

ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE SISTEMAS AGROPECUARIOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES

Analysis of the Efficiency of Farming Systems in Latin America and the Caribbean Considering Environmental Issues

Rafaela Dios-Palomares ^{1*}, David Alcaide ², José Diz ^{1*}, Manuel Jurado ¹, Angel Prieto ³,
Martíña Morantes ⁴ y Carlos Alberto Zúñiga ⁵

¹Departamento de Estadística. Universidad de Córdoba. Córdoba, España. rdios@uco.es. ²Departamento Matemáticas, Estadística e Investigación Operativa. Universidad de la Laguna. Tenerife, España. ³Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología. Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Salamanca, España. ⁴Instituto-Departamento de Producción Animal. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Venezuela. ⁵Centro de Investigación en Ciencias Agrarias y Economía Aplicada. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Nuevo León, Nicaragua.

RESUMEN

En este trabajo se realizó una revisión sobre la medida de la eficiencia medioambiental (MA), dedicando la atención al uso de métodos no paramétricos, concretamente a métodos como el Análisis Envolvente de Datos (DEA, según sus siglas en inglés "Data Envelopment Analysis"). En primer lugar, se planteó la necesidad de valorar la eficiencia MA, por un lado, como requisito necesario para conseguir la sostenibilidad del sistema, amenazada por efectos negativos del progreso tecnológico y, por otro lado, por su relación con la productividad. Posteriormente, se exponen los distintos enfoques que se utilizan para la medida de la eficiencia mediante métodos frontera dependiendo de la forma en que se incorporen las variables ambientales. Finalmente se presentan algunos trabajos en los que se han aplicado las metodologías descritas en el ámbito exclusivo de América Latina y el Caribe, así como otros en los que se han comparado con otros países a nivel mundial. Como conclusión se recomienda una mayor atención a la consideración de los aspectos MA en el análisis de eficiencia. Esto proporcionará un importante soporte para la mitigación de los efectos que se esperan como consecuencia del cambio climático.

Palabras clave: Eficiencia medioambiental, análisis envolvente de datos, América Latina y el Caribe, eco-eficiencia, meta-frontera.

ABSTRACT

This paper provides a survey about environmental efficiency (EE) measure issue. The paper mainly focuses on non-parametrical methods, particularly on DEA (Data Envelopment Analysis) methods. First, the necessity of assessing the EE is considered due to its being required for sustainable systems, especially because this sustainability is threatened by negative factors from the technological progress. On the other hand, the assessment of environmental efficiency is also related to productivity. Afterwards, the paper deals with different ways for including environmental variables, which offer several perspectives for measuring efficiency with frontier methods. Finally, some studies, wherein the described methods are applied, are reported in regard to both, the exclusive scope of Latin America and the Caribbean Sea, and also to the contrast of these countries with other countries around the world. As conclusion, more attention to the environmental aspects is highly recommended in the efficiency analysis studies. It will provide an important support for the mitigation of the damaging expected effects of the climate change.

Key words: Environmental efficiency, data envelopment analysis, Latin-America and the Caribbean sea, eco-efficiency, meta-frontier.

INTRODUCCIÓN

El medioambiente (MA) es una parte integrante de los procesos económicos. En los procesos de producción agrícola

la y ganadera, el desarrollo tecnológico da lugar al uso de variedades y especies más productivas y a la introducción de mejoras en la gestión. La adopción de una mayor intensificación de la actividad y la expansión del regadío produce un aumento de la producción. Sin embargo, también hay que reconocer que uno de los efectos negativos de este progreso tecnológico ha sido el aumento de su impacto sobre el MA. Las externalidades negativas más relevantes, en este contexto, son el empleo masivo de fertilizantes, plaguicidas y la presión ejercida por las prácticas agrarias y ganaderas sobre los recursos naturales como el suelo y agua [25]. En este escenario se ha presentado a la eficiencia MA o eco-eficiencia como un requisito necesario, aunque no suficiente, para alcanzar la sostenibilidad [5], y a su vez, como una medida de la misma.

Las políticas MA orientadas a conseguir el desarrollo sostenible deben apoyarse en el empleo de herramientas capaces de medir el impacto MA de la actividad productiva [37]. Por este motivo, se han desarrollado diversas metodologías que proporcionan indicadores que miden la incidencia de la actividad productiva en la sostenibilidad de los sistemas.

Los métodos fronteras (MF) han sido aplicados para el análisis de eficiencia con una gran profusión en los últimos años. Son numerosos los trabajos aplicados a la producción agropecuaria que se pueden encontrar en la literatura [4, 14]. También se ha dedicado especial atención al desarrollo de nuevas metodologías que, dentro del contexto de los MF, han ido incorporando soluciones al análisis de eficiencia en casos especiales. En el tema de la consideración de impactos MA, son abundantes las aportaciones metodológicas que han permitido que posteriormente se realicen gran cantidad de aplicaciones [39].

En este trabajo se realizó una revisión del estado del arte en relación a las metodologías que permiten el análisis de eficiencia MA y su aplicación en América Latina y el Caribe.

MATERIALES Y MÉTODOS

Son varios los enfoques que se han llevado a cabo con el fin de incorporar los impactos ambientales al estudio de la eficiencia productiva (EP) mediante MF. Zhou y col. [39] realizaron una interesante revisión de los mismos.

Este trabajo ha sido enfocado a métodos no paramétricos (MNP) para la estimación de fronteras de producción, concretamente los relacionados con el Análisis Envolvente de Datos (DEA). El trabajo pionero de Farrell [23] desarrolló una estructura analítica derivada de la “teoría del análisis de actividad”, que le dota de una naturaleza no paramétrica mantenida como principal señal de identidad desde que DEA fuera acuñado por Charnes y col. [7] en el campo de las ciencias de la administración [24].

El enfoque de eficiencia técnico-ambiental

Los primeros tratamientos que se dieron a los problemas MA dentro del análisis DEA consistieron en añadir variables am-

bientales a las variables convencionales de la producción que son los insumos (*inputs*) y los productos (*outputs*). Así se definió la *Eficiencia MA*, que es una medida de EP que tiene en cuenta los impactos MA al realizar la estimación. Las variables que recogen el impacto MA se pueden tratar como producto no deseado a minimizar [17], como producto no deseado invertido a maximizar [15], o como *input* a minimizar [38]. En todos los casos, son variables incluidas en el modelo DEA. En el caso de que los productos no deseados haya que minimizarlos se presentó la necesidad de introducir una nueva metodología de distancias direccionales para llegar a la frontera [20].

En estos modelos DEA ambientales, se ha considerado comúnmente como objetivo reducir los productos contaminantes, “no deseados o malos” y aumentar los “buenos o deseados”. Färe y col. [20] introdujeron la función de distancia hiperbólica con objeto de medir la posibilidad de expandir los productos y contraer los *inputs*, simultáneamente. Diversas características de la frontera ambiental pueden encontrarse en Prieto y Zofío [33].

Aplicaciones empíricas de F_Dist_Hip se encuentran en Ball y col. [2], y Zofío y Prieto [40]. En el contexto de la dualidad, Chambers y col. [6] desarrollaron la función de distancia direccional –FDD– y Chung y col. [9] lo hicieron pero en el contexto de índices de productividad.

El enfoque de eco-eficiencia

En un enfoque posterior, se definió la eficiencia ecológico-económica o *eco-eficiencia* como: “La eficiencia con que se utilizan los recursos ecológicos para satisfacer las necesidades humanas” [31]. Así, se puede entender como eco-eficiencia a la relación entre el valor económico generado por la unidad productiva y su impacto ambiental [31]. Este enfoque supone una adaptación del modelo DEA en el que los *inputs* se sustituyen por los impactos MA y como producto se toma el valor añadido (VA). Desde el punto de vista práctico tiene la ventaja de que cualquier software que resuelva el modelo DEA puede ser utilizado.

La eco-eficiencia aumenta cuando las presiones MA disminuyen, si se mantiene el VA, o también cuando el VA aumenta si se mantienen las presiones ambientales. Así, siguiendo la clasificación de Huppel e Ishikawa [28], este enfoque adoptó el enfoque de la relación productividad-MA a nivel microeconómico [3].

En esta caracterización de la tecnología, las presiones MA fueron tratadas como *inputs* convencionales [38]. Así, se define la eco-eficiencia propuesta por Kuosmanen y Kortelainen [29] como la razón entre el VA obtenido en el proceso de producción (producto), y las presiones MA que se generan en el mismo (*inputs*).

La eco-eficiencia de la empresa DMU_0 (*Decision Making Unit*, por sus siglas en inglés) se calcula mediante la expresión:

$$\text{Eco-eficiencia} = \frac{v_0}{P(p^0)} = \frac{v_0}{\sum_{i=1}^m w_i^0 p_i^0}$$

donde P es una función agregada que permite calcular la presión MA p como una medida ponderada de las presiones individuales que ejerce la empresa DMU_0 . La importancia relativa de cada presión viene dada por la ponderación, variando el índice i entre las presiones ($i = 1, \dots, m$) para cada empresa DMU_0 .

La aplicación de las técnicas DEA para el cálculo de la eco-eficiencia tiene la ventaja de que las ponderaciones se generan de forma endógena y no se requiere ningún juicio *a priori* sobre las mismas. Las ponderaciones, pesos, o precios sombra de las presiones ambientales varían para cada empresa.

De acuerdo con la formulación propia del modelo CCR de DEA (conocido así por las iniciales de los apellidos de sus autores, Charnes, Cooper y Rhodes [7]) y la adaptación propuesta por Kuosmanen y Kortelainen [29], las medidas de eco-eficiencia para cada empresa DMU_0 se obtienen resolviendo el llamado problema dual que se resuelve mediante distancias radiales, como el modelo CCR. Esto implica que la distancia de cada empresa a la frontera eco-eficiente se calcula a través del radio que las une con el origen. Por tanto, la solución afecta de forma equi-proporcional a todas las presiones ambientales. Es decir, que si la empresa DMU_0 tiene una eco-eficiencia de 0,8, podrá disminuir en un 20% todas las presiones ambientales.

Picazo-Tadeo y col. [32] realizaron un estudio sobre la *eco-eficiencia* en el cultivo del olivar (*Olea europea*) en España. Dichos autores reflejaron esta limitación del enfoque radial aplicando la metodología de distancias direccionales en el contexto del modelo anterior. Así, es posible calcular la eco-eficiencia relativa a sólo una presión MA mediante el direccionamiento hacia la frontera en la única dirección de la presión objeto de interés.

El enfoque de metafronteras

Un tercer enfoque para la estimación de la eco-eficiencia, que también incorpora los impactos ambientales al análisis de eficiencia, ha sido el denominado enfoque de *metafronteras*. Se aplica esta metodología cuando la variable ambiental tiene carácter de variable de entorno dicotómica, lo que proporciona una división de la muestra a estudiar. Es el caso en que parte de la muestra sigue un programa de respeto ambiental (como la producción orgánica) y la otra parte no lo sigue. Se consideran, por tanto, dos tecnologías distintas y, por ende, dos fronteras.

La idea central de los métodos de análisis con *variables de entorno* ha sido que, la eficiencia que se deriva de la resolución de la frontera, incluyendo únicamente las variables propias de la producción (*inputs* y productos), 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 (orgánico versus convencional).

Uno de los enfoques que se ha llevado a cabo para la inclusión en el análisis de eficiencia de variables de entorno es el que se denomina "*de programas*" y fue inicialmente planteado por Charnes y col. [8], con el fin de estudiar posibles diferencias inducidas por la aplicación de un *programa de actuación* en un subgrupo concreto de colegios públicos. El objetivo de este método fue la valoración del efecto de la *variable de entorno* considerada.

Bajo este enfoque, el análisis de la eficiencia ambiental se desarrolló mediante la comparación entre las productividades de las dos fronteras independientes que corresponden a las dos distintas tecnologías que son: las formadas por las empresas que siguen el programa MA y las que no lo siguen. Siguiendo la metodología de Charnes y col. [8], se estimó la eficiencia de cada empresa con respecto a su propia frontera (intraprograma), y la distancia media de cada frontera a la frontera común o *metafrontera*. De la comparación de estas distancias medias se dedujo si hay una diferencia en productividad entre los dos programas. En este caso, esta diferencia se debería al aspecto MA. Queda claro que en este enfoque el cálculo de la eficiencia técnica de cada frontera se realizó mediante el modelo DEA convencional, incluyendo en el mismo sólo los *inputs* y productos, ya que la variable que recoge el efecto MA tiene carácter categórico y divide la muestra en submuestras.

Una ampliación del método anterior, planteado por Dios-Palomares y col. [17], ha sido el método de programas en tres etapas y consiste en continuar el procedimiento una fase más. Además de los resultados ya comentados, permite estimar la eficiencia técnica de cada empresa una vez corregida del efecto de la variable de entorno y analizar la significación de este efecto.

El nombre de *metafrontera* tomó realmente entidad a partir del trabajo de O'Donnell y col. [30], y aunque en ese trabajo la metodología que plantearon no se aplicaba a la eco-eficiencia, ha resultado un excelente procedimiento para el análisis de la misma.

Así, se han planteado metodologías donde se combina la idea del método de Programas con la de la estimación de la eco-eficiencia mediante la propuesta de Kuosmanen y Kortelainen [29], que se ha desarrollado en el apartado de este documento dedicado al enfoque de eco-eficiencia. Bajo este enfoque, tal como plantea Beltrán-Esteve y col. [3], se consideró el aspecto MA en dos vertientes. En primer lugar, una variable de entorno categórica de tipo ambiental divide la muestra. En segundo lugar, el enfoque de Kuosmanen y Kortelainen [29] incluyó en el modelo de eco-eficiencia el VA (en lugar de producto), y las presiones ambientales (en lugar de *inputs*). Esta última metodología se resolvió mediante DEA para cada una de las fronteras. La eco-eficiencia de cada em-

presa con respecto a una frontera se calculó mediante la distancia desde su situación actual (valores observados) hasta la frontera (situación ideal).

Aunque el modelo más general se resolvió mediante distancias radiales, en caso de que haya interés en estimar la eco-eficiencia referida a una sola presión MA, este procedimiento es adaptable al enfoque mediante distancias direccionales [3].

El enfoque de eficiencia ambiental

Los modelos que se enmarcaron en el enfoque de eficiencia técnico-MA, presentados anteriormente en el apartado de eficiencia técnico-ambiental, no estiman realmente la eficiencia ambiental solamente, aunque se les llamó en sus orígenes modelos de eficiencia ambiental. La especificación de los modelos DEA incluyeron tanto las variables medioambientales como las variables propias de la producción que son los productos y los *inputs*. Es decir, que la distancia que mide la eficiencia lleva englobadas dos partes que son: la eficiencia técnica y la eficiencia MA. Y tal como se resuelven los modelos, estos efectos no se pueden separar.

Por otro lado, los modelos de eco-eficiencia miden realmente la eficiencia en relación a la gestión MA, pero no consideran para nada la eficiencia técnica, ya que los *inputs* entran sólo en la composición del VA junto con los productos. Es frecuente, además, que las presiones ambientales, como por ejemplo la inversa de la biodiversidad, haya que medirlas por unidad de superficie y, por tanto, también el VA [32].

Al margen de estos enfoques, hay que mencionar algunas aplicaciones puntuales que han supuesto un aporte importante para la separación de la eficiencia técnica y la ambiental, como las realizadas por Ball y col. [1], Färe y col. [22] y Reinhard y col. [34].

En un nuevo enfoque, Dios-Palomares y col. [16] propusieron y aplicaron un método para estimar por separado la eficiencia técnica y la eficiencia ambiental. Estos autores tomaron como base el planteamiento metodológico de Färe y col. [21], que incorporaron atributos a la metodología DEA, y lo adaptaron a la estimación de la eficiencia ambiental. Según este planteamiento, la presión ambiental invertida (respeto ambiental) se consideró como un atributo. Dicho atributo ha sido el resultado del proceso de producción junto con los productos convencionales. El proceso de producción con productos no deseados, que se resolvió en el apartado de eficiencia técnico-ambiental mediante distancias direccionales, se resolvería en este contexto considerando dichos productos invertidos y otorgándoles carácter de atributo.

Así, el modelo que permite el cálculo de la eficiencia técnica es un modelo DEA en que a los atributos se les da carácter de productos.

Por otro lado, el cálculo de la eficiencia de las variables ambientales o atributos se basó en la hipótesis de que las fun-

ciones distancias son multiplicativamente separables en los atributos y en *inputs* y productos [21].

El enfoque de balance de materiales

Otro de los enfoques para la consideración de las presiones MA relacionadas con la polución consistió en el uso de la ecuación de balance de materiales. En este contexto Reinhard y col. [34] estudiaron los efectos de la polución del nitrógeno. Estos autores utilizaron modelos DEA en los que la variable polución se especificaba mediante un input adicional que calcularon aplicando la ecuación de balance de materiales. Esta ecuación, se definió de manera que la cantidad de emisión es:

$$z = \alpha'x - b'y$$

Donde se consumen x *inputs* ($x \in \mathfrak{R}_+^m$) para producir y productos ($y \in \mathfrak{R}_+^s$), siendo a y b vectores de constantes no negativas conocidas ($\alpha \in \mathfrak{R}_+^m, b \in \mathfrak{R}_+^s$).

Aplicando esta metodología calcularon tres tipos de medidas de eficiencia: (i) índice de eficiencia MA, (ii) índice de eficiencia técnica orientada al producto y (iii) índice de eficiencia técnica orientada al *input*.

En este contexto, Coelli y col. [10] demostraron que cuando se aplican los modelos formulados por Färe y col. [22], e incluso Reinhard y col. [34], la única medida de eficiencia que cumple la ecuación de balance de materiales es $= 1$, es decir que no se permite la ineficiencia. Por este motivo, Coelli y col. [10] proponen una metodología donde denominan superávit a la variable z como resultado de la ecuación de balance de materiales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las metodologías descritas anteriormente en este documento han sido aplicadas por diversos investigadores con el fin de determinar cómo afectan los impactos ambientales a la eficiencia técnica y a la productividad. Si bien es de gran interés este tema en el ámbito agropecuario, queda mucho por hacer, ya que son muy escasas las aplicaciones que se han llevado a cabo hasta la fecha. Así, se recogieron en este apartado las evidencias empíricas que se refieren a los trabajos en que se compara el comportamiento de países de América Latina y el Caribe (ALC). También se comentaron investigaciones que comparan las incidencias de los impactos MA entre países a nivel mundial.

Comparaciones de países de ALC

Entre los trabajos que compararon el comportamiento de países de ALC se encuentra el realizado por Zúñiga y col. [42], que fue llevado a cabo considerando las emisiones de metano (CH₄) por fermentación entérica, con el fin de medir el

nivel de productividad de las economías verdes en la actividad pecuaria (leche y carne) de América Latina.

La metodología aplicada se enmarcó en el enfoque de balance de materiales expuesto anteriormente en este documento, pero desde un ámbito de la aplicación de los denominados índices de Malmquist [12]. Estos índices pueden utilizarse para comparar la tecnología de los procesos de producción de varias economías. En la aplicación de estos índices de Malmquist se utilizaron datos anuales de 17 países de América Latina durante el periodo 1980 al 2009. Se estimaron los cambios en productividad a lo largo del periodo de tiempo considerado y su descomposición en cambio en eficiencia y cambio técnico.

En la resolución del modelo se aplicó un enfoque de la economía verde incorporando dentro de los *inputs* del proceso productivo las emisiones de metano procedente de la fermentación entérica. Los resultados evidenciaron que Ecuador se destacó con un ritmo de crecimiento en la productividad total de los factores de un 10%, durante el periodo 1980-2009. Este crecimiento se debió fundamentalmente al cambio tecnológico que representó un 4 % en el ritmo de crecimiento de la producción pecuaria. En este caso, la tecnología implicó prácticas para la reducción de metano, por la eficiencia de la mano de obra (ganadería) que sufrió una disminución de un 0,05 %.

Por otro lado, estos autores [42] encontraron que Costa Rica, Paraguay, Uruguay, Colombia y Guatemala se destacaron con un 7 y 5% en sus ritmos de crecimiento para alcanzar una economía verde pecuaria. Argentina, Canadá, Costa Rica, El Salvador y Ecuador son los países que resultaron eficientes a lo largo del periodo estudiado, sirviendo de referentes a los demás.

Dentro de la misma línea metodológica se encontró el trabajo realizado por Zuñiga y Toruño [41], si bien, en esta investigación se midió el nivel de productividad de la producción de carbono en la biomasa de los países centroamericanos. Para hacer estas mediciones se utilizó el método Tier 1 del Panel Intergubernamental sobre cambio climático (IPCC por sus siglas en inglés) [11] para determinar el incremento anual de almacenamiento de carbono en la biomasa, la pérdida de carbono por extracciones de madera, y la pérdida de carbono por extracciones de combustible leña.

El estudio incluyó ocho países de Centro América que tienen sistemas forestales en sus diferentes subsistemas: silvopastoril, plantaciones puras, agroforestería, y con una buena representación de especies arbóreas que en sus incrementos interanuales producen carbono almacenado en las variaciones de biomasa.

La investigación abarcó los resultados obtenidos en los diferentes países durante el periodo que va desde 1990 a 2007 y los resultados mostraron que el ritmo de crecimiento interanual de la productividad total de los factores forestal (PTFF) fue de 0,03 % en promedio de todos los países.

Otro estudio realizado con el fin de analizar los impactos MA en el ámbito de los países pertenecientes a ALC, fue realizado por Schuschny [35], donde se analizó el desempeño energético de 37 países de la región de ALC. La investigación empírica se basó en el uso de indicadores, que recogen la actividad económica, la intensidad de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y el consumo de energía basado en el uso de fuentes fósiles o limpias y alternativas.

Se consideraron como productos, el consumo de energías renovables (geotérmica, solar, eólica, biogas, madera) e hidroeléctrica expresada en 1012 *British thermal unit* (Btu), y el producto interior bruto (PIB) per cápita a precios constantes en dólares de 1990. Como *inputs* a minimizar se incluyeron en el modelo las emisiones de CO₂ provenientes del consumo de combustibles fósiles (en toneladas métricas per cápita por año), y el consumo de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón en 1012 Btu) [35].

Se estimaron las medidas de ecoeficiencia y se obtuvo que los países que mejor desempeño tuvieron durante el periodo considerado fueron: Brasil, Islas Caimán, Costa Rica, Montserrat, Haití, Paraguay y Dominica. Así mismo, Antigua y Barbuda, Cuba, Ecuador, Guyana, Jamaica, Antillas Neerlandesas, Panamá, Surinam, Trinidad y Tobago y la República Bolivariana de Venezuela fueron considerados como los países menos eficientes en términos relativos, dado los bajos valores que poseían sus índices de eficiencia técnica [35].

Estos resultados contrastan con los obtenidos por Sotelsek y Laborda [36], en su trabajo realizado en el ámbito del estudio de cambio en productividad y su descomposición. En dicha investigación se examinó el crecimiento experimentado por un conjunto de países latinoamericanos: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela, durante el periodo comprendido entre 1980 y 2004.

Las variables que se incluyeron en el modelo DEA fueron las siguientes: Como producto se consideró el PIB, y como *inputs* el total de la fuerza laboral y la formación bruta de capital. El impacto MA se recogió a través de las emisiones de CO₂ (*kt*). Se estimó el modelo considerando el impacto MA y también sin considerarlo, comparando ambos resultados [36].

Los resultados arrojaron que Argentina, Brasil, México y Panamá eran totalmente eficientes en los dos modelos durante todo el periodo, mientras que Venezuela, que sólo fue eficiente técnicamente en ocho años, pasó a ser eficiente ambiental durante todo el periodo. En la misma línea, República Dominicana y Ecuador, que resultaron ineficientes técnicamente para todo el periodo, pasaron a ser eficientes ambientales en 2 y 3 años, respectivamente [36].

Comparaciones de países de ALC y otros a nivel mundial

El análisis de eficiencia y productividad con factores ambientales también ha sido aplicado con el fin de comparar el comportamiento de diferentes países a nivel mundial. En este ámbito se desarrolló el trabajo de Halkos y Tzeremes [26]. En esta investigación se utilizó un marco metodológico basado en recientes avances de DEA y una muestra de 71 países, entre los que algunos son desarrollados, otros están en vías de desarrollo y otros son subdesarrollados, para evaluar su comportamiento en cuanto a la biodiversidad. Se aplicaron métodos que determinaron la eficiencia condicionada y la técnica de bootstrapping para eliminar el sesgo de los estimadores DEA. La técnica de bootstrapping [18, 19] es una técnica de remuestreo que se usa frecuentemente para aproximar el sesgo de la varianza en un estudio estadístico. Los niveles de eficiencia de estos países se compararon y se analizaron con el fin de comprobar si las políticas ambientales de los países se han utilizado de manera eficiente en la mejora de la biodiversidad.

Una vez resuelto el modelo DEA sin condicionantes, cabe destacar el buen comportamiento de Uruguay, así como el de Colombia, Costa Rica, El Salvador, Panamá y Perú que tenían una eficiencia superior a 0,8. Por el contrario, Venezuela tenía una eficiencia de 0,57 siendo junto con Vietnam (0,53) y Zambia (0,54) los que arrojaron peores índices de toda la muestra. Si se compara el nivel medio de los países de ALC con los de la muestra total, la diferencia era irrelevante, por lo que se puede decir que no destacan del resto de los países en el aspecto de la gestión de la biodiversidad [26].

Los modelos condicionados se resolvieron para cada una de las variables externas, considerando como condición dicha variable. Las medias de toda la muestra dejan concluir que la variable externa que más incide en la gestión de la biodiversidad fue la población, seguida del PIB, y el CO₂. En cambio, es el índice de desigualdad el que menos influyó en dicha gestión. Es de destacar además que en el caso de los países de ALC, se invierte el valor del denominado índice de Gini, que es un índice estadístico entre 0 y 1 para medir la concentración de una variable, llegando a aumentar la eficiencia media condicionada a esta variable. Este resultado fue contrario al de la muestra total [26].

Si bien es interesante el estudio sobre el comportamiento mundial en relación a la biodiversidad que se acaba de comentar, no lo es menos el que realizaron los mismos autores Halkos y Tzeremes [27]. En este trabajo se aplicaron métodos robustos no paramétricos avanzados en el análisis de eficiencia [13], así como el DEA para la medición de la eficiencia MA de una muestra de 110 países en 2007.

La metodología es similar a la del trabajo de Halkos y Tzeremes [26]. Así, se estimó en primer lugar la eficiencia incondicionada mediante un modelo DEA, donde en este caso la variable considerada como producto deseado era el PIB. El impacto MA se recogió a través de un producto no deseado que fue la emisión de CO₂.

Se observó que Cuba, Trinidad y Tobago eran los dos países de ALC totalmente eficientes desde el punto de vista ambiental. Destacó también el hecho de que las medias de los países pertenecientes a ALC eran todas superiores a las de la muestra completa. Por otro lado, se produjo una gran disminución en la eficiencia MA cuando se condicionó a los años que han pasado desde la firma del acuerdo para la toma de medidas contra el impacto MA. Este decremento indicó que se han ido relajando las medidas MA a lo largo del tiempo y, concretamente en los países no pertenecientes a ALC, fue mayor la falta de atención a estos aspectos que en los países de ALC [27].

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se han descrito los distintos procedimientos existentes para la medida de la eficiencia MA en el ámbito no paramétrico, más concretamente los relacionados con el DEA. Se puso de manifiesto en la revisión bibliográfica la escasez de trabajos sobre el tema en el sector agropecuario, especialmente en ALC. Entre ellos, hay algunos restringidos a dicha zona, mientras que otros son de ámbito mundial incluyendo países de América Latina. Las variables relacionadas con el impacto ambiental utilizadas en estos trabajos han sido: las emisiones de metano procedentes de fermentación entérica, las emisiones de CO₂, el nivel de carbono en la biomasa y un índice que recoge la biodiversidad construido como una razón de riqueza de especies. Destaca el buen nivel en el comportamiento MA de los países de ALC en comparación con el resto del mundo.

A la vista de los trabajos que hasta la fecha se han llevado a cabo sobre este tema en ALC, es recomendable que en un futuro próximo se dedique una mayor atención a la consideración de los aspectos MA en el análisis de eficiencia habida cuenta de la diversa y útil metodología que ha sido desarrollada con este fin. Esto proporcionará un importante soporte para la mitigación de los efectos que se esperan como consecuencia del cambio climático.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BALL, V.E.; LOVELL, C.A.K.; NEHRING, R.F.; SOMWARU, A. Incorporating undesirable products into models of production: an application to US agriculture. **Soc. Rur.** 31: 60–74. 1994.
- [2] BALL, V. E.; LOVELL, A.K.; NEHRING, C. R.; LUU, H. Incorporating Environmental Impacts in the Measurement of Agricultural Productivity Growth. **J. Agr. Resour. Econ.** 29: 436–60. 2004.
- [3] BELTRÁN-ESTEVE, M.; GÓMEZ-LIMÓN, J.A.; PICAZO-TADEO, A.J. Assessing the impact of agri-environmental schemes on the eco-efficiency of rain-fed agriculture. **Spanish J. Agr. Res.** 10: 911-925. 2012.

- [4] BRAVO-URETA, B.E.; SOLÍS, D.; MOREIRA, V.H.; MARIPANI, J.F.; THIAM, A.; RIVAS, T.E. Technical efficiency in farming: A meta-regression analysis. **J. Prod. Anal.** 27: 57-72. 2007.
- [5] CALLENS, I.; TYTECA, D. Towards indicators of sustainable development for firms A productive efficiency perspective. **Ecol. Econ.** 28: 41–53. 1999.
- [6] CHAMBERS, R.; CHUNG, Y.; FÄRE, R. Profit, directional distance functions and Nerlovian efficiency. **J. Optimiz. Theory App.** 98: 351-364. 1998.
- [7] CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **Eur. J. Oper. Res.** 2: 429–444. 1978.
- [8] CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Evaluating program and managerial efficiency: An application to Data Envelopment Analysis to program follow through. **Manage. Sci.** 27: 668-697. 1981.
- [9] CHUNG, Y.H.; FÄRE, R.; GROSSKOPF, S. Productivity and undesirable outputs: A directional distance function approach. **J. Environ. Manage.** 51: 229–240. 1997.
- [10] COELLI, T.; LAUWERS, L.; VAN HUYLENBROECK, G. Environmental efficiency measurement and the materials balance condition. **J. Prod. Anal.** 28:3–12. 2007.
- [11] CONDE-ÁLVAREZ, C; SALDAÑA-ZORRILLA, S. O. Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación. **Rev. Ambiente y Desarrollo.** 23 (2): 23 – 30.
- [12] COOPER, W. W.; SEIFORD, L.; TONE, K. Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software. 2nd Ed. Springer. New York. 492 pp. 2007.
- [13] DARAIO, C.; SIMAR, L. Nonparametric Robust Estimators: Partial Frontiers. **Advanced Robust and Nonparametric Methods in Efficiency Analysis. Methodology and Applications.** Springer Science, New York. Pp. 65-93. 2007.
- [14] DARKU, A.B.; MALLA, S.; TRAN, K.C. Historical review of agricultural efficiency studies. CAIRN Research Network. 78 pp. 2013. En línea: http://www.ag-innovation.usask.ca/cairnbriefs/publications_for_download/Review_of_Efficiency-full_paper.pdf. 01/12/2013.
- [15] DIOS-PALOMARES, R.; MARTÍNEZ-PAZ, J.M. Technical, quality and environmental efficiency of the olive oil industry. **Food Policy.** 36: 526-534. 2011.
- [16] DIOS-PALOMARES, R.; MARTÍNEZ-PAZ, J.M; DE HARO-JIMÉNEZ, T. Accounting for technical, quality and environmental efficiency in the olive oil industry. En: **Ninth European workshop on efficiency and productivity analysis**, Brussels, 29/06 – 02/07 Belgium. 81 pp. 2005.
- [17] DIOS-PALOMARES, R.; MARTÍNEZ-PAZ, J.M.; PRIETO, A. Multioutput technical efficiency in the olive oil industry and its relation to the form of business organization. **Efficiency Measures in the Agricultural Sector with applications.** Mendes, A. B.; Soares da Silva, E.L.D.G.; Santos, J. M.; Azevedo-Santos J. M. (Eds.). Springer. Holanda. Pp. 167–189. 2013.
- [18] EFRON, B. Bootstrap methods: another look at the jack-knife. **Ann. Statist.** 7: 1–29. 1979.
- [19] EFRON, B.; TIBSHIRANI, R.J. An introduction to the bootstrap. **Monographs on Statistics and Applied Probability**, Chapman & Hall. Vol. 57. 435 pp. 1993.
- [20] FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; LOGAN, J. The relative performance of publicly-owned and privately-owner electric utilities. **J. Public Econ.** 26: 89–106. 1985.
- [21] FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; ROOS, P. Productivity and quality changes in Swedish pharmacies. **Int. J. Prod. Econ.** 39: 137-147. 1995.
- [22] FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; TYTECA, D. An activity analysis model of the environmental performance of firms-application to fossil-fuel-fired electric utilities. **Ecol. Econ.** 18: 161-175. 1996.
- [23] FARELL, M. The measurement of productive efficiency. **J. Roy. Stat. Soc.** 120: 253–290. 1957.
- [24] FØRSUND, F.R.; SARAFOGLOU, N. The tale of two research communities: the diffusion of research on productive efficiency. **Int. J. Prod. Econ.** 98: 17-40. 2005.
- [25] GÓMEZ-LIMÓN, J.A.; PICAZO-TADEO, A.J. Irrigated agriculture in Spain: Diagnosis and prescriptions for improved governance. **Int. J. Water Res. Dev.** 28: 57-72. 2012.
- [26] HALKOS, G.E.; TZEREMES, N.G. Measuring biodiversity performance: A conditional efficiency measurement approach. **Environ. Modell. Softw.** 25: 1866 - 1873. 2010.
- [27] HALKOS, G.E.; TZEREMES, N.G. Measuring the effect of Kyoto protocol agreement on countries' environmental efficiency in CO2 emissions: an application of conditional full frontiers. **J. Prod. Anal.** 41: 367-382. 2014.
- [28] HUPPES, G.; ISHIKAWA, M. A framework for quantified ecoefficiency analysis. **J. Ind. Ecol.** 9(4): 25-41. 2005.
- [29] KUOSMANEN, T.; KORTELAINEN, M. Measuring ecoefficiency of production with data envelopment analysis. **J. Ind. Ecol.** 9: 59–72. 2005.
- [30] O'DONNELL, C.; RAO, D.; BATTESE, G. Metafrontiers frameworks for the study of firm-level efficiencies and technology ratios. **Empir. Econ.** 34: 231-255. 2008.

- [31] ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). Executive summary. Eco-Efficiency. Paris. Pp 7. 1998.
- [32] PICAZO-TADEO, A.J.; BELTRÁN-ESTEVE, M.; GÓMEZ-LIMÓN, J.A. Assessing eco-efficiency with directional distance functions. **Eur. J. Oper. Res.** 220: 798–809. 2012.
- [33] PRIETO, A.M.; ZOFÍO, J.L. Modelización de los efectos de la regulación ambiental con fronteras tecnológicas DEA. **Rev. Esp. Econ. Agr.** 175: 63-85. 1996.
- [34] REINHARD, S.; LOVELL, C.A.K.; THIJSSSEN, G.J. Environmental efficiency with multiple environmentally detrimental variables; estimated with SFA and DEA. **Eur. J. Oper. Res.** 121: 287-303. 2000.
- [35] SCHUSCHNY, A.R. El método DEA y su aplicación al estudio del sector energético y las emisiones de CO2 en América Latina y el Caribe. **CEPAL-SERIE Estudios estadísticos y prospectivos.** 46. Pp 1-53. 2007.
- [36] SOTELSEK, D.; LABORDA, L. Eficiencia productiva y cambio técnico en América Latina (1980-2004): incorporación de factores ambientales. **Rev. CEPAL.** 101: 17-37. 2010.
- [37] VAN PASSEL, S.; NEVENS, F.; MATHIJS, E.; VAN HUYLENBROECK, G. Measuring farm sustainability and explaining differences in sustainable efficiency. **Ecol. Econ.** 62: 149-161. 2007.
- [38] ZHANG, B.; BI, J.; FAN, Z.; YUAN, Z.; GE, J. Eco-efficiency analysis of industrial system in China: a data envelopment analysis approach. **Ecol. Econ.** 68 (1-2): 306-316. 2008.
- [39] ZHOU, P.; ANG, B.W.; POH, K.L. A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies. **Eur. J. Oper. Res.** 189: 1–18. 2008.
- [40] ZOFÍO, J. L.; PRIETO, A.M. Environmental efficiency and regulatory standards: The case of CO2 emissions from OECD industries. **Resour. Energy Econ.** 23: 63–83. 2001.
- [41] ZÚNIGA-GONZÁLEZ, C.A.; TORUÑO, P.J. Green Economic on the forest system impact with emphasis on the Central America and the Caribbean livestock production. National Autonomous University of Nicaragua. Researching Centre for Agrarian Sciences and Applied Economic. **Working papers.** 6: 24. 2012.
- [42] ZÚNIGA-GONZÁLEZ, C.A.; BLANCO, N.E.; BERRIOS, R.; MARTÍNEZ-AVENDAÑO, J. Green Economies Impact with Methane Reduction in livestock production systems on Latin America. National Autonomous University of Nicaragua. Researching Centre for Agrarian Sciences and Applied Economic. **Working papers.** 7: 24. 2012.