

Medición de los rendimientos a escala y daños a escala en la evaluación natural y managerial del sector agrícola de América Latina y el Caribe, utilizando DEA.

Juan-Javier Moreno-Moreno ^a, Francisco Velasco Morente ^b, María Teresa Sanz Díaz ^{*c}
Carlos E. Ludena^d

^{a, b} Departamento de Economía Aplicada I.

^c Departamento de Análisis Económico y Economía Política.

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad de Sevilla.

^d Economista, Especialista en Cambio Climático: Consultor Independiente Senior (UNDP, IDB y FAO).

*) Corresponding author.

RESUMEN:

Este trabajo analiza la eficiencia unificada bajo tres enfoques *natural disposability*, *managerial disposability*, y bajo los dos anteriores juntos *natural y managerial disposability*. Además analiza los tipos de Rendimientos a Escala (RTS) y los Daños a Escala (DTS), en el sector agrícola de América Latina y El Caribe (ALC) durante el año 2012. Las diferentes medidas se estiman utilizando la técnica matemática no paramétrica Análisis de Envoltorio de Datos (DEA), para la evaluación medioambiental, que permite descomponer el desempeño agrícola en medidas de eficiencia. Para ello, se utilizan las ocho variables convencionales de la agricultura: la alimentación animal, consumo de fertilizantes, reserva de capital-cultivo, reserva de capital-ganado, población económicamente activa, la tierra agrícola, valor de la producción agrícola y emisiones agrícolas. Los resultados obtenidos indican una mayor eficiencia bajo *natural disposability* en los países evaluados. Bajo este enfoque, la mayoría de los países presentan RTS constantes y RTS decrecientes, mientras bajo *managerial disposability* tienden a DTS constantes y DTS crecientes.

Palabras claves: Agricultura, medioambiente, eficiencia, *natural disposability*, *managerial disposability*.

Clasificación JEL: C6, Q5, R5.

1.- INTRODUCTION

El cambio climático es un problema que amenaza en mayor o en menor medida a los países de ALC y provoca consecuencias negativas en el ámbito social, medioambiental y económico (CAF, 2013). Este fenómeno es causado por el calentamiento global, debido al incremento de las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero) (Sánchez y Reyes, 2015). Las nuevas regulaciones plantean la necesidad de adaptarse y mitigar el cambio climático, como un importante desafío internacional para reducir las emisiones de GEI (Vergara *et al.* 2013; CAT, 2017; Espinosa y Mezouar, 2016).

La mayoría de los países de ALC han firmado y ratificado el Acuerdo de París sobre el cambio climático (COP 21) (CMNUCC, 2016). Estos países se encuentran entre los más ambiciosos, que buscan reducir las emisiones de GEI para crear una economía verde

(Espinosa y Mezouar, 2016). Asimismo, los países de ALC han venido implementando los planteamientos de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) durante varios años con diferentes iniciativas sectoriales para la mitigación y adaptación al cambio climático, fundamentales para los gobiernos, los sectores privados y la población en general optando por un desarrollo sostenible (CAF, 2013).

En ALC, uno de los sectores económicos más vulnerables al cambio climático es la agricultura (CAF, 2013). Con el objetivo puesto en los diferentes compromisos y las regulaciones para la reducción de las emisiones de GEI, dados por los gobiernos a las diferentes actividades económicas de cada país, el sector agrícola tiene dos formas de adaptarse a estas regulaciones: *natural disposability* o *managerial disposability*.

En consecuencia, el presente trabajo tiene como objetivo cuantificar la eficiencia unificada bajo *natural disposability*, la eficiencia unificada bajo *managerial disposability* y la eficiencia unificada bajo ambos (*natural* y *managerial*) *disposability*. En segundo lugar, se plantea identificar los tipos de Rendimientos a Escala (RTS) y Daños a Escala (DTS) para el sector agrícola de 25 países de ALC durante el 2012.

Para ello, se aplica la metodología DEA, que emplea seis inputs convencionales de la agricultura: la alimentación animal, consumo de fertilizantes, reserva de capital-cultivo, reserva de capital-ganado, población económicamente activa en la agricultura y la tierra agrícola; por otro lado, dos outputs o variables de salida: valor de la producción agrícola y emisiones agrícolas medidas en CO₂ equivalentes (CO₂eq). A tenor de los resultados obtenidos, se proporcionará conocimiento relevante a los gobiernos para que puedan trabajar en el fortalecimiento de las estrategias ambientales, de tal manera que adopten nuevas tecnologías o mejores prácticas agrícolas para reducir las emisiones de GEI agrícolas.

La literatura existente sobre el desempeño de la agricultura en ALC ha estado tradicionalmente centrada en análisis en los cambios técnicos y en el cambio total de la productividad de los factores. Asimismo, la mayoría de los estudios utilizan metodologías de estimación de fronteras de eficiencias econométricas, tales como el cálculo de la frontera estocástica, o el uso de una función Cobb-Douglas o Traslong.

Así, debemos resaltar autores como Pfeiffer (2003), que examina el crecimiento de la productividad agrícola en la Comunidad Andina. El estudio muestra que el crecimiento de la productividad agrícola en la esta zona se basa principalmente en el progreso técnico y no en los cambios de eficiencia. También, concluyó que los agricultores se benefician de la investigación y la introducción de nuevas tecnologías, pero la brecha entre los países en el

uso de mejores prácticas agrícolas se está acrecentando. Además, Bharati y Fulginiti (2007), estimaron la productividad agrícola en los países del MERCOSUR. Estos autores concluyeron que los países experimentaron un crecimiento positivo de la productividad agrícola y que las inversiones en salud pública y en I+D agrícola, así como un entorno económico, se asocian a la diferencia de los rendimientos agrícolas entre los distintos países.

Por otro lado, Hutchinson (2007), estudió los cambios de productividad en el Caribe y muestra que hubo una amplia variedad de avances en la productividad agrícola entre los países. Además, Ludena (2010), examinó el crecimiento de la productividad agrícola, cambio de eficiencia y progreso técnico en los países ALC. Asimismo, Zúniga (2011) estimó la productividad agrícola en Centro América y el Caribe. Los resultados de los dos estudios mostraron que esta zona geográfica tiene un alto crecimiento de la productividad agrícola, debido a las mejoras en la eficiencia y a la introducción de nuevas tecnologías.

Recientemente, Martín-Retortillo *et al.* (2014), analizaron el sector agrícola de ALC y señalan que los aumentos de eficiencia hicieron una contribución bastante modesta al importante aumento de la producción, que se debió principalmente al uso del capital, siendo el factor productivo más importante para explicar los aumentos de la producción, junto con aumentos más moderados en el uso de la tierra y la mano de obra. Nin-Pratt *et al.* (2015), concluyen que las diferencias crecientes de la productividad agrícola en ALC son mayormente proveniente de las diferencias en el uso de insumos por trabajador, la calidad de los recursos naturales y la disponibilidad y aprovechamiento de las nuevas tecnologías.

Trindade y Fulginiti (2015) estimaron el crecimiento de la productividad con especial atención en América del Sur y concluyeron que el incremento de la productividad en la región es sensible a la inversión en I+D en agricultura. Por último, Lachaud *et al.* (2015) analizaron la productividad agrícola de ALC y de otras regiones del mundo, con especial énfasis en efectos del cambio climático en la productividad. Los autores llegaron a la conclusión de que la combinación de los efectos de las temperaturas y precipitación tienen efectos adversos en la productividad agrícola en la región, particularmente con mayor impacto en el Caribe y América Central. Además, el estudio sugiere que el progreso tecnológico es la clave para el crecimiento de la productividad agrícola en ALC en lugar de la eficiencia técnica.

El resto de este estudio se organiza como sigue. La Sección 2 explica la metodología que se utiliza en este estudio y se presentan los datos de cada país evaluado. En la Sección 3 se

presentan los resultados, indicando tres tipos de eficiencia, así como los RTS y los DTS. La sección 4 se dedica a las conclusiones.

2.- METODOLOGÍA

El DEA es una técnica matemática que estudia las relaciones entre los inputs y los outputs utilizados en un proceso de producción para determinar los niveles de eficiencia (Shahabinejad y Akbari, 2010; Yeboah *et al.* 2011; Gerdessen y Pascucci, 2013; Ray y Ghose, 2014).

Se trata de una metodología no paramétrica descrita por primera vez por Charnes *et al.* (1978) para medir la eficiencia relativa de un conjunto de unidades de toma de decisiones (DMUs) y la formalización posterior por Banker *et al.* (1984). Esta técnica se ha aplicado en varios campos de la ciencia de la administración y la investigación de operaciones. Proporciona un enfoque no paramétrico que establece primero una frontera eficiente, formada por un conjunto DMUs que muestra las mejores prácticas y entonces, asigna el nivel de eficiencia para las unidades DMUs que no se encuentran en la frontera de eficiencia (Liu *et al.* 2013).

El DEA tiene diversas variaciones y formas extendidas. El artículo de Liu *et al.* (2013) ofrece un esbozo de algunos de los principales ejes de investigación en el DEA durante las tres décadas desde la aparición de la obra originaria de Charnes *et al.* (1978). El DEA ha sido utilizado por muchos autores para medir la eficiencia medioambiental y enfatizan en el beneficio del DEA como una aplicación para gestión medioambiental (Cobertt y Kleindorfer, 2003; Färe *et al.* 2004; Zhou *et al.* 2007; 2008a; 2008b; Halkos and Tezeremes 2009; 2010; 2014; Sueyoshi y Goto, 2011; Guo *et al.* 2011; Sanz-Díaz *et al.* 2017).

Concretamente, este estudio utiliza la metodología DEA propuesta por Sueyoshi y Goto (2012a; 2012b; 2012c; 2012d; 2012e; 2012f) y Sueyoshi *et al.* (2013), para medir el desempeño medioambiental del sector agrícola de ALC bajo el supuesto de *natural disposability* y *managerial disposability*. Este modelo de DEA establece dos conceptos para la evaluación del desempeño medioambiental:

El primer concepto, se refiere a *natural disposability*, indica que una DMU disminuye los inputs para disminuir los outputs indeseables. Reduciendo los inputs la DMU incrementa los outputs deseables, tanto como sea posible.

El segundo concepto, se refiere a *managerial disposability*, indica que una DMU aumenta los inputs para disminuir los outputs indeseables. Reduciendo los inputs la DMU incrementa los outputs deseables, tanto como sea posible.

Los dos conceptos de *disposability*, se originan como una estrategia para adoptar los cambios de regulación para la protección del medioambiente. Sin embargo, *natural disposability* adopta negativamente los cambios de regulación, mientras que *managerial disposability* adopta positivamente los cambios de regulación como una oportunidad de negocio.

Con el fin de explicar el concepto *natural disposability* mediante una expresión de producción tecnológica. Consideremos, $X \in \mathbb{R}_+^m$, como vector de input, $G \in \mathbb{R}_+^s$ como vector de output deseable y $B \in \mathbb{R}_+^h$ como vector de output indeseable:

$$P^n(X) = \{(G, B) : G \leq \sum_{j=1}^n G_j \lambda_j, B \geq \sum_{j=1}^n B_j \lambda_j, X \geq \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j, \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0 (j=1, \dots, n)\},$$

Aquí, el subíndice «j» representa los países ($j=1, \dots, n$). Las variables estructurales o de intensidad expresadas con λ_j que son desconocidas y utilizadas para conectar los vectores de inputs y outputs por medio de una combinación convexa. Además, la *natural disposability* tiene las restricciones de desigualdad en los inputs: $X \geq \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j$.

Por el contrario, para *managerial disposability*. Consideremos, $X \in \mathbb{R}_+^m$, como vector de input, $G \in \mathbb{R}_+^s$ como vector de output deseable y $B \in \mathbb{R}_+^h$ como vector de output indeseable:

$$P^m(X) = \{(G, B) : G \leq \sum_{j=1}^n G_j \lambda_j, B \geq \sum_{j=1}^n B_j \lambda_j, X \leq \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j, \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0 (j=1, \dots, n)\}$$

Aquí, el subíndice «j» representa los países ($j=1, \dots, n$). Las variables estructurales o de intensidad expresadas con λ_j a son desconocidas y utilizadas para conectar los vectores de inputs y outputs por medio de una combinación convexa. Además, *managerial disposability* tiene las restricciones de desigualdad en los inputs: $X \leq \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j$.

Eficiencia unificada bajo natural disposability

Este estudio evalúa la eficiencia unificada bajo *natural disposability* de k-ésima DMU de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \text{Max } & \xi + \varepsilon \left[\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right] & (1) \\ \text{s. t. } & \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + d_i^x = x_{ik} & (i=1, \dots, m), \\ & \sum_{j=1}^n g_{rj} \lambda_j - d_r^g - \xi g_{rk} = g_{rk} & (r=1, \dots, s), \\ & \sum_{j=1}^n b_{fj} \lambda_j + d_f^b + \xi b_{fk} = b_{fk} & (f=1, \dots, h), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1, \\ \lambda_j &\geq 0 \quad (j=1, \dots, n), \quad \xi: \text{URS}, \quad d_i^x \geq 0 \quad (i=1, \dots, m), \\ d_r^g &\geq 0 \quad (r=1, \dots, s) \quad \text{and} \quad d_f^b \geq 0 \quad (f=1, \dots, h). \end{aligned}$$

Entonces, el grado de eficiencia se obtiene de la siguiente manera:

$$\theta^* = 1 - [\xi^* + \varepsilon (\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x*} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b*})].$$

Medición de los RTS

Para obtener los RTS bajo *natural disposability* y sin ambigüedad, se han incorporado fuertes condiciones de holgura complementaria (SCSCs) en la medición de la eficiencia natural. Entonces, se calculan los límites superiores ($\bar{\tau}^*$) y los límites inferiores ($\underline{\tau}^*$) de la variable dual (σ) con una influencia de los outputs indeseables ζ_k^b , como sigue:

$$\begin{aligned} &\text{Max / Min } \sigma + \zeta_k^b && (2) \\ &\text{s. t. all constraints in both (1) and (2)} \\ &\zeta_k^b - \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} = 0, \\ &\xi + \varepsilon [\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b] \\ &= \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} + \sigma, \\ &\zeta_k^b \geq 0. \end{aligned}$$

Los RTS se determinan de la siguiente manera:

$$\bar{\tau}^* \geq \underline{\tau}^* > 0, \text{ DMU está bajo incrementando RTS.}$$

$$\bar{\tau} \geq 0 \geq \underline{\tau}^*, \text{ DMU está bajo contante RTS.}$$

$$0 > \bar{\tau}^* \geq \underline{\tau}^*, \text{ DMU está bajo disminuyendo RTS.}$$

Eficiencia unificada bajo managerial disposability.

La eficiencia unificada bajo *managerial disposability* de k-ésima DMU, se obtiene de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} &\text{Max } \xi + \varepsilon [\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b] && (3) \\ &\text{s. t. } \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - d_i^x = x_{ik} \quad (i=1, \dots, m), \\ &\sum_{j=1}^n g_{rj} \lambda_j - d_r^g - \xi g_{rk} = g_{rk} \quad (r=1, \dots, s), \\ &\sum_{j=1}^n b_{fj} \lambda_j + d_f^b + \xi b_{fk} = b_{fk} \quad (f=1, \dots, h), \\ &\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \\ &\lambda_j \geq 0 \quad (j=1, \dots, n), \quad \xi: \text{URS}, \quad d_i^x \geq 0 \quad (i=1, \dots, m), \end{aligned}$$

$$d_r^g \geq 0 \quad (r=1, \dots, s) \text{ and } d_f^b \geq 0 \quad (f=1, \dots, h),$$

Entonces, el grado de eficiencia se obtiene de la siguiente forma:

$$\theta^* = 1 - [\xi^* + \varepsilon (\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x^*} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g^*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b^*})].$$

Medición de los DTS.

Para obtener los DTS bajo la disposición natural sin ambigüedad, se han incorporado fuertes condiciones de holgura complementaria (SCSCs) en la medición de la eficiencia natural. Entonces, se calculan los límites superiores ($\bar{\pi}^*$) y los límites inferiores ($\underline{\pi}^*$) de la variable dual (σ) con una influencia de los outputs indeseables ζ_k^g , como sigue:

$$\begin{aligned} & \text{Max / Min } \sigma - \zeta_k^g & (4) \\ & \text{s. t. all constraints in both (6) and (7)} \\ & \zeta_k^g - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} = 0, \\ & \xi + \varepsilon [\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b] \\ & = - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} + \sigma, \\ & \zeta_k^g \geq 0. \end{aligned}$$

Los DTS se determinan de la siguiente manera:

$$\bar{\pi}^* \geq \underline{\pi}^* > 0, \text{ DMU está bajo incrementando DTS.}$$

$$\bar{\pi}^* \geq 0 \geq \underline{\pi}^*, \text{ DMU está bajo contante DTS.}$$

$$0 > \bar{\pi}^* \geq \underline{\pi}^*, \text{ DMU está bajo disminuyendo DTS.}$$

Eficiencia unificada bajo (*natural y managerial*) *disposability*.

La eficiencia unificada (natural y managerial) unificada de k-ésima DMU se mide como sigue:

$$\begin{aligned} & \text{Max } \xi + \varepsilon \left[\sum_{i=1}^m R_i^x (d_i^{x^+} + d_i^{x^-}) + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right] & (5) \\ & \text{s.t. } \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - d_i^{x^+} + d_i^{x^-} = x_{ik} \quad (i = 1, \dots, m), \\ & \sum_{j=1}^n g_{rj} \lambda_j - d_r^g - \zeta g_{rk} = g_{rk} \quad (r = 1, \dots, s), \end{aligned}$$

$$\sum_{j=1}^n b_{fj} \lambda_j + d_f^b + \xi b_{fk} = b_{fk} \quad (f = 1, \dots, h),$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n), \xi: URS, d_i^{x^+} \geq 0 \quad (i = 1, \dots, m),$$

$$d_i^{x^-} \geq 0 \quad (i = 1, \dots, m), d_r^g \geq 0 \quad (r = 1, \dots, s) \text{ and } d_f^b \geq 0 \quad (f = 1, \dots, h).$$

Entonces, el grado de eficiencia se obtiene de la siguiente manera:

$$\theta^* = 1 - \left[\xi^* + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m R_i^x \left(d_i^{x^+*} + d_i^{x^-*} \right) + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b*} \right) \right].$$

Datos

Las variables a analizar se obtuvieron a partir del estudio de Nin-Pratt *et al.* (2015) y la FAOSTAT (2016) para 2012. El análisis incluye 25 países de ALC: Argentina, Bahamas, Barbados, Belize, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, la República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Guyana, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Suriname, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela.

Inputs:

- *Alimentación Animal*, en toneladas métricas de maíz equivalente.
- *Consumo de Fertilizantes*, en toneladas métricas.
- *Tierra agrícola*, en miles de hectáreas.
- Población económicamente activa en la agricultura, en miles de personas.
- Capital Stock, en millones de dólares de Estados Unidos a precio constante 2005.

Good output:

- *Valor de la producción agrícola*, en millones de dólares de Estados Unidos a precio constante 2004-2006.

Bad outputs:

- *Emisiones de la agricultura*, en gigagrams de CO₂eq, que se componen de gases distintos del CO₂: metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O).

Tabla 1: Variables de observación agrícola para 25 países de ALC, 2012.

País	Alim. animal	Fertilizantes	Capital-Cultivo	Pobl. Econ. Act.	Tierra	Capital-Ganado	Producción Agrícola	Emisiones
Argentina	21200	1756310	27130	1387	148872	43341	39941398	105825
Bahamas	88	1086	21	5	15	9	35693	24
Barbados	153	1638	42	4	15	52	47313	57
Belize	124	3148	118	32	158	110	171485	319
Bolivia	2091	47807	2719	2058	37127	8087	3690224	23342
Brazil	110119	11455415	99138	10501	275908	134018	145693791	444704
Chile	16446	514777	14189	957	15787	8504	8521995	11518
Colombia	14051	755150	15868	3498	44115	96764	14096016	52263
Costa Rica	2139	123629	1452	317	1895	914	3051663	3394
Ecuador	7872	249324	12246	1220	7327	8939	7320178	13734
El Salvador	1767	73035	1689	575	1544	768	1219648	2826
Guatemala	3669	226387	6006	2140	4414	4679	4535129	8387
Guyana	358	20680	865	48	1677	182	371954	1764
Honduras	2526	78117	2582	658	3232	1955	2270011	5851
Jamaica	680	7028	606	209	445	1569	566046	637
México	26533	1837310	74056	7690	103300	52483	38268883	82661
Nicaragua	197	70054	3765	343	5131	2551	1640532	7759
Panamá	626	49030	1144	244	2272	2783	974124	3489
Paraguay	1287	432524	2754	852	21144	7454	5489867	25127
Perú	4363	330161	10798	3739	21520	13735	9659025	23450
República Dominicana	3194	137784	4249	437	2443	6788	2959450	7692
Suriname	38	15244	590	33	84	98	129731	725
Trinidad y Tobago	82	5043	158	45	54	207	146228	319
Uruguay	1734	225654	2293	184	14336	21023	4372709	23848
Venezuela	4071	391819	10544	699	21230	20048	6745842	35661

Fuente: Elaboración propia con información de FAOSTAT y Nin-Pratt, *et al.* (2015).

3.- RESULTADOS

Los resultados obtenidos se dividen en tres partes: en primer lugar, se calculan los niveles de eficiencias unificada bajo *natural disposability* y *managerial disposability*, separadamente. Luego, el nivel de eficiencia (*natural* y *managerial*) unificada, es decir, la *natural* y *managerial disposability* proporciona un marco conceptual para describir las estrategias que adoptan los países para cumplir con los cambios de regulación para reducir los outputs

indeseables (emisiones agrícolas en CO₂eq). Por último, se presentan los RTS y DTS basados en el cálculo de *natural disposability* y *managerial disposability*, respectivamente, para analizar el tamaño de expansión de la actividad agrícola. Todos los resultados se han obtenido utilizando el programa Wolfram Mathematica, que están a disposición del lector previa petición a los autores.

En la Tabla 2 se muestran el grado de eficiencia unificada bajo *natural disposability*, *managerial disposability* y eficiencia (*natural* y *managerial*) unificada. Basándonos en las variables utilizadas, los países que mejor nivel de eficiencia han obtenido bajo *natural disposability*, pero también en *managerial disposability* son Argentina, Bahamas, Barbados, Belize, Bolivia, Brasil, Chile, Costa Rica, Ecuador, Jamaica, México y Nicaragua. Por el contrario, aquellos que solo alcanzan la eficiencia bajo el supuesto *natural disposability* son Paraguay, Perú, Suriname, Trinidad y Tobago y Uruguay, comparándolos con los países evaluados en este estudio.

Tabla 2: Niveles de eficiencia en el sector agrícola para 25 países de ALC.

País	Eficiencia natural	Eficiencia managerial	Eficiencia unificada
Argentina	1,0000	1,0000	0,9271
Bahamas	1,0000	1,0000	1,0000
Barbados	1,0000	1,0000	0,8178
Belize	1,0000	0,7307	0,7194
Bolivia	1,0000	1,0000	0,3408
Brazil	1,0000	1,0000	1,0000
Chile	1,0000	1,0000	1,0000
Colombia	0,8138	1,0000	0,6811
Costa Rica	1,0000	1,0000	1,0000
Ecuador	1,0000	0,8742	0,8374
El Salvador	0,6469	0,8911	0,6469
Guatemala	0,9904	1,0000	0,8155
Guyana	0,7557	0,6555	0,3741
Honduras	0,9989	0,6973	0,6077
Jamaica	1,0000	1,0000	0,9839
México	1,0000	1,0000	1,0000
Nicaragua	1,0000	0,4805	0,3806
Panamá	0,7661	0,5836	0,4721
Paraguay	1,0000	0,5834	0,4558
Perú	1,0000	1,0000	0,8021
República Dominicana	0,8233	0,7632	0,6331
Suriname	1,0000	0,6698	0,3150
Trinidad y Tobago	1,0000	0,6532	0,6445
Uruguay	1,0000	0,5910	0,3905
Venezuela	0,8651	0,5135	0,4519

Los países que alcanzan la eficiencia bajo *natural disposability*, implica que, sin considerar la contaminación, tienen un buen desempeño en el uso de los inputs agrícolas y en la producción agrícola. En otras palabras, estos países se desempeñan eficientemente en el sector agrícola, pero también satisfacen la reducción de las emisiones agrícolas con esfuerzos institucionales limitados en el nivel que le sea requerido por la regulación gubernamental en materia de protección del medioambiente.

Por otro lado, los países que alcanzan la eficiencia bajo *managerial disposability*, son aquellos que, sin considerar la producción agrícola, tienen un buen desempeño en el manejo de los inputs agrícolas y la reducción de contaminación. En otras palabras, satisfacen la reducción de las emisiones agrícolas con esfuerzos de gestión con inputs de alta calidad o esfuerzos de ingeniería para utilizar nuevas tecnologías para la protección del medioambiente.

Por último, en la Tabla 2 se puede observar el grado de eficiencia (*natural* y *managerial*) unificada. Esta eficiencia considera que los países realizan esfuerzos operacionales y medioambientales con el fin de obtener no solo altos rendimientos en la producción agrícola, sino también reducir emisiones agrícolas. Por lo tanto, aquí se indica el grado de eficiencia cuando *natural* y *managerial disposability* interactúan en un tratamiento unificado. Basándonos en las variables agrícolas utilizadas en este estudio, los países que obtiene el mejor nivel de eficiencia unificada son Argentina, Brasil, Chile, Costa Rica y México.

Tipo de RTS y DTS

Es importante resaltar que las implicaciones de los RTS y DTS son completamente opuestas. RTS está relacionado con los outputs deseables y DTS con los outputs indeseables. Por ejemplo, un RTS creciente implica que una unidad de incremento en inputs produce outputs deseables más que proporcionalmente la unidad de incremento en inputs. Por el contrario, un DTS creciente, implica un resultado opuesto, en tal manera que los outputs indeseables aumentan más proporcionalmente que la unidad de incremento en inputs (Sueyoshi y Goto, 2012a).

Tabla 3: Tipo de RTS bajo *natural disposability* y DTS bajo *managerial disposability*, para 25 países de ALC.

País	RTS	DTS
Argentina	Constante	Constante
Bahamas	Constante	Constante
Barbados	Constante	Creciente
Belize	Constante	Decreciente
Bolivia	Constante	Constante
Brazil	Constante	Constante
Chile	Decreciente	Constante
Colombia	Decreciente	Constante
Costa Rica	Constante	Decreciente
Ecuador	Decreciente	Decreciente
El Salvador	Decreciente	Creciente
Guatemala	Decreciente	Constante
Guyana	Creciente	Decreciente
Honduras	Decreciente	Decreciente
Jamaica	Constante	Constante
México	Decreciente	Constante
Nicaragua	Constante	Decreciente
Panamá	Decreciente	Creciente
Paraguay	Constante	Creciente
Perú	Constante	Constante
República Dominicana	Decreciente	Decreciente
Suriname	Constante	Decreciente
Trinidad y Tobago	Constante	Decreciente
Uruguay	Constante	Decreciente
Venezuela	Decreciente	Decreciente

La tabla 3 muestra los tipos de RTS bajo *natural disposability*. Se pueden observar tres tipos: crecientes, constantes y decrecientes. Se han identificado 10 países con RTS decrecientes: La República Dominicana, Ecuador, Honduras, Venezuela, Chile, Colombia, Guatemala, México, El Salvador y Panamá. Esto implica que el beneficio marginal, medido por el valor de la producción agrícola, por incrementar inputs, en realidad disminuye. Por lo tanto, estos países deben disminuir el tamaño actual de su actividad agrícola para ser más productivos en la producción agrícola bajo *natural disposability*. En este caso, un tamaño razonable de la actividad agrícola supera a una actividad agrícola de gran tamaño. En otras palabras, no es recomendable para estos países buscar aumentar el tamaño de la actividad agrícola porque no mejoraran más su desempeño operacional en el sector agrícola.

Por el contrario, Guyana tiene RTS crecientes. Este es la mejor posición, e implica un aumento del beneficio marginal de los inputs de la actividad agrícola. Es conveniente para Guyana incrementar el tamaño actual de su actividad agrícola con el propósito de ser más productivo en la producción agrícola bajo *natural disposability*. En este caso, un aumento de

tamaño de la actividad agrícola es más beneficiosa que una actividad pequeña para mejorar su desempeño operacional en el sector agrícola. Además, los resultados muestran que 14 países tienen RTS constantes: Belize, Costa Rica, Nicaragua, Suriname, Trinidad y Tobago, Uruguay, Argentina, Bahamas, Bolivia, Brasil, Jamaica, Perú, Barbados y Paraguay. Para estos países no es recomendable pero aceptable mantener el tamaño actual de su actividad agrícola, para mejorar su desempeño operacional en la agricultura.

La tabla 3 muestra los tipos de DTS bajo *natural disposability*, concretamente tres: crecientes, constantes y decrecientes. Como una estrategia alternativa, el tipo de DTS sugiere que un país debe introducir tecnología e innovación en sus operaciones agrícolas. Por ejemplo, DTS creciente indica que un país necesita la introducción tecnología e innovaciones en la agricultura para mejorar su desempeño medioambiental (Sueyoshi y Goto, 2012a).

Así, la tabla 3 muestra que 4 países tienen DTS crecientes, concretamente, Barbados, Paraguay, El Salvador y Panamá. Este resultado indica que el costo medioambiental marginal medido por los outputs indeseables (emisiones agrícolas) con el vector de inputs agrícolas analizados en este estudio está aumentado. Esta es la peor situación desde el punto de vista medioambiental, es decir, es fuertemente recomendado que estos países adopten nuevas tecnologías e innovación para reducir la contaminación y para la protección del medioambiente.

En cambio, Guyana, Belize, Costa Rica, Nicaragua, Suriname, Trinidad y Tobago, Uruguay, la República Dominicana, Ecuador, Honduras y Venezuela, pertenecen a DTS decrecientes bajo *managerial disposability*. Esta es la mejor posición desde el punto de vista medioambiental. Indica que el costo marginal medioambiental está disminuyendo con el vector de inputs que evalúa este estudio.

Por último, 10 países tienen DTS constantes: Chile, Colombia, Guatemala, México, Argentina, Bahamas, Bolivia, Brasil, Jamaica y Perú. Esta es una posición favorable. Los DTS constantes indican que el costo marginal medioambiental se mantiene con el vector de inputs que evalúa este estudio. Como una alternativa se recomienda que estos países deben utilizar las tecnologías e innovaciones en la actividad agrícola para la protección del medioambiente.

4.-CONCLUSIONES

El objetivo de este estudio ha sido evaluar la eficiencia medioambiental del sector agrícola bajo los supuestos de la *natural disposability* y *managerial disposability* de 25 países de ALC, utilizando del DEA como una herramienta para estudiar el desempeño medioambiental.

Primeramente, este estudio muestra que 17 países tienen eficiencia bajo *natural disposability* y 12 países eficiencia bajo *managerial disposability*. Los resultados muestran que son varios los países que han hecho esfuerzos para cumplir con las regulaciones para la protección del medioambiente, entre ellos: Argentina, Bahamas, Barbados, Belize, Bolivia, Brasil, Chile, Costa Rica, Ecuador, Jamaica, México y Nicaragua, mostrando un buen desempeño comparando las eficiencias (*natural* y *managerial*) separadamente. Por el contrario, Paraguay, Perú, Suriname, Trinidad y Tobago y Uruguay, cumplen con las regulaciones para la protección del medioambiente con esfuerzos limitados en el nivel que le sea requerido por la regulación gubernamental.

Por otro lado, 5 países son eficientes bajo eficiencia (*natural* y *managerial*) unificada. En este sentido, los países que tiene mejor desempeño medioambiental son: Bahamas, Brasil, Chile, Costa Rica y México. Estos son los países que tiene mejor desempeño en este estudio, ya que no presentan niveles de ineficiencias en ninguna de las medidas analizadas, es decir, realizan esfuerzos operacionales y medioambientales con el fin de obtener no solo altos rendimientos en la producción agrícola, sino también reducir emisiones agrícolas. En otras palabras, adoptan positivamente las regulaciones medioambientales y realizan grandes esfuerzos de gestión de las nuevas tecnológicas e innovación en la agricultura para mejorar su desempeño medioambiental.

Finalmente, bajo *natural disposability*, la mayoría de los países (14) pertenecen a RTS constantes y 10 países a RTS decrecientes, mientras bajo *managerial disposability*: 10 pertenecen a DTS constantes y 4 a DTS crecientes, es decir, la mayoría países de ALC todavía tienen un ventaja para aumentar el tamaño de la actividad agrícola sin tener en consideración la contaminación, como primer objetivo a conseguir. Por otro lado, esa estrategia no puede ser a largo plazo, por lo que deben dirigir sus esfuerzos hacia la creación de una agricultura sostenible mediante la implementación de nuevas tecnologías y mejorar la gestión para modernizar la agricultura hacia alcanzar la reducción de las emisiones (CO₂eq).

En conclusión, los países de ALC deben equilibrar sus niveles eficiencia mediante la implementación de mejores prácticas agrícolas que promuevan el crecimiento sostenible de la productividad agrícola, conservación del medioambiente y los recursos naturales para

combatir la pobreza rural, aumentar los ingresos en el ámbito rural y asegurar la disponibilidad alimentaria a la población.

Agradecimientos

Esta investigación es financiada por la IFHARU y SENACYT del Gobierno panameño. Además, está parcialmente financiado por los proyectos del Ministerio de Economía y Competitividad, HERMES (TIN2013-46801-C4-1-r), Simon (P11-TIC-8052) y Context-Learning (P11-TIC-7124) Del Consejo de Economía, Innovación y Ciencia de la Junta de Andalucía. Agradecimiento al PhD. Carlos E. Ludena, Economista, Especialista en Cambio Climático como asesor de este trabajo de investigación. Además, Nin-Pratt *et al.* (2015) del Banco Interamericano de Desarrollo por su colaboración con parte de los datos utilizados en este estudio. Por último, reconocemos los fondos recibidos del proyecto SEJ 132 de la Junta de Andalucía y del Departamento de Economía, Energía y Medio Ambiente de la Universidad de Sevilla y de la Fundación Roger Torné.

Referencias

- Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W.W. (1984). Some models for the estimation of technical and scale efficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9): pp. 1078-1092.
- Bharati, P., Fulginiti, L. (2007). Institutions and agricultural productivity in Mercosur. Document presented at the 19th international seminar of economic policy and economic development institutions, Federal University of Viços, Minas Gerais, Brasil, Octubre, 2007.
- CAF (Development Bank of Latin America) (2013). Climate change adaptation program. Available at <http://publicaciones.caf.com/media/37041/cambio-climatico.pdf> [accessed November, 2016].
- CAT: Climate Action Tracker. Comparability of effort. En línea: <http://climateactiontracker.org/methodology/85/Comparability-of-effort.html> [acceso Marzo, 2017].
- Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2: pp. 429-444.
- CMNUCC (La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) (2016). Países de América Latina y el Caribe, líderes de la acción climática, Foro Latinoamericano y del Caribe del Carbono. En línea: http://unfccc.int/paris_agreement/items/9444.php [acceso Marzo, 2017].
- Cobertt, C. J. y Kleindorfer, P.R. (2003). Environmental management and operations management: introduction to the third special issue. *Production and Operations Management*, 12(3): pp. 287-289.
- Espinosa, P., Mezouar, S. (2016). El Acuerdo de París entra en vigor: tiempo de celebración y de realismo. CMNUCC (La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el

- Cambio Climático) En línea: <http://newsroom.unfccc.int/es/acuerdo-de-paris/el-acuerdo-de-paris-entra-en-vigor-tiempo-de-celebracion-y-de-realismo/> [acceso Marzo, 2017].
- FAOSTAT (2016). Base de datos de acceso libre sobre los índices de desarrollo de países de todo el mundo: 2012. Available at <http://www.fao.org/statistics/es/>, 02-5-2016.
- Färe, R., Grosskopf, S., Hernandez-Sancho, F. (2004). Environmental performance: an index number approach. *Resource and Energy economics*, 26(4): pp. 343-352.
- Gerdessen, J.C., Pascucci, S. (2013). Data Envelopment Analysis of sustainability indicators of European agricultural systems at regional level. *Agricultural Systems* 118: pp. 78-90.
- Guo, X. D., Zhu, L., Fan, Y., Xie, B. C. (2011). Evaluation of potential reductions in carbon emissions in Chinese provinces based on environmental DEA. *Energy Policy*, 39(5): pp. 2352-2360.
- Halkos, G. E., Tzeremes, N. G. (2009). Exploring the existence of Kuznets curve in countries' environmental efficiency using DEA window analysis. *Ecological Economics*, 68(7): pp. 2168-2176.
- Halkos, G. E., Tzeremes, N. G. (2010). Measuring biodiversity performance: A conditional efficiency measurement approach. *Environmental Modelling and Software*, 25(12): pp. 1866-1873.
- Halkos, G. E., Tzeremes, N. G. (2014). Measuring the effect of Kyoto protocol agreement on countries' environmental efficiency in CO2 emissions: an application of conditional full frontiers. *Journal of Productivity Analysis*, 41(3): pp. 367-382.
- Hutchinson, S.D. (2007). Agricultural productivity changes in the Caribbean: Challenges for Trade. Document presented at the American Agricultural Economics Association Annual Meeting, COSBAE Organized Symposium, Portland, Oregon, 29 de Julio al 1 de Agosto.
- Lachaud, M. A., Bravo-Ureta, B.E., Ludena, E.C. (2015). Agricultural productivity growth in Latin America and the Caribbean and other world regions. Inter-American Development Bank, Working Paper No. 607 (IDB-WP-607), Washington DC, USA.
- Liu, J. S., Lu, L.Y.Y., Lu, W.M., Lin, B.J.Y. (2013). Data envelopment analysis 1978-2010: A citation-based literature survey. *Omega*, 41: pp. 3-15.
- Ludena, C. E. (2010). Agricultural productivity growth, efficiency change and technical progress in Latin America and the Caribbean. IDB Work document serial No. IDB-WP-186, Mayo. Washington, D.C: Inter-American Development Bank, Department of Research and Chief Economist.
- Martín-Retortillo, M., Pinilla, V., Velazco, J., Willebald, H. (2014). The Growth of the Latin American Agricultural Production: A Comparative Analysis of Its Causes in the Second Half of the Twentieth Century. Document presented at the Sixth International Congress of the AEHE, Colegio Universitario Nacional de Estudios Financieros (CUNEF) (National College of Financial Studies), Madrid, del 4 al 5 de Septiembre.
- Nin-Pratt, A., Falconi, C., Ludena, C.E., Martel, P. (2015). Productivity and the performance of agriculture in Latin America and the Caribbean: from the lost decade to the commodity boom. Inter-American Development Bank, Working Paper No. 608 (IDB-WP-608), Washington DC, USA.
- Pfeiffer, L. M. (2003). Agricultural productivity growth in the Andean Community. *American Journal of Agricultural Economics*, 85(5): pp. 1335-1341.
- Ray, S.C., Ghose, A. (2014). Production efficiency in India agriculture: An assessment of the post green revolution years. *Omega* 44: pp. 58-69.

- Sánchez, L., Reyes, O. (2015). Measures of adaptation and mitigation to climate change in Latin America and the Caribbean, Santiago, Chile. Disponible en: http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39781/S1501265_es.pdf?sequence=1 (acceso Diciembre, 2016).
- Sanz-Díaz, M.T., Velasco, F.; Yñiguez, R., Díaz-Calleja, E. (2017). An analysis of Spain's global and environmental efficiency from a European Union perspective. *Energy Policy*, 104, pp. 183-193.
- Shahabinejad, V., Akbari, A. (2010). Measuring agricultural productivity growth in Developing Eight. *Journal of Development and Agricultural Economics* 2(9): pp. 326-332.
- Sueyoshi, T., Goto, M. (2011). Measurement of returns to scale and damages to scale for DEA-based operational and environmental assessment: How to manage desirable (good) and undesirable (bad) outputs? *European Journal of Operational Research*, 211: pp. 76-89.
- Sueyoshi, T. and Goto, M., 2012a. DEA environmental assessment of coal fired power plants: Methodological comparison between Radial and non-radial models. *Energy Economics*, 34(6): pp. 1854-1863.
- Sueyoshi, T. and Goto, M., 2012b. DEA radial and non-radial models for unified efficiency under natural and managerial disposability: Theoretical extension by strong complementary slackness conditions. *Energy Economics*, 34(3): pp. 700-713.
- Sueyoshi, T. and Goto, M., 2012c. Returns to scale and damages to scale on U.S. fossil fuel power plants: Radial and non-radial approaches for DEA environmental assessment. *Energy Economics*, 34(6): pp. 2240-2259.
- Sueyoshi, T. and Goto, M., 2012d. Returns to scale and damages to scale with strong complementary slackness conditions in DEA assessment: Japanese Corporate effort on environment protection. *Energy Economics*, 34(5): pp. 1422-1434.
- Sueyoshi, T. and Goto, M., 2012e. Returns to scale, damages to scale, marginal rate of transformation and rate of substitution in DEA environmental assessment. *Energy Economics*, 34(4): pp. 905-917.
- Sueyoshi, T., and Goto, M., 2012f. Returns to scale and damages to scale under natural and managerial disposability: strategy, efficiency and competitiveness of petroleum firms. *Energy Economics*, 34(3): pp. 645-662.
- Sueyoshi, T., Goto, M., and Snell, M.A., 2013. DEA environmental assessment: Measurement of damages to scale with unified efficiency under managerial disposability or environmental efficiency. *Applied Mathematical Modelling*, 37(12-13): pp. 7300-7314.
- Trindade, F.J., Fulginiti, L.E. (2015). Is there a slowdown in agricultural productivity growth in South America? *Agricultural Economics*, 46: 69-81.
- Vergara, W., Rios, A. R., Galindo Paliza, L. M., Gutman, P., Isbell, P., Suding, P. H., Samaniego, J. (2013). The climate and development challenge for Latin America and the Caribbean: Options for climate-resilient, low-carbon development. Washington, DC: Inter-American Development Bank. Disponible en: <https://publications.iadb.org/handle/11319/456> [acceso Marzo, 2017].
- Yeboah, O., Gunden, C., Shaik, S., Allen, A., y Li, T. (2011). Measurements of agricultural productivity and efficiency gains from NAFTA. Ponencia presentada en el Southern Agricultural Economics Association annual meeting, febrero 5-8, en Corpus Christi, Texas.

- Zhou, P., Poh, K. L., & Ang, B. W. (2007). A non-radial DEA approach to measuring environmental performance. *European journal of operational research*, 178(1), 1-9.
- Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L. (2008a). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies. *European Journal of Operational Research*, 189(1): 1-18.
- Zhou, P., Ang, B. W., & Poh, K. L. (2008b). Measuring environmental performance under different environmental DEA technologies. *Energy Economics*, 30(1), 1-14.
- Zúniga González, C. A. (2011). Total factor productivity growth in agriculture: A Malmquist Index analysis of 14 countries 1979-2008, Work document, August 29th. Nicaragua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Centro de Ciencias Agrarias y Económica Aplicada (RCASAE) (National Autonomous University of Nicaragua, Agricultural and Applied Economics Sciences Center).