

El Sector Agropecuario Mexicano en APEC: Un análisis a través de la envolvente de datos con presencia de *bad outputs* *(the Mexican Agricultural sector in the context of APEC: A Data Envelopment Analysis with presence of “bad outputs”*

(Recibido: 19/septiembre/2017-Aceptado: 15/enero/2018)

*Francisco Javier Ayvar Campos**
*José Cesar Lenin Navarro Chávez***
*América Ivonne Zamora Torres****

Resumen

El documento tiene por objetivo abordar el estudio de la eficiencia del sector agropecuario mexicano en APEC, considerando la presencia de *bad outputs*, durante el período 1980–2015. Lo anterior es importante debido a que el establecimiento de mecanismos que mejoren el uso eficiente de los recursos para generar un mayor valor agregado, y a la par reduzcan las emisiones de CO₂eq en el sector es imprescindible para que el país aspire a mayores niveles de desarrollo. Para medir la eficiencia se hizo uso del Análisis de la Envolvente de Datos, y

* Doctor en Ciencias del Desarrollo Regional. Profesor Investigador del Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Correo electrónico: fayvar@umich.mx

** Doctor en Ciencias con Especialidad en Ciencias Administrativas. Profesor Investigador del Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Correo electrónico: cnavarro@umich.mx

*** Doctora en Ciencias en Negocios Internacionales. Profesora Investigadora del Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Correo electrónico: azamora@umich.mx

para conocer la evolución de la productividad se calculó el índice Malmquist-Luenberger. Los resultados muestran que a lo largo del período de estudio el sector agropecuario de México fue más eficiente que el de otros países del APEC. Sin embargo, su productividad empeoró debido a la necesidad de mejoras tecnológicas que permitan un desplazamiento de la frontera de posibilidades de producción.

Palabras clave: Sector Agropecuario, México, APEC, Eficiencia y *Bad Outputs*.

Clasificación JEL: C67, F14, O57, Q19

Abstract

This paper aims to study the efficiency of the Mexican agricultural sector in the context of APEC, taking into account the "bad outputs" that occurred during the period 1980-2015. The establishment of mechanisms that improve the efficient use of resources to generate greater added value and at the same time reduce CO₂eq emissions in the sector, are essential so that Mexico can aspire to higher levels of development. In order to measure efficiency, Data Envelopment Analysis, was used, and in order to assess the evolution of productivity the Malmquist-Luenberger index was calculated. The results show that during the entire length of the period studied the Mexican agricultural sector was more efficient than other APEC countries. However, its productivity worsened due to the need for technological improvements that allow a displacement of the production possibilities frontier.

Key words: Agricultural Sector, Mexico, APEC, Efficiency and Bad Outputs.

JEL Classification: C67, F14, O57, Q19

Introducción

El sector agropecuario de México se caracterizó, en el período 1980-2015, por ocupar los primeros lugares en la región de APEC de generación de valor agregado, producción bruta, área destinada al sector, personal ocupado, remuneraciones, exportaciones e importaciones. Sin embargo, se localizó en las últimas posiciones de formación bruta de capital, y se ubicó como la sexta economía emisora de CO₂eq (Banco Mundial, 2017; FAO, 2017a-g). Esta información estadística denota que el sector agropecuario mexicano es uno de los más activos, económicamente hablando, en la región de APEC. De igual manera, se ve claramente que la inversión es una de las áreas más desprotegidas del sector, y que a pesar de no ser el sector agropecuario que más contamina aún es necesario reducir las emisiones de CO₂eq.

El artículo tiene como objetivo, abordar el estudio de la eficiencia del sector agropecuario mexicano en APEC, considerando la presencia de *bad outputs*, durante el período 1980-2015. Para cumplir el objetivo se hizo uso del Análisis Envolvente de Datos (DEA) (Cooper, Seiford & Tone, 2007). Diseñando así un Modelo DEA con orientación al *output*, estructurado con rendimientos variables a escala, y considerando la presencia de *bad outputs*. Estableciendo como *output* el valor agregado, como *bad output* las emisiones de CO₂eq, y como *inputs* la formación bruta de capital y el personal ocupado. De igual manera, para determinar los cambios de la productividad en el tiempo, considerando la presencia de *bad outputs* en el proceso de producción, se calculó el índice Malmquist-Luenberger (Chung, Färe & Grosskopf, 1997)

El estudio se encuentra estructurado en cuatro apartados, en el primero se efectúa el análisis de las características del sector agropecuario mexicano en APEC. Posteriormente se presentan los elementos teóricos del Análisis de la Envolvente de Datos. En el tercer apartado se esbozan los aspectos metodológicos del modelo DEA con *bad outputs*. En el cuarto apartado se muestran los resultados del modelo de eficiencia. Por último, se establecen algunas consideraciones finales, donde se destacan los aspectos fundamentales de la investigación.

1. Características del sector agropecuario mexicano en APEC

En este apartado se analizan las características generales de los sectores agropecuarios de México y de 18 economías de la región de APEC. De esta forma, se presentan en primera instancia los rasgos del sector agropecuario mexicano, y, posteriormente, el diagnóstico del desempeño del sector agropecuario de México en la región del APEC, a partir, del estudio de los principales indicadores económicos.

1.1 Rasgos del sector agropecuario en México

La generación de Valor Agregado (VA) en el sector agropecuario mexicano, en el período 1980-2015, presentó un decremento del 17%. Específicamente, se observó que de 1980 a 1995 el VA generado por el sector tuvo un decremento del 51%, ostentando el nivel más bajo de valor agregado en 1995 con 22.4 mil millones de dólares. Asimismo, se apreció que de 1995 a 2015 el VA se incrementó en un 69%, logrando en el 2015 una producción de valor agregado de 37.9 mil millones de dólares. La Formación Bruta de Capital (FBK) de 1980 a 2015 mostró un crecimiento del 17%; particularmente de 1980 a 1995 la FBK decreció en un 52%, mientras que de 1995

a 2015 creció 145%, siendo 2015 el año con mayor formación bruta de capital (1.5 mil millones de dólares) (Banco Mundial, 2017; FAO, 2017e).

En términos comerciales el sector agropecuario de México, durante el período 1980-2015, ostentó un crecimiento del 258% de sus Exportaciones (X); incremento que fue mayor de 1995 a 2015 (136%) que de 1980 a 1995 (52%). Por otro lado, las Importaciones (M) tuvieron un decrecimiento del 28% durante el período analizado. Sin embargo, al examinar más de cerca la información estadística se observó que de 1980 a 1995, las M disminuyeron en un 35%, mientras que de 1995 a 2015, crecieron en un 11%. De igual forma, al contrastar los flujos comerciales se pudo advertir que el sector agropecuario contó con una balanza comercial favorable, con excepción de 1980 a 1990 y de 2000 a 2005 (Banco Mundial, 2017; FAO, 2017g).

De 1980 a 2015 el Personal Ocupado (PO) en el sector agropecuario mexicano exhibió un decrecimiento del 23%, decremento que fue del 10% de 1980 a 1995, y del 15% de 1995 a 2015. Las Remuneraciones (REM) en el sector manifestaron una disminución del 54% durante el período de estudio; descenso que de 1980 a 1995 fue del 64%. Comportamiento completamente opuesto al ostentado de 1995 a 2015, ya que en este período las REM crecieron un 29%. Sin embargo, los mayores montos de remuneraciones se dieron en 1980 con 7.6 mil millones de dólares. Estos datos denotan que la apertura comercial del sector agropecuario de México fue acompañada con un incremento en el valor agregado y la formación bruta de capital, así como con reducciones en el personal ocupado y sus remuneraciones (Banco Mundial, 2017; FAO, 2017c).

1.2 Desempeño del sector agropecuario mexicano en APEC

El análisis del desempeño del sector agropecuario de México frente a sus similares de la región APEC en el período 1980-2015 permitió apreciar los siguientes comportamientos (Banco Mundial, 2017; FAO, 2017a-g): el sector agropecuario mexicano se ubicó en el lugar número siete en términos de exportaciones, colocándose antes Estados Unidos, Canadá, Australia, China, Tailandia y Nueva Zelanda; ocupó la sexta posición de importaciones, ubicándose primero Estados Unidos, Japón, China, Canadá y Rusia; se localizó en el escaño seis de generación de valor agregado, estando China, Estados Unidos, Rusia, Japón e Indonesia localizados antes que él; se colocó en el sexto sitio de personal ocupado, posicionándose China, Indonesia, Vietnam, Filipinas y Tailandia en los primeros lugares; se situó en el cuarto lugar en remuneraciones del personal ocupado, solo detrás de China, Indonesia y Tailandia; fue la décimo tercera economía en materia de formación

bruta de capital, ocupando los primeros lugares China, Estados Unidos, Australia, Indonesia, Japón, Rusia, Canadá, Malasia, Tailandia, Corea del Sur, Filipinas y Vietnam; se ubicó en la sexta posición de producción bruta, detrás de Brunei, Perú, Indonesia, Vietnam y Tailandia; fue la quinta economía en área destinada a la producción agropecuaria, después de China, Australia, Estados Unidos y Rusia; y, finalmente, se desempeñó luego de China, Estados Unidos, Indonesia, Australia y Rusia como el sector con altos niveles de emisión de CO₂eq, información estadística que posiciona al sector agropecuario de México como uno de los más dinámicos en la región del APEC. Asimismo, los datos dejan ver claramente que es la inversión una de las áreas más desprotegidas del sector, y que a pesar de no ser el que más contamina en la región es necesario reducir aún más las emisiones de CO₂eq.

Los datos presentados en la matriz de intercambio comercial del sector agropecuario mexicano con APEC muestran que México exporta e importa principalmente de Estados Unidos. Dejando de lado a Estados Unidos, en términos de exportaciones destacan Japón, Canadá y China. Mientras que en importaciones resaltan Canadá, Chile, Nueva Zelanda y China. Datos que revelan el fuerte nexo comercial que tiene México con Estados Unidos, así como posibles mercados para los bienes del sector agropecuario nacional (WITS, 2017a-b).

Dado lo descrito anteriormente es que la presente investigación se enfoca en analizar qué tan eficientemente se utilizaron los recursos en el sector agropecuario mexicano, en el marco de APEC, para generar valor agregado y a la par reducir las emisiones de CO₂eq. Ya que a partir del uso eficiente de los recursos el sector agropecuario de México podría tener una inserción mucho más competitiva en el comercio con APEC y el mundo; sin perder de vista los otros factores determinantes de la misma (precios, coyunturas económicas, tipo de cambio y desarrollos tecnológicos) (Avendaño & Acosta, 2008; Málaga & Williams, 2010).

2.Elementos teóricos del Análisis de la Envolvente de Datos

A continuación, se presentan los elementos teóricos del Análisis de la Envolvente de Datos (DEA), el tratamiento de los *bad outputs* en los modelos DEA, y el análisis dinámico de la eficiencia mediante el índice Malmquist-Luenberger.

2.1 El Análisis de la Envolvente de Datos: Una revisión teórica

La conceptualización de eficiencia de Farrell (1957) ha podido trasladarse a su aplicación empírica a través de dos metodologías: la estimación de fronteras estocásticas

y las mediciones a través del Análisis de la Envolvente de Datos. La primera implica el uso de la econometría, y la segunda recurre a algoritmos de programación lineal y al *benchmarking*. La programación lineal es una técnica pionera en el análisis de las decisiones internas de una empresa sobre la asignación de recursos. En tanto que, el *benchmarking* se define como la medida de desempeño en comparación con las mejores compañías de su clase (Bemowski, 1991; Serra, 2004; Cooper *et al.*, 2007; Navarro-Chávez, Ayvar-Campos & Giménez-García, 2016)

El DEA es una técnica utilizada para la medición de la eficiencia comparativa de unidades homogéneas. Partiendo de los *inputs* y *outputs* este método proporciona un ordenamiento de los agentes o *DMUs* (Unidades de Toma de Decisión), otorgándoles una puntuación de eficiencia relativa. Una *DMU* es eficiente, es decir, pertenece a la frontera de producción, cuando produce más de algún *output* sin generar menos del resto y sin consumir más *inputs*, o bien, cuando utilizando menos de algún *input*, y no más del resto, genera el mismo *output*. De igual forma, los modelos DEA aprovechan el *know-how* de las *DMUs*, y una vez determinado quien es eficiente y quien no, busca fijar objetivos de mejora para las segundas a partir de los logros de las primeras, es decir, realizan un *benchmarking* de las unidades evaluadas empleando la información disponible en las propias *DMUs* (Navarro & Torres, 2003; Cooper *et al.*, 2007; Navarro-Chávez *et al.*, 2016).

Existen cuatro principales modelos DEA: el de rendimientos constantes a escala, el de rendimientos variables a escala, el aditivo y el multiplicativo. Los modelos DEA pueden tener dos orientaciones, hacia la optimización en la combinación de *inputs* (modelo *input*-orientado), o hacia la optimización en la producción de *outputs* (modelo *output*-orientado) (Charnes, Cooper & Rhoades, 1978; Banker, Charnes & Cooper, 1984). Asimismo, el análisis *slacks* de las variables en los modelos DEA, proporciona la dirección en la cual habrán de mejorarse los niveles de eficiencia de las *DMUs*. Es así, que un valor *output slack* representa el nivel adicional de *outputs* necesarios para convertir una *DMU* ineficiente en una *DMU* eficiente. Un valor *input slack* representa las reducciones adicionales necesarias de los correspondientes *inputs* para convertir una *DMU* en eficiente (Coelli, Rahman & Thirtle, 2002; Cooper *et al.*, 2007; Navarro-Chávez *et al.*, 2016).

2.2 El tratamiento de los bad outputs en los modelos DEA

Pittman (1983) es considerado el pionero en el tratamiento de los *bad outputs*, ya que los introdujo en el cálculo de índices de productividad, adaptando la metodología de Caves, Christensen y Diewert (1982), y ,determinando los precios sombra

de estos *outputs* no deseados. Posteriormente, se presenta el trabajo de Färe *et al.* (1989) quienes adaptan el concepto de *bad output* a la eficiencia técnica de Farrell (1957), encontrando resultados muy similares a los de Pittman (1983) (Díaz, 2009; Hernández, Picazo & Reig, 2000; Sepúlveda, 2014). De esta forma, Hernández, Picazo & Reig (1997 y 1998) destacan que se han realizado dos tipos de aproximaciones para integrar los *bad outputs* en las mediciones de eficiencia y productividad, como son: el cálculo de índices de productividad, basados en la determinación de los precios sombra; y las medidas de eficiencia hiperbólica, sustentadas en el DEA.

Dyckhoff y Allen (2001) establecen que en la literatura sobre DEA se asume que los *outputs* son “buenos”, ya que las *DMUs* miden la eficiencia considerando exclusivamente los *inputs* y *outputs* que intervienen en el proceso de producción, maximizando los *outputs* para una cantidad dada de *inputs* o minimizando los *inputs* para una cantidad dada de *output*. Dadas algunas extensiones de los modelos clásicos de DEA, se encuentran aplicaciones orientadas a maximizar el *good output*, manteniendo o minimizando el *bad output* (Cooper *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2010; Sepúlveda, 2014). Al respecto Hernández *et al.* (1997, 1998 y 2000) argumentan que la dificultad radica en incrementar los *good outputs* reduciendo simultáneamente los *bad outputs*, bajo las restricciones impuestas por el vector de *inputs* y la propia tecnología. De acuerdo con Cooper *et al.* (2007) y Liu *et al.* (2010) el tratamiento de los *bad outputs* con DEA es viable con los modelos radiales (CCR y BCC); los modelos basados en slacks (SBM), los modelos Russell, y los modelos basados en funciones de distancia direccional (DDF).

2.3 El índice Malmquist-Luenberger: Análisis dinámico de la eficiencia con *bad outputs*

El índice Malmquist (1953) mide los cambios de productividad a través de dos periodos, siendo Färe *et al.* (1989) quienes lo adaptaron a un contexto no paramétrico a través del DEA. La aplicación del índice Malmquist requiere de un ajuste para determinar la producción de bienes no deseables. Esta sofisticación se logra a través de la combinación del índice de Malmquist orientado al *output* más una función de distancia direccional que da como resultado el denominado índice de productividad Malmquist-Luenberger (ML). La orientación al *output* permite medir las variaciones en la productividad de resultados deseables y no deseables. El índice ML indica mejoras de productividad si sus valores son mayores que uno, y una disminución de la productividad si los valores son inferiores a la unidad, así mismo, se puede descomponer en dos partes: cambio en la eficacia y el cambio de tecnología (Chung *et al.*, 1997; Navarro-Chávez *et al.*, 2016)

3. Aspectos metodológicos del modelo DEA

En este apartado se esbozan los aspectos metodológicos del modelo DEA con *bad outputs* que se desarrolló con la finalidad de determinar el uso eficiente de los recursos del sector agropecuario mexicano en APEC, durante el período 1980–2015. De igual forma, se exponen los elementos metodológicos del cálculo del índice Malmquist-Luenberger, para caracterizar la evolución de la productividad en el período analizado.

3.1 Definición del modelo de DEA: Modelización de la eficiencia con *bad outputs*

El modelo DEA en el cual se sustentó la presente investigación, considerando la presencia de *bad outputs*, fue el de Rendimientos Variables a Escala (VRS), es decir, cada unidad analizada es comparada con aquéllas de su tamaño y no con todas las unidades presentes en el problema (Cooper *et al.*, 2007). El estudio, además, se orientó al *output* debido a que la finalidad última es la maximización del *good output* y, a la par, la minimización del *bad output* (Liu *et al.*, 2010). La expresión matemática del modelo fue la siguiente (Seiford & Zhu, 2002):

$$\begin{aligned}
 \underset{s.a.}{Max} &= \phi + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^I s_i^+ + \sum_{d=1}^D s_{\bar{d}}^- + \sum_{z=1}^Z s_z^+ \right) & (1) \\
 \sum_{j=1}^N \lambda_j x_{ij} + s_i^+ &= x_{io} & i = 1, \dots, I \\
 \sum_{j=1}^N \lambda_j y_{dj} + s_{\bar{d}}^- &= (1 + \phi) y_{do} & d = 1, \dots, D \\
 \sum_{j=1}^N \lambda_j d_{zj} + s_z^+ &= (1 - \phi) b_{zo} & z = 1, \dots, Z \\
 \sum_{j=1}^N \lambda_j &= 1 \\
 \lambda_j, s_{\bar{d}}^-, s_i^+ &\geq 0, \phi \text{ sin restricción de signo}
 \end{aligned}$$

donde se supone que $j=(1 \dots N)$ son las $nDMUs$, cada una de las cuales puede utilizar i inputs ($i=1, \dots, I$) para producir d good outputs ($d=1, \dots, D$) y z bad outputs (z). Asignándole al vector x_{ij} la cantidad de input i utilizado por la $DMUj$, al vector y_{dj} el número de good output d producido por la $DMUj$, y al vector d_{zj} el monto de bad output z producido por la $DMUj$. Siendo ϵ una constante no-arquimediana, s la slack de las variables, y λ_j el vector de intensidad. La restricción $\sum_{j=1}^N \lambda_j = 1$ se incorpora para asumir que la tecnología exhibe VRS. El escalar ϕ representa el máximo incremento/decremento radial para el good y bad output producidos, respectivamente, por la unidad evaluada, variando su rango entre 0 y 1; de forma que tomará valor unitario cuando la DMU sea eficiente y valores menores a 1 cuando sea ineficiente (Sueyoshi & Goto, 2010; Wang, Yu & Zhang, 2013).

La investigación también buscó determinar la evolución de la productividad, de tal forma que se calculó el índice Malmquist-Luenberger, el cual tiene sus orígenes en el índice Malmquist. Los estudios de eficiencia dinámicos emplean a menudo el índice de Malmquist (Caves *et al.*, 1982). Este índice permite explicar el cambio en la productividad total de los factores como producto del cambio en eficiencia o *catching-up* y del cambio tecnológico. Chung *et al.* (1997) modificaron el índice de Malmquist para aplicarlo al caso de funciones direccionales de distancia. Éstas funciones han sido ampliamente utilizadas en los estudios de medida de la eficiencia que incorporan el impacto ambiental de las unidades analizadas a partir de la consideración de los bad outputs del proceso productivo (Färe & Grosskopf, 2004; Sueyoshi & Goto, 2010; Watanabe & Tanaka, 2007). La expresión matemática del nuevo índice denominado Malmquist-Luenberger (ML) para los años t y $t+1$ es la siguiente (Chung *et al.*, 1997):

$$ML^{t,t+1}(\cdot) = \left[\frac{[1 + D_0^t(x^t, y^t, b^t; y^t, -b^t)] [1 + D_0^{t+1}(x^t, y^t, b^t; y^t, -b^t)]}{[1 + D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, -b^{t+1})] [1 + D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, -b^{t+1})]} \right]^{1/2} \tag{2}$$

donde x son los inputs, y los outputs deseables, b los outputs no deseables, $g = (g_y - g_b)$ es el vector de dirección, y D_0^t es la función de distancia direccional en el output en el momento t .

Tras algunas transformaciones la expresión anterior se puede reescribir de la siguiente manera:

$$ML^{t,t+1}(\cdot) = \left[\frac{[1 + D_0^t(x^t, y^t, b^t; y^t, -b^t)] [1 + D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, -b^{t+1})]}{[1 + D_0^t(x^t, y^t, b^t; y^t, -b^t)] [1 + D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, -b^{t+1})]} \right]^{1/2} \cdot \left[\frac{[1 + D_0^t(x^t, y^t, b^t; y^t, -b^t)]}{[1 + D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, -b^{t+1})]} \right] = MLCTEC^{t,t+1}(\cdot) \cdot MLCEF^{t,t+1}(\cdot) \tag{3}$$

Como se puede observar la expresión descompone el cambio productivo ocurrido entre los periodos t y $t+1$ ($ML^{t,t+1}$), en el resultado del desplazamiento de la frontera tecnológica o cambio técnico ($MLCTEC^{t,t+1}$) y el cambio en la eficiencia técnica ($MLCEF^{t,t+1}$). El índice $ML^{t,t+1}$ tomará un valor superior (inferior) a la unidad cuando se haya producido un incremento (reducción) de la productividad entre t y $t+1$. En el caso de que éste sea igual a la unidad debe interpretarse que no ha existido cambio en la productividad (Reig & Picazo 2003).

3.2 El proceso de selección de variables para el modelo DEA con bad outputs

Las *DMUs* del presente modelo DEA fueron los sectores agropecuarios de 19 de las 21 economías del APEC. Cabe señalar que en el estudio no se consideró el caso de Taiwán y Hong Kong, debido a la falta de información respecto de las variables a analizar. El *output* del modelo fue el valor agregado generado y el *bad output* las emisiones de CO₂eq, la razón de haberlos retomados es por la representatividad teórica que tienen para explicar el desempeño del sector agropecuario. La selección de *inputs* se fundamentó en las bases teóricas que explican el comportamiento del sector (Becerril-Torres, Rodríguez & Ramírez, 2011; Celso & Cortés, 2010; Cruz & Polanco, 2014; da Silva, Silva & Gonçalves, 2011; Darku, Malla & Tran, 2013; Dios-Palomares *et al.*, 2015; Escalante, Galindo & Catalán, 2005; Ludena, 2010; Pedraza, 2012; Pokrivčák, Záhorský & Svetlanská, 2015; Shushchny, 2007; Yeboah *et al.*, 2011; Yu *et al.*, 2011). Dada la disponibilidad de información estadística la cantidad de indicadores se redujo, y se determinó que los *inputs* del modelo serían la formación bruta de capital y el personal ocupado (Banco Mundial, 2017; FAO, 2017a, b, c, e).

El período de análisis de la presente investigación es de 1980 a 2015, ya que este período recoge los principales cambios económicos vividos en la región de APEC con la apertura económica y el abandono de los modelos nacionalista. Por otro lado, se decidió efectuar el estudio por quinquenios, debido a que el análisis con lapsos de tiempo amplios refleja de mejor forma la evolución de la productividad.

4. Análisis de resultados del modelo de eficiencia

En el presente apartado se efectúa el análisis de los resultados de eficiencia del sector agropecuario mexicano en APEC, durante el período 1980-2015. De igual manera, se presentan los resultados del Índice Malmquist-Luenberger.

4.1 Eficiencia del sector agropecuario mexicano en APEC

Los sectores agropecuarios considerados eficientes, durante el período 1980-2015, en la utilización de sus recursos para generar valor agregado y a la par disminuir las emisiones de CO₂eq, fueron México, Brunei, China, Estados Unidos, Indonesia, y Tailandia (ver Cuadro 1). Ello se debe a que durante el período de estudio los sectores agropecuarios de estos países tuvieron un crecimiento sostenido en sus *inputs* (formación bruta de capital y personal ocupado) que generó un desarrollo aún mayor, reflejado en su valor agregado. Incremento que permitió que en términos comparativos las emisiones de CO₂eq fueran menores a las de otros sectores agropecuarios del APEC.

Cuadro 1
Resultados de Eficiencia del Sector Agropecuario en APEC, 1980-2015

<i>DMU</i>	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015
Australia	1	0.718697	0.663691	0.87133	0.720382	0.913524	0.940637	0.811036
Brunei Darussalam	1	1	1	1	1	1	1	1
Canadá	1	1	1	1	1	1	0.927218	0.97395
Chile	0.68425	0.550745	0.691501	0.736446	0.755782	0.683433	0.646765	0.658768
China	1	1	1	1	1	1	1	1
República de Corea	0.97634	0.931226	0.798819	1	0.791427	0.851874	1	0.98512
Estados Unidos	1	1	1	1	1	1	1	1
Filipinas	1	0.904836	1	1	1	1	0.969749	1
Indonesia	1	1	1	1	1	1	1	1
Japón	1	1	0.891822	0.76437	0.998594	1	1	0.900422
Malasia	0.896488	0.602351	0.665471	0.635773	0.681046	0.682171	0.745724	0.765006
México	1	1	1	1	1	1	1	1
Nueva Zelandia	0.784376	0.747467	0.851363	1	0.837736	0.824284	0.865527	0.897602
Papúa Nueva Guinea	1	1	0.788529	0.990831	0.827625	0.879721	0.930284	0.9923
Perú	1	1	1	0.997318	0.680281	0.913652	1	1
Rusia	1	1	1	1	1	0.843772	1	1
Singapur	0.74912	0.639591	0.71626	0.832995	0.753552	0.781949	0.836264	0.839298
Tailandia	1	1	1	1	1	1	1	1
Vietnam	1	1	0.622636	0.754099	0.719763	0.748501	0.795457	0.899369

Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2017), FAO (2017a, b, c, e), y utilizando el software MaxDea.

En el Cuadro 1 se puede observar que Malasia, Singapur, Australia, Nueva Zelanda, y Vietnam son los países cuyos sectores agropecuarios fueron los más ineficientes, ello debido a los volúmenes de CO₂eq que emiten y a la generación de valor agregado (Banco Mundial, 2017; FAO, 2017a, b, c, e). Estas economías consideradas como dinámicas en términos de su sector agropecuario en la región del APEC deberán utilizar de mejor manera sus recursos (formación bruta de capital y personal ocupado) para acrecentar su generación de valor agregado y a la par reducir la emisión de CO₂eq.

4.2 El índice Malmquist-Luenberger

Los países cuyos sectores agropecuarios fueron los más eficientes en la generación de valor agregado, y a la par en la reducción de emisiones de CO₂eq (México, Brunei, China, Estados Unidos, Indonesia, y Tailandia) presentaron, durante el período 1980-2015, comportamientos diferenciados en su productividad. El índice Malmquist-Luenberger del sector agropecuario mexicano empeoró, debido a que no se presentó un cambio tecnológico que provocara un desplazamiento de la Frontera de Posibilidades de Producción (FPP). A pesar de las mejoras continuas en la utilización eficiente de los recursos. Es decir, el sector agropecuario de México careció de inversiones productivas que permitieran un incremento significativo de su productividad en el período 1980-2015 (ver Cuadro 2).

Este comportamiento se replicó en el caso de los sectores agropecuarios de China, Indonesia y Tailandia. Dejando ver claramente lo intensivo que es en mano de obra el sector agropecuario de estos países, así como la carencia de inversiones que permitan la tecnificación de los mismos. Por otro lado, Brunei fue el único país cuyo sector, en el período de estudio, no presentó cambio alguno en su productividad. Finalmente, el sector agropecuario de Estados Unidos mostró mejoras en su productividad, debido tanto al uso eficiente de los recursos como al cambio tecnológico (ver Cuadro 2).

Cuadro 2
Índice Malmquist-Luenberger del Sector Agropecuario
en APEC, 1980-2015

<i>DMU</i>	<i>Cambio en la eficiencia</i>	<i>Cambio Tecnológico</i>	<i>Índice ML</i>	<i>Situación de la Productividad</i>
Australia	0.811036	1.457414	1.182015	Mejora
Brunei Darussalam	1	1	1	Igual
Canadá	0.97395	1.151382	1.121389	Mejora

Continúa...

<i>DMU</i>	<i>Cambio en la eficiencia</i>	<i>Cambio Tecnológico</i>	<i>Índice ML</i>	<i>Situación de la Productividad</i>
Chile	0.962759	0.874166	0.841611	Empeora
China	1	0.966299	0.966299	Empeora
República de Corea	1	1.132816	1.132816	Mejora
Estados Unidos	1.144352	0.800477	0.916027	Empeora
Filipinas	1.008992	0.879702	0.887613	Empeora
Indonesia	1	0.887699	0.887699	Empeora
Japón	0.900422	0.699023	0.629416	Empeora
Malasia	1	0.833161	0.833161	Empeora
México	0.853337	1.165583	0.994636	Empeora
Nueva Zelandia	0.9923	0.410134	0.406976	Empeora
Papúa Nueva Guinea	1	0.615464	0.615464	Empeora
Perú	1	1.122508	1.122508	Mejora
Rusia	1	0.785645	0.785645	Empeora
Singapur	1	0.80314	0.80314	Empeora
Tailandia	1.120378	0.801064	0.897494	Empeora
Vietnam	0.899369	0.249144	0.224073	Empeora

Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2017), FAO (2017a, b, c, e), y utilizando el software MaxDea.

Conclusiones

El sector agropecuario de México se caracterizó durante el período 1980-2015 por ser de los más dinámicos en términos de los principales indicadores económicos. Teniendo como principales socios comerciales Estados Unidos, Japón, Canadá y China. La información estadística analizada muestra también que el sector agropecuario nacional recibe poca inversión, emite contaminantes y posee una alta especialización comercial (Banco Mundial, 2017; FAO, 2017a-g). Es dada la anterior descripción que la presente investigación buscó analizar qué tan eficientemente se utilizaron los recursos en el sector agropecuario mexicano, en el marco de APEC, para generar valor agregado y a la par reducir las emisiones de CO₂eq, durante el período 1980-2015. Ya que a partir del *benchmarking* se podrían identificar áreas de mejora que conlleven a un incremento sustancial del valor agregado, y a la reducción de contaminantes. Así como a una inserción mucho más competitiva en el APEC y el mundo; sin perder de vista los otros factores que la determinan (Avendaño & Acosta, 2008; Málaga & Williams, 2010).

Para establecer los niveles de eficiencia del sector agropecuario mexicano en el APEC se hizo uso del Análisis Envolvente de Datos, y para conocer la evolución de la productividad en el período 1980-2015 se calculó el índice Malmquist-Luenberger (Cooper *et al.*, 2007; Chung *et al.*, 1997). Se elaboró así un

modelo DEA que, tomando como referencia a 19 países del APEC, se orientó al *output* considerando la presencia de *bad outputs*, y se estructuró bajo VRS. Estableciendo como *output* el valor agregado, como *bad output* las emisiones de CO₂eq, y como *inputs* la formación bruta de capital y el personal ocupado.

Los resultados del modelo de eficiencia muestran que México, Brunei, China, Estados Unidos, Indonesia, y Tailandia contaron con los sectores agropecuarios más eficientes. De igual manera, manifiestan que estos sectores ostentaron comportamientos muy diferenciados en términos de la evolución de su productividad. Específicamente, en el caso del sector agropecuario de México se pudo apreciar que durante todo el período de estudio, su productividad empeoró. La razón de este comportamiento fue que a pesar de que existió un desempeño positivo en materia del uso eficiente de los recursos, no existió un desplazamiento de su FPP, como sucedió en el caso de Estados Unidos.

Los resultados de eficiencia del sector agropecuario mexicano evidencian la necesidad de mejoras tecnológicas del sector (derivadas de mayores montos de inversión), que permitan la generación de una mayor producción con valor agregado y bajos volúmenes de emisión de contaminantes, y a su vez una inserción más competitiva en APEC. Necesidad que implica, como lo muestran las investigaciones de Fritscher (2002), Escalante *et al.* (2005), Málaga y Williams (2010), Ayala *et al.* (2011), Becerril-Torres *et al.* (2011), Moreno, Aguilar y Luévano (2011), Pedraza (2012), Escalante Catalán y Basurto (2013), Steffen, (2013), y Cruz y Polanco (2014), la consolidación a nivel nacional de políticas que fomenten: los flujos de inversión (financiamiento), el desarrollo de la producción de los minifundios, la creación de cadenas productivas incluyentes, la consolidación de la soberanía alimentaria, el fortalecimiento del mercado interno, y la diversificación comercial.

Referencias

- Avendaño Ruiz, B. D., y Acosta Martínez, A. I. (2008). "Midiendo los resultados del comercio agropecuario mexicano en el contexto del TLCAN". *Estudios Sociales*, 17(33), 41-81.
- Ayala Garay, A. V., Sangerman-Jatquín, D. M., Schwentesius Rindermann, R., Almaguer Vargas, G., y Jolalpa Barrera, J. L. (2011). "Determinación de la competitividad del sector agropecuario en México, 1980-2009". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(4), 501-514.
- Banco Mundial. (2017). Indicadores del Desarrollo Mundial. Consultado el 10 de julio de 2017 desde: <http://databank.bancomundial.org/data/reports.aspx?source=2&series=NE.EXP.GNFS.ZS&country=#>

- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis". *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
- Becerril-Torres, O. U., Rodríguez Licea, G., & Ramírez Hernández, J. J. (2011). "Eficiencia técnica del sector agropecuario de México: Una perspectiva de análisis envolvente de datos". *Economía*, 35(31), 85-110.
- Bemowski, K. (1991). "The benchmarking bandwagon". *Quality Progress*, 24(1), 19-24.
- Caves, D. W., Christensen, L. R., & Diewert, W. E. (1982). "The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity". *Econometrica*, 50(6), 1393-1414.
- Celso Arellano, P. L., y Cortés Fregoso, J. H. (2010). "Análisis de la eficiencia técnica relativa de la agroindustria azucarera: El caso de México". *Revista Mexicana de Agronegocios*, 26, 202-213.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). "Measuring the efficiency of decision making units". *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.
- Chung, Y. H., Färe, R., & Grosskopf, S. (1997). "Productivity and undesirable outputs: A directional distance function approach". *Journal of Environmental Management*, 51(3), 229-240.
- Coelli, T., Rahman, S., & Thirtle, C. (2002). "Technical, allocative, cost and scale efficiencies in Bangladesh rice cultivation: A non-parametric approach". *Journal of Agricultural Economics*, 53(3), 607-626.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2007). *Data Envelopment Analysis. A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software* (2nd ed.). New York, USA: Springer Science & Business Media.
- Cruz, M., y Polanco, M. (2014). "El sector primario y el estancamiento económico en México". *Problemas del Desarrollo*, Vol. 45, num.178, 9-33.
- da Silva e Souza, G., Silva Moreira, T. B., & Gonçalves Gomes, E. (2011). "Potential improvement of agricultural output for major producers based on dea efficiency measurements". *Pesquisa Operacional*, 31(1), 79-93.
- Darku, A. B., Malla, S., & Tran, K. C. (2013). "Historical Review of Agricultural Efficiency Studies". *CAIRN Research Network*. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.646.4781>
- Díaz Villavicencio, G. (2009). *Factores determinantes de la gestión ecoeficiente de los residuos urbanos (GERU) en Cataluña: Una aproximación institucional*. Universidad de Barcelona. Disponible en: <http://www.tesisred.net/handle/10803/1491>

- Dios-Palomares, R., Alcaide, D., Diz, J., Jurado, M., Prieto, A., Morantes, M., y Zúñiga, C. A. (2015). "Análisis de la Eficiencia de Sistemas Agropecuarios en América Latina y el Caribe Mediante la Incorporación de Aspectos Ambientales". *Revista Científica*, 25(1), 43-50.
- Dyckhoff, H., & Allen, K. (2001). "Measuring ecological efficiency with data envelopment analysis (DEA)". *European Journal of Operational Research*, 132(2), 312-325.
- Escalante, R., Catalán, H., y Basurto, S. (2013). "Determinantes del crédito en el sector agropecuario mexicano: Un análisis mediante un modelo Probit". *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 10(71), 101-124.
- Escalante, R., Galindo, L. M., y Catalán, H. (2005). "La evolución del producto del sector agropecuario mexicano, 1960-2002: algunas regularidades empíricas". *Cuadernos de Desarrollo Rural*, (54), 87-112.
- FAO. (2017a). Capital Stock. Consultado el 10 de Julio de 2017 desde: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/CS>
- FAO. (2017b). Emissions by Sector. Consultado el 10 de Julio de 2017 desde: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/EM>
- FAO. (2017c). Employment Indicators. Consultado el 10 de Julio de 2017 desde: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/OE>
- FAO. (2017d). Land. Consultado el 10 de Julio de 2017 desde: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RL>
- FAO. (2017e). Macro Indicators. Consultado el 10 de Julio de 2017 desde: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/MK>
- FAO. (2017f). Production Indices. Consultado el 10 de Julio de 2017 desde: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QI>
- FAO. (2017g). Trade Indices. Consultado el 10 de Julio de 2017 desde: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/TI>
- Färe, R., & Grosskopf, S. (2004). "Modeling undesirable factors in efficiency evaluation: Comment". *European Journal of Operational Research*, 157(1), 242-245.
- Färe, R., Grosskopf, S., Lovell, C. A. K., & Pasurka, C. (1989). "Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: a nonparametric approach". *The Review of Economics and Statistics*, 71(1), 90-98.
- Farrell, M. J. (1957). "The measurement of productive efficiency". *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 120(3), 253-290.
- Fritscher, M. (2002). "Del estatismo al libre comercio: los dilemas del sector agrícola en México". *Estudios Sociedade e Agricultura*, 19, 146-171.
- Hernández Sancho, F., Picazo Tadeo, A. J., y Reig Martínez, E. (1997). "Análisis no paramétrico de eficiencia en presencia de outputs no deseables". *Instituto Va-*

- lenciano de Investigaciones Económicas. (WP-EC 97-09)*. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2249083>
- Hernández Sancho, F., Picazo Tadeo, A. J., y Reig Martínez, E. (1998). “Actividad productiva y medio ambiente: Los residuos industriales en el contexto de los análisis de eficiencia”. *RAE: Revista Asturiana de Economía*, (13), 53-72.
- Hernández Sancho, F., Picazo Tadeo, A. J., y Reig Martínez, E. (2000). “Funciones Distancia Direccional y Eficiencia Medioambiental: Un análisis para la industria cerámica española”. En *Encuentro de Economía Aplicada* (pp. 1–16). Disponible en: <http://encuentros.alde.es/antiores/iiiieea/default.html>
- Liu, W. B., Meng, W., Li, X. X., & Zhang, D. Q. (2010). “DEA models with undesirable inputs and outputs”. *Annals of Operations Research*, 173(1), 177–194.
- Ludena, C. E. (2010). “Agricultural Productivity Growth, Efficiency Change and Technical Progress in Latin America and the Caribbean”. *IDB Working Paper Series No. 186*. Disponible en: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1817296
- Málaga, J. E., & Williams, G. W. (2010). “La competitividad de México en la exportación de productos agrícolas”. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 14(27), 295-309.
- Malmquist, S. (1953). “Index numbers and indifference surfaces”. *Trabajos de Estadística*, 4(2), 209-242.
- Moreno Reséndez, A., Aguilar Durón, J., y Luévano González, A. (2011). “Características de la agricultura protegida y su entorno en México”. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 15(29), 763-774.
- Navarro-Chávez, J. C., Ayvar-Campos, F. J., & Giménez-García, V. M. (2016). “Generación de bienestar social en México: un estudio DEA a partir del IDH”. *Economía, Sociedad y Territorio*, XVI (52), 591-621.
- Navarro Chávez, J. C. L., & Torres Hernández, Z. (2003). “La evaluación de la eficiencia en el sector eléctrico: un análisis de la frontera de datos (DEA)”. *Ciencia Nicolaita*, (35), 39-58.
- Pedraza Robles, L. C. (2012). *Three Studies on mexican agriculture* (1 st.). Oklahoma, USA: Oklahoma State University.
- Pittman, R. W. (1983). “Multilateral productivity comparisons with undesirable outputs”. *The Economic Journal*, 93(372), 883-891.
- Pokrivčák, J., Záhorský, T., & Svetlanská, T. (2015). “Evaluation of technical efficiency and productivity of agriculture in EU member states”. In *X International Conference on Applied Business Research* (pp. 797–806). Brno, República Checa: Mendel University. Disponible en: <http://www.icabr.com/fullpapers/icabr2015.pdf>

- Reig Martínez, E., y Picazo Tadeo, A. (2003). “Los costes sociales del crecimiento económico: siniestralidad laboral en las regiones españolas”. En *XXIX Reunión de Estudios Regionales* (pp. 1–20). Santander, España: AECR. Disponible en: http://www.aecr.org/web/congresos/2003/textos_acept/A.10/I.88.A.pdf
- Seiford, L. M., & Zhu, J. (2002). “Modeling undesirable factors in efficiency evaluation”. *European Journal of Operational Research*, 142(1), 16-20.
- Sepúlveda Calderón, M. del P. (2014). “Análisis de eficiencia técnica y estudio de casos en los cultivos de flores de la Sabana de Bogotá”. *Pensamiento & Gestión*, (36), 291-326.
- Serra de la Figuera, D. (2004). *Métodos cuantitativos para la toma de decisiones* (1st ed.). Barcelona, España: Ediciones Gestión 2000, S.A.
- Shuschny, A.R. (2007). “El método DEA y su aplicación al estudio del sector energético y las emisiones de CO2 en América Latina y el Caribe”. *Estudios Estadísticos y prospectivos No. 46* (1era. ed.). Santiago de Chile, Chile: CEPAL. Disponible en: http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4752/1/S0700014_es.pdf
- Steffen Riedemann, M. C. (2013). “El crédito y los ejidatarios que producen maíz y sorgo de temporal en Valle de Santiago, Guanajuato”. *Polis*, 9(1), 139-167.
- Sueyoshi, T., & Goto, M. (2010). “Should the US clean air act include CO2 emission control?: Examination by data envelopment analysis”. *Energy Policy*, 38(10), 5902-5911.
- Wang, K., Yu, S., & Zhang, W. (2013). “China’s regional energy and environmental efficiency: A DEA window analysis based dynamic evaluation”. *Mathematical and Computer Modelling*, 58(5-6), 1117-1127.
- Watanabe, M., & Tanaka, K. (2007). “Efficiency analysis of Chinese industry: A directional distance function approach”. *Energy Policy*, 35(12), 6323-6331.
- WITS. (2017a). Mexico Animal Exports. Consultado el 10 de julio de 2017 desde: http://wits.worldbank.org/CountryProfile/en/Country/MEX/StartYear/2011/EndYear/2015/TradeFlow/Export/Indicator/XPRT-TRD-VL/Partner/BY-COUNTRY/Product/01-05_Animal
- WITS. (2017b). Mexico Vegetable Exports. Consultado el 10 de julio de 2017 desde: http://wits.worldbank.org/CountryProfile/en/Country/MEX/StartYear/2011/EndYear/2015/TradeFlow/Export/Indicator/XPRT-TRD-VL/Partner/BY-COUNTRY/Product/06-15_Vegetable
- Yeboah, O., Gunden, C., Shaik, S., Allen, A., & Li, T. (2011). “Measurements of Agricultural Productivity and Efficiency Gains from NAFTA”. *The Southern Agricultural Economics Association Annual Meeting*. Corpus Christi, Texas, USA: Southern Agricultural Economics Association. Disponible en: http://ageconsearch.umn.edu/record/98726/files/Yeboah_Gunden_Shaik_Allen_Li_SAEA.pdf

Yu, Q., Tang, H., Chen, Y., Wu, W., Yang, P., Tang, P., & Xu, X. (2011). "Efficiency analysis of agricultural land use based on DEA method: A case study among APEC economies". *International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring (CDCIEM)* (pp. 1216–1219). Changsha, China: IEEE. Disponible en: http://publications.apec.org/publication-detail.php?pub_id=1003