directamente con el diesel, lo cual provee al consumidor de combustible con los requerimientos necesarios. Así mismo se obtiene como subproducto la glicerina, vendida en la industria agrícola e industrial. La empresa ha contado con numerosos reconocimientos de distintos organismos e instituciones. Dentro de las ventajas con las que cuenta se tienen: producción avanzada comprobable; especificaciones superiores en la calidad; única tecnología; localización estratégica; capacidad de ampliación en los niveles de producción; obtención de créditos. *Community Fuels*, además ha obtenido grandes beneficios de la Comisión de Energía. El año pasado obtuvo 4.9 millones de dólares para incrementar la comercialización en una mayor escala, para expandir la producción y concluir la terminal de biocombustibles. En octubre de este año obtuvo 4.1 millones de dólares para expandir nuevamente su producción y crear una nueva terminal de biodiesel, y aumentar la producción a más de 250 millones de litros anualmente. Se encuentra en negociación con la empresa americana *American Biodiesel Inc.* para poder acceder a su tecnología, la cual fue la primera en obtener la certificación BQ9000. California consume cerca del 11% de lo que se consume en los EU, por lo cual se considera que con la expansión de la planta, ésta pueda abastecer 40% de lo que los Californianos usan en un día (1% de lo que consumen en un año). Esto no parece tan alentador, pero existen también más plantas que continúan expandiéndose en la región y en el país.

*Crimson Renewable Energy, LP:* la empresa fue formada como una unidad de *Crimson Resource Management Corp*, empresa independiente líder en producción de aceite y gas. Ahora es parte de *Crimson Midstream LLC*, encargada de la producción de diversos productos derivados del petróleo. Cuenta con una cadena de valor y con los estándares necesarios para distribuir el biodiesel en la región. Continuamente incorpora e incluye nuevas tecnologías y mejoras en la producción. Recolecta grasas animales y aceites vegetales usados para hacer saber a los consumidores su compromiso. Aunque en sus inicios producía principalmente a base de soya, esto hasta 2009, año en que reestructura su planta, para nuevamente comenzar la producción en 2011. En este año obtuvo cinco millones de dólares de garantía de la Comisión de Energía de California, para expandir la producción de

la biorrefinerías en al menos 50 000 millones de litros al año (*Biodiesel Now*, 2014). El 20 de octubre de 2014, la empresa que hasta el momento hacia uso de la propia tecnología anunció la incorporación de la tecnología líder *BDI Bioenergy International AG*, con la finalidad de optimizar producción y con ello aumentar su capacidad de producción (Bloombergbussiness, 2014).

*Imperial Western Products*: esta empresa inició en 1966 en Cochaela California como una pequeña corporación de productos agrícolas. En 1985 cambió de dueño, de padre a hijo y desde entonces se ha enfocado en la diversificación de productos y servicios relacionados con el reciclaje. Actualmente está considerada como de gran tamaño. Ahora IWP se dedica a reciclar basura para convertirlos en productos con valor agregado, y a partir del 2000 comenzó a producir biodiesel a partir de desechos de grasas animales y aceites vegetales usados de restaurantes. El biodiesel producido cumple con los estándares de calidad BQ9000 y en cada galón que se llena al consumidor se realizan 35 test antes de ser empleado. La empresa cuenta con seis divisiones en su producción: *Biotane Fuel Productions*, para la producción de biodiesel; *Biotane Pumping division*, para proveer asistencia a restaurantes sobre reciclado de aceites, grasas y alimentos; *Enforce Products*, para producir productos relacionados con llantas, como lubricantes; *Organic Solutions*, para ayudar a las compañías a reciclar todo tipo de desecho orgánico; *Bakery solutions*, para ayudar al reciclaje de desecho de las panadería; *Enforce products* para la fabricación de contenedores de metal de varios tamaños y diseños. Además de california cuenta con operaciones en Arizona, Nuevo México y Florida, abarcando 400 kilómetros a la redonda (Yellowpages, 2014).

*Middle Georgia Biofuel*: es una pequeña empresa establecida en Dublín Georgia, en una localidad mediana en cuanto al número de habitantes que tiene. Produce biodiesel a partir de aceites vegetales y grasas animales de desecho y de aceite de soya. La empresa además, comenzó a producir *pellets* de madera en 2014, aprovechando su ubicación estratégica para el aprovechamiento de la madera. El nivel de impuestos al diesel con el que cuenta, es de los más bajos estables en los Estado Unidos de 0.1464 dólares por litro. Pero aun así logra mantener el precio del biodiesel en niveles inferiores a la media para el diesel, dentro de las políticas y reglamentaciones establecidas por el gobierno estatal, es de los que menos cuentan con ellas en términos cuantitativos, tratándose únicamente de créditos a los impuestos y asistencia a la producción. La energía es uno de los seis sectores identificados para

el crecimiento en Georgia. Políticas beneficiosas para sus empresarios, la reducción de los impuestos a las empresas de energía biociencia y permisos ambientales acelerados para plantas de biocombustibles se encuentran entre algunas de las razones por que el estado ocupa el tercer lugar en los EU por su futuro en la producción de energía alternativa. El estado es el número uno en la nación para *Timberland comercial*, con 10 millones de hectáreas de tierras agrícolas y 24.7 millones de hectáreas de tierras forestales. Georgia también tiene una planta establecida de expertos investigadores universitarios y desarrolladores especializados en el tema de bioenergía, con tratos en la Universidad de Georgia, el Instituto de Tecnología de Georgia y la *Herty Advanced Materials Development Center* (Albanyceo, 2014).

Empresas en México: por su parte en México la industria de biodiesel es incipiente, existen algunas plantas productoras de biodiesel, las cuales se encuentran produciendo a base de aceites vegetales de grasas animales y aceites usados y vírgenes. Existen normativas y reglamentaciones para estimular energías alternativas, sin embargo no existen restricciones o estímulos cuantitativos para la producción y compra del mismo. El Gobierno Federal mantiene diversos apoyos para la producción de bioenergéticos, pero estos se han basado principalmente en jatropha y palma de aceite y de acuerdo con los resultados proporcionados por el gobierno, en su página de bioenergéticos, muestra los siguientes costos para la producción de manera general del biodiesel: A base de jatropha 10; A base de palma de aceite 6.9%; Grasas animales 7.9%; aceites vegetales de rehuso 7.9%. Tomando en cuenta un costo por tonelada de aceite vegetal de rehuso de 4 400 y para el caso de sebo de un precio oscilante entre 3 500 y 5 200. Aunque en la actualidad las empresas mexicanas que producen a base de aceites usados y grasas animales, lo intercambian por capacitación y pláticas sobre cuidado de medio ambiente.

*Renovables Maya Verde*: Ésta empresa dedicada a la recolección de aceites vegetales usados y grasas animales. Desde su creación en 2010 se ha recolectado más de 600 000 litros de aceites y grasas. Además se encarga de recolectar papel y plástico para el reciclaje en la Riviera Maya. El aceite reciclado es obtenido de restaurantes hoteles y resorts de toda la Riviera Maya, Tulum y Cancún. Renovables Maya Verde pone a disposición de todos biodiesel para plantas de emergencia y equipos de transporte que utilicen diesel, así como asesoría para incorporar el biodiesel en las plantas de producción de energía de su establecimiento. En 2011 la aerolínea mexicana Aeroméxico hizo el primer vuelo transoceánico del mundo con biocombustible, colocando a

México una vez más en el centro de atención con respecto a la utilización de los biocarburantes en el sector de la aviación mundial. Volando desde ciudad de México hasta Madrid. Además, gracias a la ubicación estratégica y el turismo, existen múltiples restaurantes y locales de comida, que abastecen de materia prima a la empresa.

## 6. Conclusiones

La presente investigación ha logrado el objetivo de determinar el nivel de eficiencia técnica relativa de empresas productoras de BAVGA de México, con relación a las de Costa Rica, España y EU incorporando variables de entrada y variables de entorno, haciendo uso del modelo DEA, a fin de que las diversas empresas, en particular las mexicanas ineficientes, tomen experiencia de empresas eficientes. De este primer objetivo se derivaron y alcanzaron una serie de objetivos particulares en los cuales lograron determinar los niveles de eficiencia relativa en cada una de las empresas que componen la muestra de los cuatro países.

Al determinar las variables de entrada, empleados y capacidad de producción en la etapa inicial. Se encontró que las empresas no producen a escala aceptable, dada la diferencia encontrada entre la ETG y la ETP. Por lo tanto a partir de entonces, se procedió a realizar el análisis bajo RVE, se pudieron obtener empresas eficientes, y que son las mismas contempladas como ejemplos a seguir (*benchmarking*), siendo estas las empresas norteamericanas *Imperial Western*, *Middle Georgia*, *Biodiesel of Ventura LLC*, y la mexicana Renovables Maya verde.

*Imperial Western product*, está ubicada en California, cuenta con una filial en Arizona, es el ejemplo claro a seguir de una empresa que produce biodiesel únicamente a base de desechos de grasas animales y vegetales, la cual es considerada de gran tamaño ya que supera los 100 000 millones de toneladas anuales. *Middle Georgia Biofuel*, que también se encuentra dentro de las empresas eficientes a considerar como modelo, es una empresa pequeña que utiliza aceites vegetales y grasas animales de desecho, además aprovecha sus recursos forestales para diversificar los productos ofrecidos. *Biodiesel of Ventura, LLC* es una de las empresas estadounidenses de mayor crecimiento, ubicada en California, la cual ha logrado aprovechar su localización estratégica para producir y comercializar el producto, así como los apoyos que se han establecido tanto a

nivel estatal como federal. Renovables Maya Verde, es una empresa mexicana de tamaño pequeño, ha logrado aprovechar su ubicación estratégica para la recolección de aceites vegetales usados y grasas animales de desecho de la zona de la Riviera Maya, Tulum y Cancún. Dada la amplia cantidad de residuos que se producen diariamente en los hoteles y restaurantes de la región. Además de eso recolecta cartón y plástico para su posterior reciclamiento.

En cuanto a la incorporación de los factores de eficiencia se puede observar un fuerte aumento en cuanto a los niveles de eficiencia de muchas empresas de los cuatro países, pero fundamentalmente españolas. Hay que recordar que las empresas españolas, dados los problemas de masivas importaciones de producto de países como Indonesia y Argentina, han tenido que exportar gran parte de su producto y protegerse de las grandes distribuidoras nacionales de diesel y biodiesel. Asimismo se puede contar con personal dedicado a la investigación y desarrollo. También han tenido que apoyarse de empresas que permiten distribuir sus productos y que en el caso de algunas empresas han sido parte de sus accionistas. En el caso del precio del diesel, se encuentra un amplio margen que permite colocar parte de productos y que actualmente dadas la protección al mercado nacional se ha permitido su estabilización de la producción. Las empresas norteamericanas por su parte han mostrado altos estándares de calidad debido a sus normatividades, a la investigación y desarrollo, lo cual las ha hecho acreedoras de diversos reconocimientos de organismos e instituciones estatales y federales. Además que al tener el impuesto alto al biodiesel se puede contar con un amplio margen en cuanto a la venta de diesel y biodiesel.

Dentro de las empresas americanas productoras de biodiesel se encuentra la empresa *Geogreen Biofuels, Inc.* que al igual que la empresa *Community Fuels*, tiene la oportunidad de aprovechar los altos impuestos al diesel, así como personal dedicado a la investigación y del desarrollo del biodiesel.

Cuando se incorporan las variables ambientales al análisis de eficiencia, estas tienden a aumentar los niveles de eficiencia de diversas empresas de los cuatro países. Dentro de estas variables se tiene el impuesto al diesel, el precio del diesel, la población y las políticas y programas de apoyo existentes en las naciones. En el caso de las de Costa Rica, se puede observar que las dos empresas logran aumentar el nivel de eficiencia, ya que el precio que se tiene en el diesel incluyendo su impuesto lo hace superior al que tiene en el biodiesel. En el caso de México, *Combiomex* y *Moreco* también logran aprovechar la vasta población en la cual se encuentran ubicados, para llevar

a cabo la recolección de sus aceites. En el caso EU, también existen empresas que logran aumentar sus niveles de eficiencia, estas son *Geo Green Biofuels, Inc.*, de California y *Healy Biodiesel de Kansas*. Las cuales han podido aprovechar la grande población en donde se encuentran establecidos, así como las políticas e incentivos que han establecido los gobiernos en sus diferentes niveles.

Con estos hallazgos importantes se pudo concluir que la hipótesis general que dice que el nivel de eficiencia en la producción de las empresas productoras de BAVyGAD en las empresas de México es inferior a la encontrada en las empresas de España y EU, y similar a las de Costa Rica al utilizar las variables de entrada, las variables de salida y las variables de entorno y haciendo uso del modelo DEA, no es válida para todas las empresas mexicanas.

## Referencia

- Acaroglu, M. y H. Aydogan (2011, noviembre 8). Biofuels Energy Sources and Future of Biofuels Energy in Turkey. *Biomass and Bioenergy*, 36, pp. 69-76. doi:10.1016/j.biombioe.2011.10.004.
- AOP (2007, noviembre). *Eficiencia Seguridad y Sostenibilidad: Requerimientos para la introducción de los biocarburantes*. España: Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos.
- Braathen, A. (2002). Diseño y efectividad de los instrumentos fiscales relacionados con el medio ambiente en los países de la OCDE, en *Impuestos Ambientales: lecciones en países de la OCDE y experiencias en México*. México, DF., INE, pp. 41-58.
- CAP (2008). *Situación del Sector Biocarburantes en Andalucía: Perspectivas y Desarrollo*. Andalucía, España: Junta de Andalucía, Consejería para la Agricultura y la Pesca. ISBN: SE, pp. 645-08.
- CAR/PL (2001, febrero). *Posibilidades de Reciclaje y Aprovechamiento de Aceites Usados: Producción Limpia*. Barcelona: Centro de Estudios Regionales para la Producción Limpia.
- Cassasola, I.; I. Cortés, y C. Muñoz (2010). *Elementos de sustentabilidad en la producción de biocombustibles: La certificación como instrumentos de política ambiental*. México: INEC.

- Demirbas, A. (2011, agosto 17). Competitive Liquid Biofuels From Biomass. *Applied Energy*, 88, pp.17-28. doi:10.1016/j.apenergy.2010.07.01.
- DOE (2009). *Washington World Production Potential Understanding: The Challenges to Meeting the US Renewable Fuel Standard*. Washington. US: Department of Energy.
- DOE. (julio, 2014). *Clean Cities: Alternative Fuel Prices*. Energy Efficiency and Renewable Energy. US Department of Energy.
- Ericsson, K. y L. Nilsson (2004). International biofuel trade—A study of the Swedish import. *Biomass and Bioenergy*, 26, pp. 205-220. doi:10.1016/S0961-9534(03)00122-3.
- Este país (2008). *Indicadores del sector Energético en México*. México, DF. Este país.
- FAO, O. (s.f.). *Perspectivas Agrícolas 2011-2020*. Obtenido de [http://dx.doi.org/10.1787/agr\\_outlook-2011-es](http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2011-es).
- FAO, O. (2010). *Perspectivas Agrícolas 2011-2020*. Obtenido de [http://dx.doi.org/10.1787/agr\\_outlook-2011-es](http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2011-es).
- Fernández, M. (agosto, 2003). Los biocombustibles como fuente de energía renovable: evolución de su tratamiento fiscal en la UE y España. Anales de mecánica y electricidad. Madrid, España., pp. 5-60.
- Fernández, Y. y R. Flores (2005). *Aplicación del Modelo DEA en la gestión pública. Un análisis de la eficiencia de las capitales de provincias Españolas*. Universidad de León.
- Groom, M., Gray, E. y P. Townsend (17 de noviembre de 2008). Biofuels and Biodiversity: Principles for Creating Better Policies for Biofuel Production. *Conservation Biology*, vol. 22 (3), pp. 602-609. doi: 10.1111/j.1523-1739.2007.00879.x.
- Gutiérrez, R. (2013). Se acabaron los subsidios la gasolina y el diesel: el precio en México. *Departamento de Economía de la UNAM*. Recuperado de <http://petroquimex.com/wp-content/uploads/2013/03/Subsidios-gasolina.pdf>.
- Gutiérrez, E. (2007, diciembre). *De la teoría del desarrollo al desarrollo sustentable. Trayectorias*, 9(25), pp. 21-35. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/607/60715120006.pdf>.
- Hertel, W. y J. Beckman (2011, febrero). Commodity Price Volatility in the Biofuel Era: and Examination of the Linkage Between Energy and Agricultural Markets. *Biomass and Energy*, 16824, pp. 278- 289, Recuperado de <http://www.nber.org/papers/w16824>.
- IDAE (2011). "Plan de Energías Renovables 2011-2020". Madrid, España: Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.
- IEA (2006). *Energy Technologies Perspectives*. París, Francia: OECD.
- ISO (2004). Norma Internacional: Sistemas de Gestión ambiental, requisitos con orientación para su uso. Ginebra, Suiza: iso.

- J., R., J., L., M., O., y H., M. (2011, diciembre). Ethanol Production Under Endogenous Crop Prices: Theoretical Analysis and Application to Barley. *Biomass and Bioenergy*, 35(12), pp. 4788-4796.
- Keney, R. y T. Hertel (2009, noviembre). The indirect Land Use of United States Biofuel Policies: The importance of Acreage, Yields and Bilateral Trade Responses. *American Agricultural Economics*, 91, pp. 895-909, doi: 10.1111/j.1467-8276.2009.01308.x.
- Lamers, P.; C. Hamelinck; A. Faaij y M. Junginger (2011, enero 30). International Bioenergy Trade-A Review of Past Developments in the Liquid Biofuel Market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), pp. 2655-2676, doi:10.1016/j.rser.2011.01.022.
- Lattanzi, G. (2004). Descripción de las políticas de estímulo al uso de biocombustibles. *Departamento de Capacitación y Desarrollo de Mercado, Bolsa de Comercio de Rosario*.
- Lobato, V. (2010). *Aportes a la discusión sobre la sustentabilidad y la certificación de los biocombustibles*. Montevideo, Uruguay: Centro Latino Americano de Ecología Social.
- López, J.; S. Henao; M. Morales (2007, diciembre). Aplicación de la técnica DEA (Data Envelopment Analysis) en la Determinación de eficiencia de centros de costos de producción. *Scientia and technica, Universidad Tecnológica de Pereira*. 37(7). issn 0122-1701.
- Montiel, J. (2010, abril). Potencial y Riesgo de los Bioenergéticos en México. *Red de Revistas Científicas de América Latina, Estudios de Economía Aplicada*, 6(1), pp. 57-62, issn: 1665-0441.
- Martínez, B. (2012). El Reto de los Impuestos Ambientales a los combustibles en México. *Shared Ink Editions*.
- Miranda, F., Chamorro, A., y Rubio, S. (2010). Clarificando el concepto de Certificación: El caso español. *Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad de Extremadura*, pp. 2-3.
- Moreno, G. y P. Mendoza (2002). *Lecciones en Países de la OCDE y Experiencias en México*. Instituto Nacional de Ecología. México, DF., SEMARNAT. ISBN: 968-817-556-0.
- Muñoz, L. y J. Hilbert (2012). *Biocombustibles: El avance de la certificación de las Sustentabilidad en la Argentina*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA.
- OCDE (2013). *Evaluaciones sobre el Desempeño Ambiental en México*. OCDE. Recuperado de <http://www.oecd.org/fr/env/examens-pays/EPR%20Highlights%20MEXICO%202013%20ESP.pdf>.
- OCDE-FAO (2010). *Perspectivas Agrícolas 2010-2019*. ACDE-FAO. Recuperado de [http://dx.doi.org/10.1787/agr\\_outlook-2011-es](http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2011-es).

- OLADE y CEPAL (2003, diciembre). Energía y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe: Guía para la formulación de políticas energéticas. Santiago de Chile: CEPAL, pp. 11-56. Recuperado de: <http://www.cepal.org/drni/proyectos/energ%C3%ADA/Manualesespanol.pdf>.
- Palomares, R.; M. Martínez y F. Carrasco (2006). Análisis de eficiencia con variables de entorno: un método de programas con tres etapas. *Red de Revistas Científicas de América Latina*, 24 (1), pp. 477- 497. Recuperado de: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=3011179019>.
- Palomares, R. (2012). Análisis de eficiencia con variables exógenas categóricas. un estudio Monte Carlo para contrarrestar un nuevo método. *Grupo de eficiencia y Productividad Efícuo*.
- Pastor, J. (1995, junio). *Eficiencia, cambio productivo y cambio técnico en los bancos y cajas de ahorro Españolas: un análisis de frontera no paramétrico*. Ponencia presentada en el VII congreso de Asociación Científica Europea de Científicos de Economía Aplicada Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas, ISBN: 84-482-1023-9. Recuperado de [http://aeea.webs.upv.es/aeea/ficheros/congresos/congresoAlbacete 2007/ACTAS\\_VI\\_CEA-AEEA.pdf](http://aeea.webs.upv.es/aeea/ficheros/congresos/congresoAlbacete 2007/ACTAS_VI_CEA-AEEA.pdf).
- Pierri, N. (2005, julio). ¿Sustentabilidad? desacuerdos sobre el desarrollo sostenible. colección América Latina y Nuevo Orden Mundial. DF., México: Universidad Autónoma de Zacatecas y Miguel Angel Porrúa.
- R, B., A., C., y W. Cooper (1984). *Some models for estimating technical and scales inefficiencies in Data Envelopment Analysis*, 30, pp. 1078-1092.
- REOIL, M. (s.f.). *Recolección de RAUC y Producción de aceite Usado*. Recuperado el 15 de marzo de 2014, de REOL, México: <http://www.reoil.net/institucional.html>.
- Rodríguez, C. J. (2008, octubre). Fundamentos para el uso de instrumentos fiscales en la política ambiental: una aproximación al caso colombiano. *Comisión de Impuestos y Aduanas Nacionales*, 33.
- Romeu, Y., y Y. Rodríguez (2008). "Procedimiento para la evaluación de la eficiencia técnica en la transportación de caña en las UPBC cañeras de la provincia de Villa Clara". *Tesis de Licenciatura*. Universidad Central Marta Abreau de las Villas, Departamento de Economía. Santa Clara, Cuba.
- Sanhueza, E. (2003, noviembre). *Fronteras de eficiencia, metodologías para la determinación del valor agregado de distribución*. (Tesis de doctorado). Pontificia Universidad Católica de Chile. Recuperado de <http://web.ing.puc.cl/power/paperspdf/sanhuezathesis.pdf>.
- SENER (2006). Energías Renovables para el desarrollo sustentable en México. DF., México: SENER.

- SENER (2007). Programa de Introducción de Bioenergéticos. DF., México: SENER.
- SENER (2013). Estrategia Nacional de Energía 2013-2027. México, DF. SENER. Obtenido de [http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2013/ENE\\_2013-2027.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/ENE_2013-2027.pdf).
- Sorda, G.; M. Banse y C. Kemfert ( 2010, agosto 4). An Overview of Biofuel Policies Across the World. *Energy Policy*, 38, doi:10.1016/j.enpol.2010.06.066, pp. 6977-6988, doi:10.1016/j.enpol.2010.06.066.
- Van Dam, J.; C. Faaij; A. P. Lewandowski I; y J. Zeebroeck Van (2011, febrero 4). Options of Biofuel Trade From Central and Eastern to Western European Countries. *Biomass and Bioenergy*, 33, pp. 728-744, doi: 10.1016/j.biombioe.2008.11.006.
- Ventura, A. (octubre 14 de 2013). Garbage to Gold. Bioofuel, A. Eldridge, ed.