



## Aspectos medioambientales en los análisis de eficiencia

Rafaela Dios-Palomares  
EFIUCO, Universidad de Córdoba España.  
E-mail: [rdios@uco.es](mailto:rdios@uco.es)

David Alcaide; José Diz  
Universidad de la Laguna. Tenerife  
E-mail: [dalcaide@ull.edu.es](mailto:dalcaide@ull.edu.es)

Manuel Jurado  
EFIUCO, Universidad de Córdoba España.  
E-mail: [dalcaide@ull.edu.es](mailto:dalcaide@ull.edu.es)

Angel Prieto Guijarro  
IRNASA. CSIC. SALAMANCA  
E-mail: [angel.prieto@irnasa.csic.es](mailto:angel.prieto@irnasa.csic.es)

J.M. Martinez Paz  
Universidad de Murcia  
E-mail: [jmpaz@um.es](mailto:jmpaz@um.es)

Carlos Alberto Zúniga González  
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León  
Centro de investigación en ciencias agrarias y economía aplicada  
E-mail: [czuniga@ct.unanleon.edu.ni](mailto:czuniga@ct.unanleon.edu.ni)

Recibido: 10 Octubre 2014

Aceptado: 10 Noviembre 2014

### Resumen

El presente estudio se focalizó en una revisión de investigaciones aplicadas utilizando variables agroclimáticas con la incorporación de efectos medio ambientales en el análisis de la eficiencia. Se consideró el análisis econométrico, el enfoque de la eficiencia técnico-ambiental, el enfoque eco-eficiencia, el enfoque metafronteras, enfoque de la eficiencia ambiental, el balance de materiales.

Las conclusiones del estudio evidencia la necesidad de utilizar el análisis de eficiencia u productividad considerando los factores medioambientales y las variaciones del cambio climático. La importancia de estos factores incide en los procesos productivos para medir la eficiencia y la productividad.

Se recomienda la investigación en el desarrollo de nuevas metodologías en esta parcela del análisis de eficiencia, y también que se apliquen las ya existentes para no llegar a malas estimaciones al no considerar la realidad que nos rodea.

**Palabras Claves:** Eficiencia; Productividad; Cambio Climático; Eficiencia ambiental

## 1. Introducción

En la actualidad, y ante la evidencia del cambio climático que está ocurriendo en nuestro planeta, cobra muchísima relevancia toda actuación que lleve a mitigarlo desde cualquier punto de vista. En nuestro caso, en el ámbito de la bioeconomía, el análisis de eficiencia productiva recoge este aspecto, incorporando en el modelo aquellas variables relacionadas con el medioambiente que pueden afectar al proceso de producción.

En este documento se muestran en primer lugar los métodos que hasta la fecha se han utilizado con el fin de incorporar aspectos ambientales al análisis de eficiencia. En adición se describen aplicaciones llevadas a cabo de los métodos expuestos.

## 2. Métodos para el análisis

Para la incorporación de los efectos medioambientales en el análisis de eficiencia se han aplicado indistintamente tanto métodos paramétricos como no paramétricos.

### El enfoque econométrico.

Los métodos econométricos que tienen en cuenta la influencia de variables ambientales se enmarcan dentro de los modelos de frontera estocástica tanto en su versión de modelo de producción como en el de costes o beneficios. En el caso de varios outputs independientes se aplican los modelos de función distancia. Una revisión de estos métodos se puede ver en Kumbakar y Lovell (2000).

En cualquiera de los métodos de frontera econométrica las variables ambientales se incorporan al análisis en dos ámbitos: en la frontera de producción o en el modelo de eficiencia. En el primer caso se considera que los impactos actúan sobre la productividad (frontera) y en el segundo se captura la influencia del medioambiente sobre la eficiencia.

### El enfoque de eficiencia técnico-ambiental

La Eficiencia MA, es una medida de eficiencia productiva 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 (Dios-Palomares et al, 2005), como producto no deseado invertido a maximizar, o como input a minimizar (Zhang et al., 2008). En todos los casos, son variables incluidas en el modelo DEA. En el caso de que los productos no deseados haya que minimizarlos se presenta la necesidad de introducir una nueva metodología de distancias direccionales para llegar a la frontera.

### El enfoque de eco-eficiencia

En un enfoque posterior, se define la eficiencia ecológico-económica o ecoeficiencia como: "La eficiencia con que se utilizan los recursos ecológicos para satisfacer las necesidades humanas". Así, se puede entender como eco-eficiencia a la relación entre el valor económico generado por la unidad productiva y su impacto ambiental (Reinhardt et al., 2000). 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.

### El 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.

Bajo este enfoque, el análisis de la eficiencia ambiental se desarrolla 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 et al. (1981), se estima 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 deduce 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 realiza 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 et al. (2005), es 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 et al. (2008), 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.

#### El enfoque de eficiencia ambiental

En este enfoque, Dios-Palomares y Martínez-Paz (2011) proponen y aplican un método para estimar por separado la eficiencia técnica y la eficiencia ambiental. Estos autores incorporan atributos a la metodología DEA, y lo adaptan a la estimación de la eficiencia ambiental. Según este planteamiento, la presión ambiental invertida (respeto ambiental) se considera como un atributo. Dicho atributo es resultado del proceso de producción junto con los productos convencionales. 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.

#### El enfoque de balance de materiales

Otro de los enfoques para la consideración de las presiones MA relacionadas con la polución consiste en el uso de la ecuación de balance de materiales. En este contexto Reinhard et al. (2000) 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.

En este contexto, Coelli et al. (2007) demuestran que, cuando se aplican los modelos formulados por Färe et al. (1996), e incluso Reinhard et al. (2000), la única medida de eficiencia que cumple la ecuación de balance de materiales no permite la ineficiencia. Por este motivo, Coelli et al. (2007) proponen una metodología donde denominan superávit a la variable  $z$  como resultado de la ecuación de balance de materiales.

### 3. Evidencias en ALC

En relación a evidencias de trabajos aplicados que consideren el impacto medioambiental en el análisis de eficiencia, se pone de manifiesto la escasez de trabajos sobre el tema en el sector agropecuario, especialmente en ALC. Entre ellos, hay algunos restringidos a dicha zona (Zuniga-Gonzalez y Moruño, 2012), mientras que otros son de ámbito mundial incluyendo países de América Latina. (Zuniga-Gonzalez et al., 2012).

Las variables relacionadas con el impacto ambiental utilizadas en estos trabajos han sido: las emisiones de metano procedentes de fermentación entérica, las emisiones de CO<sub>2</sub>, 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.

### 4. Eficiencia en la generación de oxígeno

Aguilar et al. (2014) analizan la eficiencia en generación de oxígeno en una aplicación empírica del modelo de frontera estocástica ambiental en panel de datos, para medir la eficiencia técnica ambiental de la calidad del cuerpo de agua del Estero Real, Nicaragua.

El sector productivo de la Bioeconomía donde se aplica este enfoque es “Explotación de los recursos de la Biodiversidad”. El propósito del estudio es medir el nivel de ineficiencia técnica ambiental del cuerpo de agua del Estero Real. Se utilizó un modelo de frontera estocástica que considera la condición ambiental con parámetros físicos químicos y la actividad magnética planetaria. Los efectos de ineficiencia ambiental son asumidos para ser independientemente distribuidos como truncaciones de la distribución normal con varianza constante, pero con media, las cuales son una función lineal ambiental de variables observables. Los resultados evidencian que los efectos de ineficiencia ambiental son explicados por la inelasticidad de la actividad solar (-2.53) que redujeron la calidad del agua en un 89 %.

### 5. Eficiencia energética

En este trabajo, Baños et al. (2014) estiman funciones de demanda de energía para el sector del transporte en América Latina y el Caribe, utilizando un panel de datos de 24 países para el período 1990-2010. La aplicación de un enfoque de fronteras estocásticas permite obtener medidas de la eficiencia energética subyacente del sector transporte en los países analizados. La obtención de este tipo de medida ofrece una alternativa a los indicadores de intensidad energética utilizados comúnmente en los análisis de políticas energéticas internacionales, superando las debilidades que estos suelen presentar. El uso de un enfoque de fronteras estocásticas permite la obtención de una frontera de mejor práctica en el uso de la energía en este sector, de especial importancia en el caso de América Latina y el Caribe, por lo que la eficiencia energética puede ser obtenida como la diferencia entre el nivel de energía consumida por el sector transporte para unas características dadas de la economía (nivel de producción, precio de la energía, población, etc.) y el consumo mínimo de energía predicho por el modelo para tales condiciones.

Las elasticidades precio y renta estimadas están dentro del rango de valores habituales en los trabajos de demandas energéticas y la media de los niveles de eficiencia resulta superior al 90%, observándose, no obstante, una gran variabilidad entre países. De hecho, la estimación de un modelo de clases latentes sugiere la existencia de 3 grupos claramente diferenciados dentro de los países estudiados, en los que tanto las

elasticidades precio y renta como los niveles de eficiencia difieren, lo que nos da una idea de la heterogeneidad existente entre los mismos.

#### 6. Eficiencia en la producción lechera

El impacto del cambio climático ha adquirido un creciente interés entre investigadores en relación al efecto que tienen las condiciones climatológicas sobre la agricultura y las empresas ganaderas no son una excepción. Sin embargo, en la literatura económica, se ha prestado relativamente poca atención a la influencia de las condiciones meteorológicas en la producción de leche. Las condiciones meteorológicas pueden afectar a la productividad de las vacas y a la producción del forraje que se usa para su alimentación en la propia empresa. Perez et al. (2014) realizan un trabajo en el que se incluyen las variables meteorológicas no como inputs sino que se propone una función de producción en que se considera que la temperatura y la humedad afectan directamente a la productividad de las vacas y la producción de forraje. Esta influencia se traslada a través de la modelización propuesta a la producción de leche.

Estos autores recogieron datos de producción y meteorológicos de la región de Asturias en España, correspondientes a 382 ganaderías de leche, observadas durante un periodo de seis años, desde 2006 a 2011. Los resultados de la estimación de la función de producción muestran un impacto importante de la meteorología en la producción de leche. Cuando no se incluyen variables meteorológicas en el modelo, se estimó una productividad un 5% más baja en el periodo 2008-2011, comparado con el periodo 2006-2007. Sin embargo cuando se incluye el efecto meteorológico no se observan diferencias significativas entre las productividades de los dos periodos. Su modelo revela que existen efectos de interacción entre la meteorología y la producción de leche.

Cuando hay altas temperaturas se producen dos efectos simultáneos. Por un lado la producción de forraje se ve perjudicada y por otro lado las vacas sufren estrés por calor y producen menos leche. En empresas ganaderas que consumen gran cantidad de forraje producido por ellas, y no se considera el efecto de la temperatura en dicha producción al analizar la eficiencia, se pueden producir importantes infravaloraciones del efecto del estrés de calor sobre las vacas.

En este mismo ámbito de producción lechera se encuentra la investigación llevada a cabo por Bravo-Ureta et al. (2014). El objetivo general de su estudio es capturar el efecto de las temperaturas extremas y la precipitación, que se refiere a datos climáticos, sobre la productividad de las ganaderías lecheras de Wisconsin. Los objetivos específicos son explorar diferentes definiciones y medidas de efectos climáticos y usar diferentes modelos alternativos de fronteras estocásticas con datos de panel, para analizar la productividad de las empresas lecheras. Es interesante tener en cuenta que en Wisconsin, los inviernos son muy fríos y nevados y los veranos son calurosos y húmedos. Por tanto es una región ideal para examinar los efectos de factores climáticos extremos sobre la producción de leche.

Los datos que usaron provenían de dos fuentes. Para los outputs e inputs se utilizó un panel no balanceado de una muestra extraída de 24 regiones en Wisconsin correspondiente a un periodo de 17 años (1996-2012). El número total de observaciones fue de 3196. Los datos de temperatura y precipitación se obtuvieron del Parameter elevation Regressions on Independent Slopes Model (PRISM). La metodología GIS (Geographic Information System) se aplicó para el cálculo de los datos de temperatura máxima y mínima, total y mensual.

En este trabajo se encuentra evidencia significativa de que en invierno una subida de la temperatura máxima favorece la producción de leche. Sin embargo, una subida de la mínima en invierno no beneficia la producción de leche porque la climatología sigue siendo muy fría para las vacas de leche. En adición, los análisis muestran que la precipitación en la estación caliente tiene un efecto leve sobre el output, mientras que en el invierno no tiene ningún impacto significativo.

## 7. Conclusiones

Los análisis de eficiencia y productividad son cada vez más necesarios con el fin de detectar los factores que favorecen la óptima utilización de los recursos, y el perfeccionamiento de los procesos de producción. Para este fin, las metodologías que estiman la frontera de producción son los instrumentos idóneos, tanto en el ámbito paramétrico como en el no paramétrico.

En la actualidad, dichos análisis deben de llevarse a cabo considerando los factores medioambientales que afectan al proceso de producción y por tanto a la productividad de los recursos. Con este objetivo se han desarrollado en los últimos años gran cantidad de diversos enfoques que permiten estimar la eficiencia y productividad incorporando estos efectos por medio de variables que los recogen.

Aunque no son muchos aún los trabajos que se han realizado aplicando estas metodologías, si podemos decir que los que se han llevado a cabo dejan patente dos puntos importantes. En primer lugar se evidencia la gran incidencia que tienen los aspectos ambientales en el proceso de producción. En segundo lugar también ha quedado demostrada la necesidad de tenerlos en cuenta en el análisis de eficiencia y productividad.

Por tanto planteamos la recomendación de que se siga investigando en el desarrollo de nuevas metodologías en esta parcela del análisis de eficiencia, y también de que se apliquen las ya existentes para no llegar a malas estimaciones al no considerar la realidad que nos rodea.



## 8. Referencias

- AGUILAR A. J.; OSORIO K. DEL R.; PRADO M. DEL S.; DIOS-PALOMARES R; SIERRA FIGUEREDO P.; ZÚNIGA GONZÁLEZ C. A. (2014). Efectos de la ineficiencia técnica ambiental en la salud del cuerpo de agua del Estero Real: Caso Nicaragua. VI Congreso de Eficiencia y Productividad EFIUCO. Córdoba. España.
- BAÑOS J. F.; GONZÁLEZ-ARBUÉS P.; LLORCA M.; SOMOZA J. (2014). La Medición de la Eficiencia Energética en el Sector del Transporte en América Latina y el Caribe. VI Congreso de Eficiencia y Productividad EFIUCO. Córdoba. España.
- BRAVO-URETA, B.E.; LINGQIAO QI; CABRERA V. E. (2014). Efectos climáticos y productividad en lecherías de Wisconsin: Un análisis preliminar. VI Congreso de Eficiencia y Productividad EFIUCO. Córdoba. España.
- CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. (1981). Evaluating program and managerial efficiency: An application to Data Envelopment Analysis to program follow through. *Manage. Sci.* 27: 668-697. 1981.
- COELLI, T.; LAUWERS, L.; VAN HUYLENBROECK, G. (2007). Environmental efficiency measurement and the materials balance condition. *J. Prod. Anal.* 28:3–12. 2007.
- DIOS-PALOMARES, R; MARTÍNEZ-PAZ, J.M; DE HARO-JIMÉNEZ, T. (2005). 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.
- DIOS-PALOMARES, R.; MARTÍNEZ-PAZ, J.M. (2011). Technical, quality and environmental efficiency of the olive oil industry. *Food Policy.* 36: 526-534.
- DIOS-PALOMARES, R.; ALCAIDE, D.; DIZ, P.; JURADO, M.; PRIETO, A.; MORANTES, M. Y ZÚNIGA C.A. (2014). Una Revisión de Métodos para la eficiencia ambiental con DEA: algunas evidencias empíricas en América Latina y el Caribe. VI Congreso de Eficiencia y Productividad EFIUCO. Córdoba. España.
- FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; TYTECA, D. (1996). An activity analysis model of the environmental performance of firms-application to fossil-fuel-fired electric utilities. *Ecol. Econ.* 18: 161-175.
- KUMBHAKAR, C.A., LOVELL, K., (2000). *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge University Press, NY.
- O'DONNELL, C.; RAO, D.; BATTESE, G. (2008). Metafrontiers frameworks for the study of firm-level efficiencies and technology ratios. *Empir. Econ.* 34: 231-255.
- PÉREZ J. A.; ROIBAS D.; WALL A. (2014). The influence of meteorological conditions on dairy production. VI Congreso de Eficiencia y Productividad EFIUCO. Córdoba. España.
- REINHARD, S.; LOVELL, C.A.K.; THIJSSSEN, G.J. (2000). Environmental efficiency with multiple environmentally detrimental variables; estimated with SFA and DEA. *Eur. J. Oper. Res.* 121: 287-303.
- ZHANG, B.; BI, J.; FAN, Z.; YUAN, Z.; GE, J. (2008). Eco-efficiency analysis of industrial system in China: a data envelopment analysis approach. *Ecol. Econ.* 68 (1-2): 306-316.
- 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. Working papers. 6: 24. 2012.



ZÚNIGA-GONZÁLEZ, C.A.; BLANCO, N.E.; BERRIOS, R.; MARTÍNEZAVENDAÑO, J. (2012).  
Green Economies Impact with Methane Reduction in livestock production systems on Latin  
America. National Autonomous University of Nicaragua. Working papers. 7: 24. 2012