

Análisis comparativo de la influencia de los factores de eficiencia en la producción de biodiesel a partir de desechos de grasas animales y aceites vegetales

Yéssica Yasmín Santos Equihua*

Irma Cristina Espitia Moreno**

Rodrigo Gómez Monge***

Resumen

El trabajo presenta la segunda etapa del análisis de la eficiencia técnica relativa de empresas productoras de biodiesel a 30 empresas de cuatro países, utilizando el modelo DEA (Santos, Espitia y Gómez, 2016) y tiene como objetivo determinar el efecto de los factores de eficiencia en la producción de biodiesel a partir de desechos de grasas animales y aceites vegetales. Los hallazgos demuestran que los factores de eficiencia aumentan en función de los canales de distribución, y el personal de investigación y desarrollo, eleva considerablemente sus niveles, principalmente en España.

Palabras clave: Biodiesel, DEA, Factores de Eficiencia, Transporte.

Abstract

The paper presents the second stage of the analysis of the relative technical efficiency of biodiesel producing companies to 30 companies from four countries, using the DEA model (Santos, Espitia and Gómez, 2016) and has the purpose to determine the effect of efficiency factors in the production of biodiesel from waste animal fats and vegetable oils. The findings show that efficiency factors, increase depending on the distribution channels and the research and development staff, considerably increases their efficiency levels, mainly in Spain.

Key Words: Biodiesel, DEA, Efficiency Factor, Transport

Clasificación JEL: M21, 032, C67, 057

* Profesora de la Facultad de Economía de la UMSNH. brayajoss@hotmail.com

** Profesora de la Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas de la UMSNH. irmacris@umich.mx

*** Profesor de la Facultad de Economía de la UMSNH. rogomo@gmail.com

1. Introducción

Los combustibles destinados al transporte se clasifican en dos categorías: combustibles fósiles, basados principalmente en petróleo crudo y gas natural y los biocombustibles que provienen de fuentes renovables (Jansen y Rutz, 2011, p. 10). En Europa los grandes importadores son Dinamarca y Suecia, los cuales lo obtienen de Noruega, Canadá, Finlandia, los países Bálticos y Alemania (Ericsson y Nilsson, 2004, p. 205). En cuanto a su distribución geográfica, ésta se encuentra concentrada en Europa, siendo Alemania el principal productor (CAP, 2008, p. 84). El costo de producción del biodiesel tiende a variar de acuerdo a la materia prima con la que se elabora el proceso de conversión, la escala de producción y la región. La mayor parte del biodiesel es elaborado mediante la soya, palma y colza; sin embargo, existen grandes cantidades de aceites y grasas de residuo que pueden generar biodiesel a bajo costo (Demirbas, 2011). El costo de producir biodiesel a partir de residuos oscila entre los 19 y los 84 dólares por tonelada, dependiendo de diversos factores como el cultivo, las distancias, las facilidades de conversión, manejo, costos de oportunidad, entre otros (Carriquiry, Xiaodong y Timilsina, 2011, p.226).

La investigación aborda el contexto sobre el cual se desarrolla el sector de biodiesel a partir de desechos de grasas animales y aceites vegetales, abordando los aspectos relevantes en los transportes, potencializando al biodiesel como alternativa energética sustentable, en el que, a pesar de su incremento y demanda de producción, se centra principalmente en países desarrollados, promoviendo los biocombustibles y fuentes alternativas de energía (Delshad, Sawicki y Wegener, 2011). El estudio se realizó en un modelo de tres etapas. Los hallazgos encontrados en la primera etapa determinaron que las empresas norteamericanas tienen mayor nivel de eficiencia y que las mexicanas y costarricenses mantienen excedentes en la capacidad de producción y número de empleados (Santos, *et al*, 2016). En este trabajo se presentan los resultados de la segunda etapa. Para realizar el análisis, se utilizó la técnica de optimización Data Envelopment Analysis (DEA), que mide el comportamiento relativo de diferentes unidades organizacionales en las cuales, la presencia de múltiples insumos (inputs) y productos (outputs) hace difícil la comparación de su desempeño (López, Fernández y Morales, 2007, p. 396). Dentro de estos estudios se vienen desarrollando métodos de estimación de eficiencia que incorporan factores externos al proceso de producción, los llamados factores de eficiencia (Palomares, 2012, p. 2) y se utilizó, para alcanzar el objetivo que consiste en *Determinar el efecto de los factores de eficiencia en la producción de biodiesel a partir de desechos de grasas animales y aceites vegetales.*

De esta manera es importante saber si las empresas han elegido el nivel de producción que maximiza el beneficio, y si se ha logrado con la menor cantidad de inputs o minimizando el coste de producción. En consecuencia, la importancia del análisis de eficiencia en la producción de biodiesel, sus determinantes y su evolución es de interés primordial, ya que, a mayor nivel

de eficiencia, mayor nivel de productividad y por tanto mayores ventajas competitivas, y mayor intercambio comercial.

2. Problemática

Los inicios del uso del petróleo comenzaron hace 150 años. Fácilmente la disponibilidad de este recurso ha apoyado los mayores avances en la agricultura, industria, transporte y muchas otras actividades de valor para el ser humano. Ahora las ofertas, del mundo del petróleo y gas natural han alcanzado su máximo pico y sus reservas comenzarán a declinar en los siguientes 40 o 50 años (Acaroglu y Aydogan, 2011 pp. 69-70). El consumo de energía en México crece más de lo que lo hace la producción, siendo que entre 2000 - 2011 el consumo creció a un promedio anual de 2.08%, tasa superior a la que presentó el Producto Interno Bruto (PIB). Por su parte, la producción de energía primaria disminuyó a una tasa anual de 0.3%, mencionando además que, de continuar así estas tendencias, tanto en consumo como en producción de energía, para el 2020 México se convertiría en un país estructuralmente deficitario en energía (SENER, 2013, p.3).

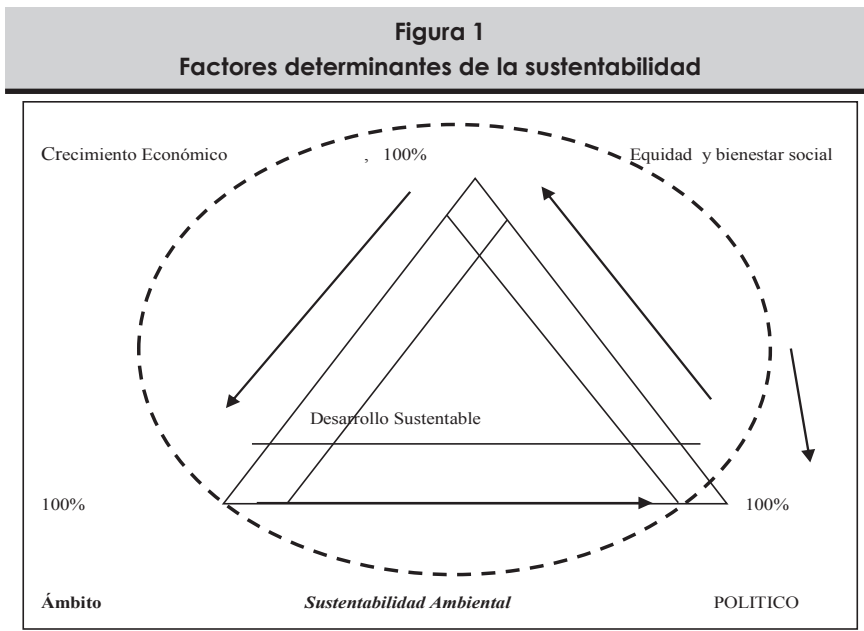
En cuanto a los biocombustibles, uno de los primeros esfuerzos para producirlos, surgió durante la primera crisis petrolera de los años 70's que estimuló a los gobiernos a realizar investigaciones para producir combustibles orgánicos, pero las investigaciones cesaron en 1996 por los bajos precios del hidrocarburo (Duffey, 2006 p. 11). Actualmente, los altos precios del petróleo, la inestabilidad en las fuentes de generación de energías, así la preocupación por reducción de emisiones de GEI, han llevado al replanteamiento sobre fuentes alternativas de combustibles que generen un mejor beneficio económico, social y ambiental (Bourgeon y Treguer, 2010). Para Montiel (2010), el planteamiento de cambios en las fuentes de energía se fortalece en los tres pilares de desarrollo sustentable: la economía, el medio ambiente y el aspecto social. En la práctica, la mayoría de los trabajos académicos y de políticas públicas, se han centrado en el aspecto ambiental y, sobre todo, en la interacción entre economía y medio ambiente, mientras que la dimensión social ha permanecido como la más frágil y menos desarrollada, lo cual precisamente se debe a la dificultad de medir esas implicaciones (Lehtonen, 2011, p. 2425).

El uso de biomasa para usos energéticos y, en particular de biocombustibles, adquiere más interés. Existen dos tipos de biocombustibles líquidos que pueden reemplazar a la gasolina y el diésel: el biodiesel y el bioetanol. Sus beneficios dentro del sector transporte, se reflejan en un creciente número de países, introduciendo políticas para incrementar éstos dentro de su proporción dentro de su matriz energética. Sin embargo, el abastecimiento requiere importantes y rápidos cambios en su estructura. En México, el desarrollo de esta industria busca fomentar la seguridad energética, sin poner en riesgo la seguridad alimentaria. No obstante, estas políticas se encuentran centradas en los agrocombustibles, que dentro del ciclo completo de vida del producto

puede resultar igual o más dañino para medio ambiente (Davis *et al.*, 2011). La experiencia de países como España, muestra que la producción de biocombustibles a base de desechos, pueden promover el desarrollo regional y ofrecer oportunidades de intercambio comercial para México. El estudio empírico de la eficiencia de la producción de biodiesel en México, comparado con los niveles presentes en Costa Rica, España y EE UU., permiten establecer criterios de objetivos en la toma de decisiones para llevar a cabo su producción, mediante un mejor manejo e incorporación de las variables de entorno y de los factores de eficiencia, que posibilite al país a colocarse en el ámbito internacional como un competidor eficiente. En función de lo anteriormente expuesto, se establece la interrogante de investigación *¿Cuál es el efecto de los factores de eficiencia en la producción de biodiesel a partir de desechos de grasas animales y aceites vegetales utilizando el modelo DEA?*

3. Fundamentos teóricos

Sustentabilidad. El concepto de desarrollo sustentable es bastante complejo y tiende a diferir en cuanto a los elementos incorporados. Sin embargo, diversos autores como (Dale, et al, 2011, p. 1039) mencionan que “indudablemente la humanidad actual no está usando los recursos energéticos de una manera sustentable. La sustentabilidad se ha orientado hacia una propuesta que integra principalmente tres dimensiones: la económica, la ecológica y la social, las cuales se deben encontrar incluidas en el ámbito político de cada nación (Gutiérrez, 2007 y Pistonesi et al, 2008), lo cual se representa en la siguiente figura:



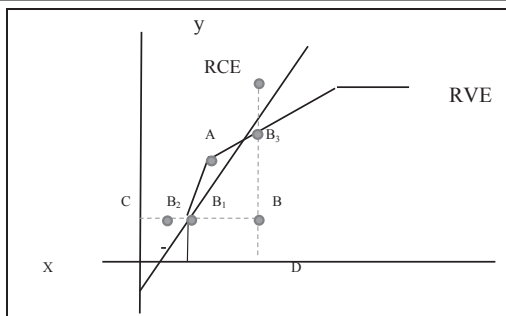
Fuente: Elaboración propia en base a información obtenida de Gutiérrez, 2007 y Pistonesi et al, 2008

El sector energético es importante dentro del desarrollo de una sociedad, ya que forma parte de la política económica y socioeconómica de largo plazo de una nación. Muchos de los aspectos vinculados con el proceso de desarrollo de un país, se manifiestan bajo la forma de externalidades. Por lo tanto, las decisiones de política energética pueden tener una presencia significativa para el logro de una mayor sustentabilidad del proceso de desarrollo (CEPAL, 2003).

Eficiencia. Las escasas referencias sobre la eficiencia y su medición se deben a que, bajo los supuestos habituales, las empresas maximizan el beneficio, por lo que se consideran eficientes. Sin embargo, en la práctica la ineficiencia existe, ya que, aunque compartan el objetivo de maximizar sus beneficios, no todas lo consiguen (Gómez, 2012, p. 29). La medición de la eficiencia se basa en la idea de comparar la actuación real o performance de una empresa respecto a un óptimo. En este sentido, la metodología que propone Farrell es una técnica basada en el concepto de “Benchmark (Schuschny, 2007, p. 11). El inconveniente de este concepto es que su aplicación empírica requiere definir una empresa que optimice el beneficio. De aquí surgió otra idea de comparar lo que hace una empresa respecto a otras empresas (Carbajal y Chang, 2011). Retomando lo expuesto por Santos, *et al* (2016) para el análisis de eficiencia, es posible incorporar diversas técnicas y herramientas, una de ellas es el *Análisis Envolvente de Datos* (DEA), la cual es una técnica de programación matemática no lineal donde las empresas eficientes se unen linealmente, conformando una envolvente de posibilidades de producción (González y Álvarez, 1996). Este análisis mantiene dos vertientes, el de rendimientos crecientes a escala y rendimientos constantes de escala.

Por otra parte, Gómez (2012) expone que, la frontera de eficiencia está formada por las observaciones del desempeño de cada uno de los productores comparados, determinadas por las relaciones entre los inputs y outputs para producir la misma cantidad de outputs que produce el resto de las empresas comparadas. 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* se han representado las dos fronteras DEA respectivas de los modelos DEA-RCE y DEA-RVE: frontera de RCE y frontera de RVE.

Ilustración 1
Representación gráfica del modelo DEA- RCE y RVE



Se puede apreciar que, 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 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. Tal eficiencia puede ser interpretada como la parte de la ineficiencia presente en ETG que obedece a la escala de producción de la entidad que se evalúa, es decir, es el resultado de descontar a la ETG la ETP .

Donde:

ETG= Eficiencia Técnica Global

ETP = Eficiencia Técnica Pura

EE = Eficiencia Técnica de Escala

1

Por tanto, se tiene que:

$$ETG = ETP + EE \quad (1) \text{ Eficiencia total global}$$

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).

Los métodos de análisis con variables de entorno es que la eficiencia que se deriva de la resolución de la frontera, incluyendo únicamente las variables propias de la producción, es decir inputs y outputs, contiene solapados dos efectos distintos que se deben, uno a la eficiencia de la empresa dentro de su entorno (frontera) y otro a la diferencia en productividad debida a dicho entorno en comparación con los demás (Palomares, 2012). Por otra parte, Pastor (1995) menciona que, en una primera etapa se resuelve un modelo DEA incluyendo sólo outputs y las variables de entorno. Posteriormente se calculan

las proyecciones de la frontera de las unidades ineficientes corrigiendo los outputs. En la segunda fase se resuelve un modelo DEA de todas las unidades con los datos originales observados, añadiendo los denominados ineficientes inputs u outputs (dependiendo de la orientación) corregidos.

En la segunda etapa se estima una nueva frontera mediante DEA, con todas las unidades y con los valores corregidos. En esta etapa los nuevos slacks recogen el efecto debido a los dos componentes restantes, que son la influencia del entorno y el error. Continuando con el ejemplo, las nuevas matrices con los datos de output e input corregidos en la etapa anterior, contienen todas las unidades muestrales y las denominamos Y^* ($N \times M$), y X^* ($N \times L$). En éstas se basa el modelo DEA, que se resuelve en esta etapa orientado al input, y que dará como resultado slacks totales para cada input y output (en su caso) que son S^*x_j para $j = 1, \dots, L$, y S^* y i para $i=1, \dots, M$. Posteriormente se corrigen los datos originales de input y output con dichos slacks para eliminar esos dos efectos. En el ejemplo, la corrección que se efectúa es la siguiente:

$$\begin{aligned} X^{**}(n, j) &= X(n, j) - S^*x_j && 2. \text{ Eficiencia en la segunda etapa, outputs} \\ & j = 1, \dots, L ; n = 1, \dots, N \\ Y^{**}(n, i) &= Y(n, i) + S^*y_i && 3. \text{ Eficiencia en la segunda etapa, inputs} \\ & i = 1, \dots, M ; n = 1, \dots, N \end{aligned}$$

El proceso de evaluación de la eficiencia, a través de los modelos DEA, se inicia con la selección de unidades de decisión que serán objeto de análisis. Dentro de los modelos frontera, uno de los aspectos más complejos y controvertidos es precisamente la determinación de los inputs y outputs a utilizar, ya que no existe un conjunto claramente definido y consensuado de la cantidad óptima para emplear. Por otra parte, el primer desafío para aplicar los modelos DEA, consiste en seleccionar las variables (inputs y outputs) que describan con mayor precisión el proceso de transformación de las DMUs evaluadas y permitan discriminar claramente las eficientes de las ineficientes (Araya y Valenzuela, 2009, p. 49). El desarrollo matemático del modelo se puede consultar en Santos, *et al* (2016).

4. Diseño de investigación

La presente investigación se apega al método científico de acuerdo con lo establecido por Briones (2006); Hernández, Fernández y Baptista (2010); Kerlinger y Lee (2002) y Sierra, R. (2007) que consiste en establecer etapas que consisten en: Plantear un Problema de Investigación, elaborar un marco teórico adecuado, determinar la hipótesis, recolectar y analizar datos y presentar los hallazgos encontrados.

En función a lo expuesto, se formuló la Hipótesis *El precio de biodiesel, la comercialización interna y externa del combustible, la mayor gama de productos,*

la comercialización vía intermediarios y un mayor número de personas dedicadas a la investigación y desarrollo determinar el efecto de los factores de eficiencia en la producción de biodiesel a partir de desechos de grasas animales y aceites vegetales, mediante el uso del modelo DEA.

El análisis contempla el diseño establecido por Santos, *et al*, (2016) en la primera etapa, en la que para identificar los supuestos en que se fundamenta el modelo, se utilizó la medida de eficiencia técnica DEA, así como las variables. Se llevó a cabo con 30 empresas productoras de biodiesel, a partir de aceites vegetales y grasas de desecho en el año 2014, de Costa Rica, Estados Unidos, España y México. Se tomaron además en cuenta tres tipos de variables, las variables de entrada que incluyen empleados y producción, las variables de salida en donde se incorporan la cantidad de litros de biodiesel, y finalmente los factores de eficiencia en donde se incluye el destino de la producción, la gama de productos, el precio del biodiesel, el personal dedicado a la investigación y desarrollo, y la forma de comercialización. Las DMUs empleadas son en total 30 empresas, como ya se mencionó. Las cuales adquieren la siguiente notación:

Tabla 1
Notación de las DMUs empleadas

Costa Rica	Coopavi
1.- Cooperativa Agrícola Industrial Victoria	<u>Enerbio</u>
2.- Energías Biodegradables	
México	
3.- Combustibles Biológicos México	Combiomex
4.- Moreco	Moreco
5.- Renovables Maya Verde	Remave
España	
6.- Biodiesel CastillaLa Mancha	Biocama
7.- Bio Bionet Europa, S.A	Biobionet
8.- Bionor Transformación, S.A.	Bionor
9.- Bionorte	Bionorte
10.- Grupo Ecológico Natural, S.L.	Grenatura
11.- Stocks Del Valles, S.A.	Stockva
12.- Ecofuel	Ecofuel
13.- Bioenergética Española	Bioenergética
Estados Unidos	
14.- Baker Commodities Los Angeles	Backmoan
15.- Bay Biodiesel, LLC (San José)	Baybio
16.- Biodiesel Industries of Ventura, LLC	Bioventura
17.- BioDieselOne Ltd Bridgeport Biodiesel, LLC	Bioneltd
18.- Bridgeport Biodiesel LLC	Bridgeport
19.- CGF Clayton LLC Community Fuels	Cfgclayton
20.- Community Fuels	Communityfuel
21.- Crimson Renewable Energy, LP	Crimsonrenew
22.- Delta American Fuel, LLC FL Biofuels, LLC	Deltamerican
23.- Fl Biofuels LLC	Flbiofuellc

24.- Genuine BioFuel	Genuinebiofuel
25.- GeoGreen Biofuels, Inc.	Geogreen
26.- Healy Biodiesel	Healybio
27.- Imperial Western Products	Imperialwest
28.- Iowa Renewable Energy, LLC	Iowarenewa
29.- Middle Georgia Biofuel	Middlegeorg
30.- New Leaf Biofuel, LLC	Newleaf

Fuente: Elaboración propia con base en Santos, et al. (2016)

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

Tabla 2 Notación de las variables empleadas		
Variable	Indicador	Notación
De entrada	Nivel de producción	Nivelprod
De salida	Empleados	Empleado
	Capacidad de producción	Capacidprod
Factores de eficiencia	Destino de la producción	Destino
	Gama de productos	Gamaproduct
	Precio del biodiesel	Preciobiodies
	Personal dedicado a la investigación y desarrollo	Inv&des
	Forma de comercialización	Formcomerc

Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultados

Se incorporan empresas mayormente de tamaño mediano y en crecimiento, los valores de los índices de eficiencia bajo RVE, son mayores que los correspondientes bajo RCE, lo que indica 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 al 6%, exceptuando Bioenergética, Moreco y Remave con un 63%. Además, las empresas norteamericanas lideren los niveles de eficiencia.

El valor inferior al 100% para la mayoría de los países, significa que la mayoría de los países no ha sido capaz de alcanzar su máximo nivel de eficiencia relativa, ya que no está operando en la escala más productiva que pudiera. Consecuentemente, las siguientes evaluaciones se realizaron bajo el esquema de RVE. Así los resultados del análisis de eficiencia, incorporando únicamente variables de escala, se puede encontrar una empresa mexicana “Renovables Maya Verde”. Las empresas estadounidenses “Biodiesel Industries of Ventura LLC, Community Fuels, Crimson Renewable Energy, LP, Imperial Western Products, CGF Clayton LLC, Iowa Renewable Energy, LLC y, Middle Georgia Biofuel”; siendo las cuatro primeras del Estado 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 restantes son cercanas al nivel de eficiencia. Para el caso de México, la empresa michoacana “Moreco” también se encuentra en un alto nivel de eficiencia. Y en el caso de España las empresas “Bionor Transformación y Bionorte” de Álava y Asturias, respectivamente, son las de alto nivel de eficiencia.

Tabla 3
Determinación de la eficiencia de escala

	DMU	ETG	ETP	EE
1	Imperialwest (EU)	100%	100%	100.0%
2	Middlegeorg (EU)	100%	100%	100.0%
3	Communityfuel (EU)	99,5%	100%	99.2%
4	Crimsonrenew (EU)	99%	100%	99.2%
5	Iowarenewa (EU)	96%	96%	100.0%
6	Deltamerican (EU)	93%	94%	98.9%
7	Healybio (EU)	92%	97%	94.8%
8	Bioneltd (EU)	92%	95%	96.8%
9	Geogreen (EU)	92%	99%	92.9%
10	Backcoman (EU)	91%	92%	98.9%
11	Bionorte (Es)	91%	97%	93.8%
12	BayBio (EU)	90%	91%	98.9%
13	Flbiofuellc (EU)	88%	91%	96.7%
14	Genuinebiofuel (EU)	86%	88%	97.7%
15	Bionor (Es)	86%	89%	96.6%
16	Bridgeport (EU)	80%	83%	96.4%
17	Bioventura (Es)	80%	100%	80.0%
18	Newleaf (Es)	80%	81%	98.8%
19	Grenatura (Es)	76%	76%	100.0%
20	Biobionet (Es)	76%	77%	98.7%
21	Stockva (Es)	66%	69%	95.7%
22	Moreco (Méx)	57%	93%	61.3%
23	Biocama (Es)	50%	51%	98.0%
24	Cfgclayton (EU)	48%	100%	48.0%
25	Enerbio (CR)	40%	42%	95.2%
26	Remave (Mex)	33%	100%	33.0%
27	Coopavi (Es)	33%	37%	89.2%
28	Ecofuel (Es)	25%	25%	100.0%
29	Bionergetica (Es)	13%	22%	59.1%
30	Cambiomex (Mex)	3%	4%	75.0%

Fuente: Elaboración a partir de las mediciones obtenidas de Data Envelopment Analysis Online, 2015.

Análisis de eficiencia DEA (RCE Y RVE). En la segunda etapa se incorporan: gama de productos, destino de la producción, formas de comercialización, precio biodiesel, personal dedicado a la investigación y desarrollo. Cuando se analiza la segunda etapa respecto a la primera, se observa que los niveles de eficiencia relativa comienzan a aumentar, principalmente en las empresas españolas; lo cual indica que las variables gama de productos, destino de la

producción, formas de comercialización, precio biodiesel, personal dedicado a la investigación y desarrollo, son importantes en la mayoría de las empresas. Combustibles Biológicos de México pasa de 4% a 100%, Ecofuel pasa de 25% al 100%, Bio Bionet Europa, S.A. incrementa su nivel de eficiencia de 75% al 100%, en el caso de la Empresa Moreco pasa de 93% a 100%, Bionorte se incrementa del 97% al 100% y finalmente, Geogreen que tenía un 99% logra alcanzar el 100%. En el resto de las empresas, la eficiencia aumenta exceptuando los casos de Cooperativa Agrícola Industrial Victoria, Baker Commodities Los Angeles, Genuine Bio-Fuel Inc y New Leaf Biofuel, LLC en donde se reduce. Con esto se muestra como las variables de entorno aumentan notablemente el nivel de eficiencia. Como es el caso de BioDiesel One Ltd de Connecticut, que casi logra situarse dentro de las empresas eficientes y el caso de Bay Biodiesel, LLC de California que aumenta hasta un 95%, lo cual muestra la importancia de dichas variables en el logro de eficiencia de cada una de las empresas.

Tabla 4
Análisis comparativo de las empresas ineficientes
en primera y segunda etapa

DMU con Ineficiencia (%)			
Primera Etapa		Segunda Etapa	
Crimsonrenewable (EU)	99.8	Coopavi	37.4 %
Geogreen (EU)	99	Enerbio	42.6 %
Bionorte (Es)	97	Grenatura	81.7 %
Healybiodiesel (EU)	97	Stockva	76.3 %
Iowarenewable (EU)	96	Backcoman	92.1 %
Bioneltd (EU)	95	Baybio	94.9 %
Deltamerican (EU)	94	Bioneltd	99.7 %
Moreco (Mex)	93	Bridgeport	9.1 %
Backcoman (EU)	92	Flbiofuelllc	92 %
Flbiofuelllc (EU)	91	Genuinebiofuel	87.8 %
BayBio (EU)	91	Newleafbiofuel	82.4 %
Bionor (Es)	89		
Genuine Biofuel (EU)	88		
Bridgeport (EU)	83		
Newleafbiofuel (EU)	81		
Biobionet (Es)	77		
Grenatura (Es)	77		
Stockva (Es)	69		
Biocama (Es)	51		
Enerbio (CR)	42		
Coopavi (Es)	37		
Ecofuel (Es)	25		
Bionergetica (Es)	22		
Cambiomex (Mex)	4		

Fuente: Elaboración a partir de las mediciones obtenidas de Data Envelopment Analysis Online, 2015.

Slacks. Dentro de los excesos en las variables incorporadas como de entorno, se ve muy poco excedente, únicamente tres empresas muestran un excedente de casi una persona en su empresa: Energías biodegradables de Costa Rica, Grupo Ecológico Natural, S.L. de España y Crimson Renewable Energy, de EE UU. El excedente en el precio del diésel es muy bajo. Mientras que el de gama de productos es casi una unidad en tres empresas: Baker Commodities Los Angeles, FL Biofuels, LLC y New Leaf Biofuel, LLC. Siendo las tres empresas de EE UU.

Tabla 5
Slacks o excesos de inputs

DMU	Inv&D es	Preciobiodies	Gamaproduct	Destino	Formcomerc
Coopavi	0	0.05	0	0	0.02
Enerbio	0.996	0.049	0	0.004	0
Grenatura	0.8	0.15	0	0	0
Stockva	0	0.001	0	0	0
Backcoman	0	0	0.887	0	0
Baybio	0.3	0	0	0	0

Fuente: Elaboración a partir de las mediciones obtenidas de Data Envelopment Analysis Online, 2015.

Pesos de las variables. Para la empresa de Costa Rica Cooperativa Agrícola Victoria al igual que en la mexicana Combustibles Biológicos de México, el mayor peso lo tiene la Investigación y Gamma de productos, Mientras que en las empresas Españolas el destino de la producción, la gama de productos y el precio del diésel son factores importantes. En las empresas norteamericanas, los mayores pesos se observan en las variables de investigación y forma de comercialización:

Tabla 6
Pesos de las variables

Dmu	Investigación	Preciobio diesel	Gama productos	Destino	Formcomercializ
Coopavi	1.744	0	0.027	0	0
Enerbio	0	0	0.074	0	0
Combiomex	25.313	0.177	93.464	0	0
Moreco	0.087	0.324	0.134	0	0
Biocama	0	8.083	0	12.508	0
Biobionet	0	0.091	0	1.839	0
Bionor	3.234	0	0	5.772	0.468
Bionergetica	0.625	0	0.075	8.692	0
Bionorte	0.567	0	0	0.031	0.265
Ecofuel	1.3	0	0.289	2.324	0
Grenatura	0	0	0.29	0	0
Stockva	6.085	0	0.657	11.211	0
Baybio	0	0	5.117	0	0
Bioventura	0.189	0	0.658	0	0
Bioneltd	0	0	0.828	0	0

Fuente: Elaboración a partir de las mediciones obtenidas de Data Envelopment Analysis Online, 2015.

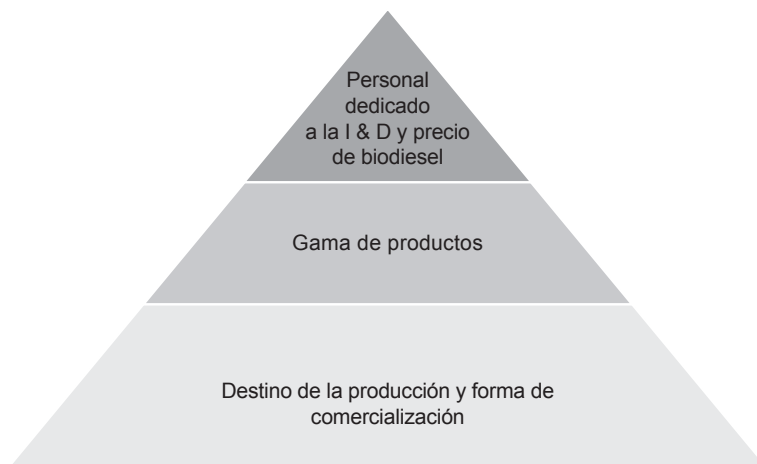
<i>Bridgeport</i>	36.882	0	29.798	0	0
<i>Communityfu</i>	1.345	0	0	0	0
<i>Crimsonrene</i>	0	0.005	0.003	0	0
<i>Deltamerican</i>	0	0.031	0	0	0
<i>Flbiofuellic</i>	0.016	0	0	0	0.017
<i>Genuinebiofu</i>	0	0	0	0	0.001
<i>Geogreen</i>	1.087	0	0	0	0.075
<i>Healybiodiese</i>	0.035	0	0	0	0.037
<i>Imperialwest</i>	0.114	0.032	0	0	0
<i>Iowarenewab</i>	0	0	0.229	0	0
<i>MiddleGeorgi</i>	1.062	0	0	1	0
<i>Newleafbiofu</i>	0.101	0	0	0	0.017

Fuente: Elaboración a partir de las mediciones obtenidas de Data Envelopment Analysis Online, 2015.

Mejoras. La mayor parte de las variables no parecen mostrar reducciones significativas en cuanto a su uso. El nivel de producción alcanzado, sin embargo, sí es mayor para la mayoría de las empresas que no se encuentran produciendo en su nivel máximo; además, es ligeramente inferior el nivel que se podría alcanzar sin incluir los factores de eficiencia.

Análisis de la importancia de las variables consideradas factores de eficiencia. Después de analizar de manera conjunta la incidencia en el nivel de eficiencia por parte de los factores de eficiencia, se procedió a evaluarlos de manera individual. Cuando se analizan la influencia de cada una de éstas, se observa que las variables que más inciden positivamente en los niveles de eficiencia relativa en la mayoría de las empresas son: el destino de la producción y la forma de comercialización.

Figura 2
Influencia de los factores de eficiencia, por tipo



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, las variables que influyen, pero en menor medida, es la gama de productos, el personal dedicado a la investigación y desarrollo, así como el precio del biodiesel. Con estos resultados se observa como algunas decisiones propias de la empresa e independientes con la forma de producción, ayudan a elevar los niveles de eficiencia en la mayor parte de las empresas, principalmente en las españolas y las estadounidenses.

Conclusiones

Dentro de la primera etapa del análisis se incluyeron las variables de entrada, las cuales fueron empleados y capacidad de producción; se determinó que las empresas no se encuentran produciendo en escala de eficiencia de 100%. Por lo tanto, a partir de entonces, se procedió a realizar el análisis bajo RVE en las dos etapas. En cuanto a la incorporación de los *factores de eficiencia* en la segunda etapa que fueron: el personal dedicado a la investigación y desarrollo, el destino de la producción, las formas de comercialización, el precio del biodiesel y la gama de productos. Se puede observar un fuerte aumento en cuanto a los niveles de eficiencia de muchas empresas de los cuatro países, pero fundamentalmente españolas. La incidencia de cada una de las variables consideradas factores de eficiencia, tiende a diferir de país a país, e incluso de regiones (en el caso de las estadounidenses), ya que cada una ha adoptado diferentes estrategias que al conjuntarse con las políticas y entorno nacional generan diferentes resultados. 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 respaldarse de las grandes distribuidoras nacionales de diésel y biodiesel, tales como Bionorte y Bioventura. Así mismo, se puede contar con personal dedicado a la investigación y desarrollo del mismo. También han tenido que apoyarse de empresas que permiten distribuir sus productos y que en el caso de algunas han sido parte de sus accionistas.

En cuanto al precio del diésel, se encuentra un amplio margen que permite colocar parte de sus productos, además de que actualmente, la protección al mercado nacional ha permitido la estabilización de su 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, en diversas empresas que fueron mostradas en los resultados. Además, que al tener el impuesto alto al diésel se puede contar con un amplio margen en cuanto a la venta del biodiesel. También, dentro de las empresas americanas productoras de biodiesel se encuentra Geogreen Biofuels, Inc. que al igual que la empresa Community Fuels, tiene la oportunidad de aprovechar los altos impuestos al diésel, así como personal dedicado a la investigación y del desarrollo del biodiesel.

Por otra parte, al analizarse las variables de holgura, se muestran excedentes prácticamente nulos. En cuanto al peso de las variables, es posible ver una gran importancia en todos los factores de eficiencia de las empresas españolas, mientras que en el caso de las mexicanas se observa un peso moderado en el destino de los productos y el precio del biodiesel que es bajo, comparado con los demás países. En el caso de las empresas norteamericanas todas las variables tienen un gran peso, dependiendo de la empresa de que se trate.

Con estos hallazgos se concluye que, el nivel de eficiencia en la producción de las empresas productoras de biodiesel en las empresas de México es inferior a la encontrada en las empresas de España y EE UU, y similar a las de Costa Rica al utilizar las variables de entrada, las variables de salida y los factores de eficiencia haciendo uso del modelo DEA, Por lo tanto, si mejoran sus canales de distribución y aumentan el personal destinado a la investigación y desarrollo, tienen la posibilidad de elevar los niveles sus eficiencia.

Agradecimientos

Este trabajo fue desarrollado gracias a la Dra. Irma Cristina Espitia Moreno; así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado para su realización.

Referencias

- Acaroglu, M. y Aydogan, H. (noviembre, 2011). "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.
- Araya, M. y Valenzuela N. (2009). *Método de Selección de Variables para mejorar la Discriminación en el Análisis de Eficiencia Aplicando Modelos DEA*. Escuela de Ingeniería Industrial: Universidad de Talca. 8(2),
- Bourgeon, J. & Treguer, D. (abril, 2010). Killing Two Birds with one Stone: US and EU Biofuel Programmes. *European Review of Agricultural Economics*, 37(3), pp. 369- 394. doi: 10.1093/erae/jbq025.
- Briones, G. (2006). *Métodos y técnicas de Investigación para las Ciencias Sociales* (4a ed.). México: Trillas.
- CAP (2008). *Situación del Sector de los Biocarburantes en Andalucía y Perspectivas de Desarrollo*. España: Junta de Andalucía.
- Carbajal, M. y Chang (2011). *Medición de Productividad y Eficiencia de los Puertos Regionales del Perú: UN Enfoque no Paramétrico*. Lima, Perú: Consorcio de Investigación Económica y Social (CIES). Recuperado de http://www.cies.org.pe/sites/default/files/investigaciones/medicion_de_productividad_y_eficiencia_de_los_puertos_0.pdf.
- Carriquiry, M., Xiaodong, D., y Timilsina, G. (mayo, 2011). "Second Generation Biofuels: Economics and Policies". *Energy Policy*, 39, pp. 4222-4234. doi:10.1016/j.enpol.2011.04.036.

- CEPAL. (2003). *Energía y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe: Guía para la Formulación de Políticas Energéticas* (Primera ed.). Santiago de Chile: CEPAL.
- Dale, V., Kline, K., Wright, L., Perlack, R., Downing, M., & Graham, R. (junio, 2011). Interactions Among Bioenergy Feedstock Choices, Landscape Dynamics, and Land Use. *Ecological Applications*, 21 (4), pp. 1039–1054. doi:10.1890/09-0501.1
- Davis, S., Parton, W., Del Grosso, S.J., Keough, C., Marx, E., Adler, P.R., Delucia, E. (mayo, 2011). Impact of second-generation biofuel agriculture on greenhouse gas emissions in the corn-growing regions of the US. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 10:69-74 <http://dx.doi.org/10.1890/110003>
- Delshad, A., Raymond, L., Sawicki, V., y Wegener, D. (marzo, 2011). Public Attitudes Toward Political and Technological Options for Biofuels. *Energy Policy*, 38, pp.3414–3425. doi: 10.1016/j.enpol.2010.02.015
- Demirbas, A. (agosto, 2011). “Competitive Liquid Biofuels From Biomass”. *Applied Energy*, 88, pp.17-28. doi:10.1016/j.apenergy.2010.07.016
- Duffey, A. (septiembre, 2006). “Producción y comercio de biocombustibles y desarrollo sustentable: los grandes temas, Instituto Internacional para el Medio Ambiente y Desarrollo”. Londres: El Instituto Internacional para el Medio Ambiente y Desarrollo. Recuperado de <http://pubs.iied.org/pdfs/15504SIIED.pdf>
- Ericsson, K., y Nilsson, L. (2004). International biofuel trade — A study of the Swedish import. *Biomass and Bioenergy*, 26, pp.205 – 220. doi: 10.1016/S0961-9534(03)00122-
- Gómez, J. (mayo, 2012). Eficiencia y Diversificación: Sector de Caja de Ahorros (Tesis de Doctorado). Facultad de Economía y Empresa, Universidad de Murcia. Murcia, España.
- González, F., Arias, C y Álvarez, A. (1996). “Análisis no paramétrico de eficiencia en explotaciones Lecheras”. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1168496>
- Gutiérrez, E. (diciembre, 2007). “De la Teoría del Desarrollo al Desarrollo Sustentable”. *Trayectorias*, 9(25), pp. 21- 35. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/607/60715120006.pdf>.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. Mc Graw Hill. 5a ed. México, D.F.
- Jassen, R., y Rutz, D. (enero, 2011). Sustainability of biofuels in Latin America: Risks and opportunities. *Energy Policy*, 39(10), pp. 5717–5725. doi:10.1016/j.enpol.2011.01.047.
- Kerlinger, F. y Lee, H. (2002). *Investigación del comportamiento: Métodos de investigación en Ciencias Sociales*. Mc Graw Hill. 4a ed. México D.F.
- Lehtonen, M. (mayo, 2011). Social Sustainability of the Brazilian Bioethanol: Power Relations in a Centre-periphery Perspective. *Biomass and Bioenergy*, Vol. XXXV, 2425-2434.

- López, J., Fernández, S., Morales, M. (diciembre, 2007). “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). Pp. 396- 400.
- Montiel, J. (abril, 2010). “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.
- Palomares, R. (2012). *Análisis de Eficiencia con Variables Exógenas Categóricas*. Un Estudio Monte Carlo para Contrarrestar un Nuevo Método. Grupo de eficiencia y Productividad Efiuco.
- Palomares, R., Martínez, M., y Carrasco, F. (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>.
- Pastor, J. (1995). *Eficiencia, Cambio Productivo y Cambio Técnico en los Bancos y Cajas de Ahorro Españolas: Un Análisis de Frontera No Paramétrico*. España: Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas. Recuperado de: <http://www.ivie.es/downloads/docs/wpasec/wpasec-1995-09.pdf>
- Pistonesi, H., Nadal, G., Bravo, V., y Bouille, D. (marzo, 2008). *Aporte de los Biocombustibles a la Sustentabilidad del Desarrollo en América Latina y el Caribe: Elementos para la Formulación de Políticas Públicas*. Santiago de Chile: CEPAL.
- Queiroz A., G., Franc a, L., y Ponte X., M. (diciembre, 2011). The Life Cycle Assessment of Biodiesel from Palm Oil (“dende”) in the Amazon. *Biomass and Bioenergy*, pp.50-59.
- Rainer, J. & Dominick (enero, 2008). *Biofuel Techonology Handbook. Alemania: WIP Renewable Energies*. Recuperado de http://www.zetataalk3.com/docs/Biogas/Biofuel_Techonology_Handbook_Version2_D5_2008.pdf
- Santos Y., Espitia I. y Gómez R. (2016) Eficiencia Internacional del Biodiesel: Un análisis para el caso de Costa Rica, España, Estados Unidos y México. *Contaduría y Administración*. Próxima publicación.
- Schuschny (enero, 2007). *El método DEA y su aplicación al Estudio del Sector Energético y las Emisiones de CO2 en América Latina*. CEPAL, 46, pp. 46-53
- SENER. (2013). *Estrategia Nacional de Energía 2013- 2027*. México, D.F.: SENER. Recuperado de http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/ENE_2013-2027.pdf
- Sierra, R. (2007). *Tesis Doctorales y Trabajos de Investigación Científica* (5a. ed.). Madrid, España: Thompson.