

Productividad del uso de recursos energéticos en los agentes del mercado eléctrico nicaragüense con sistemas de cogeneración

Productivity of the use of energy resources in Nicaraguan electricity market agents with cogeneration systems

Napoleón Vicente Blanco-Orozco¹

Fecha de recepción: 15 de mayo de 2017
Fecha de aprobación: 27 de julio de 2017

Blanco-Orozco, N. Productividad del uso de recursos energéticos en los agentes del mercado eléctrico nicaragüense con sistemas de cogeneración. *Tecnología en Marcha*. Vol. 31-1. Enero-Marzo 2018. Pág 47-57.

DOI: 10.18845/tm.v31i1.3496



¹ Doctor en Ciencias del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Ingeniero eléctrico y Máster en Gerencia de Proyectos de Desarrollo, UNI. Docente investigador de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Facultad de Electrotecnia y Computación, Jefe de Departamento de Ingeniería Eléctrica, Nicaragua. Correo electrónico: blanconapoleon@yahoo.com, napoleon.blanco@fec.uni.edu.ni.

Palabras clave

Productividad; bagazo de caña; derivados del petróleo; energía eléctrica.

Resumen

En este artículo se evaluó la productividad, empleando el método de datos envolventes DEAP e índices de Malmquist, del uso de recursos energéticos bagazo de caña y de los derivados del petróleo para la generación de energía eléctrica. Los resultados demuestran que la productividad total de los factores del uso de bagazo para generar energía eléctrica registra un decrecimiento interanual. En el caso del empleo de derivados del petróleo para generar energía la productividad total de los factores en promedio general registró desmejora; no obstante, algunas de las plantas térmicas estudiadas registraron cierto ritmo de crecimiento. Lo que significa que existe oportunidad para la revisión de los procesos productivos para incrementar la productividad del uso del bagazo y que los derivados del petróleo están siendo gestionados con mayor productividad para generar energía eléctrica.

Keywords

Productivity; cane bagasse; petroleum products; electric power.

Abstract

In this paper, the productivity of the use of sugarcane bagasse and petroleum derivatives for the generation of electric energy was evaluated using the DEAP and Malmquist indexes. The results show that the total productivity of the factors of the use of bagasse to generate electrical energy registers an interannual decrease. In the case of the use of petroleum derivatives to generate energy, the total factor productivity in general average registered deterioration; however, some of the thermal plants studied registered a growth rate. This means that there is an opportunity for the review of production processes to increase the productivity of the use of bagasse and that oil derivatives are being managed with greater productivity to generate electricity.

Introducción

En el contexto actual del sector energético nicaragüense e internacional existe una preocupación por sustituir el empleo de derivados del petróleo por fuentes renovables de energía por el hecho de un inminente agotamiento de los combustibles fósiles. De manera que, en foros internacionales se discuten las bondades técnicas y ambientales del uso de la energía renovable y se plantea la necesidad de socializar el beneficio de la disponibilidad de energía para la sociedad en general. Y en el ámbito académico, se analizan y se descubren nuevas formas de empleo de estas energías renovables y se discuten los modelos de inserción a las redes a través de la conceptualización de la generación distribuida y las redes inteligentes.

No obstante, en este artículo se abordó el uso de los recursos energéticos para generar energía eléctrica para mejorar la productividad; lo que implica, lograr el costo mínimo en este proceso optimizando los factores entradas y salidas. Por cuanto, productividad es un concepto que relaciona el análisis del uso de los factores de producción involucrados en la generación de un producto, que en nuestro caso, es la generación de energía eléctrica. Además, el análisis de la productividad de la generación de energía eléctrica es un paso necesario para la gestión

eficiente de la energía que trae como beneficios la reducción de pérdidas y optimización de recursos y de esta forma, lograr la misma producción sin aumentar el consumo energético.

De forma particular, en Nicaragua la energía eléctrica que se produce y consume proviene de una matriz energética que utiliza energías renovables, incluyendo la biomasa (bagazo de caña de azúcar) y de las plantas térmicas que utilizan combustibles fósiles. En la actualidad en Nicaragua la matriz de generación tiene un 43.3 % de generación de energía eléctrica en base a Bunker, 9.5 % en base a Diésel, 9.9% hidroeléctrica, 11.1% geotermia, 13.4% eólica, 12.7 % bagazo y 0.1 % solar [1]. Por tanto, se observa que la matriz energética nicaragüense ha avanzado hacia la sustitución de fuentes derivados del petróleo por fuentes renovables, pero es tiempo de preguntarse si en este proceso se están optimizando los recursos, es decir se está aumentando la productividad del empleo de los energéticos en la generación de energía eléctrica.

Por tanto, para responder a la interrogante de productividad antes planteada es que surge este estudio cuyo propósito fue el de evaluar la productividad, empleando el método de datos envolventes DEAP e índices de Malmquist, del uso de recursos energéticos bagazo de caña y de derivados del petróleo para la generación de energía eléctrica agentes del mercado eléctrico nacional con sistemas de cogeneración de Nicaragua en el periodo 2000 al 2015.

Revisión bibliográfica

La eficiencia de una unidad de producción puede dividirse en dos componentes: la eficiencia técnica que refleja la habilidad de la unidad de producción para obtener la máxima salida dado una cantidad de entrada y las eficiencias de asignación que refleja la habilidad para usar las entradas en proporciones óptimas dado un precio determinado; estas dos eficiencias se combinan para proveer una medida de la eficiencia económica total [2]. Adicionalmente, el análisis de la productividad de una unidad de producción se realiza en función de su comparación con una función frontera de producción eficiente; esta función de producción eficiente significa que la eficiencia técnica de una unidad de producción se compara con la de otras unidades en función de la cual se estima la función frontera representativa [3]. Igualmente, Zúniga [4] esboza que la variable frontera significa el límite de una función, y que una función de producción representaría la maximización de salidas dado un conjunto de entradas. Por tanto, el avance en la productividad total de los factores (PTF) nos indica una mejoría en la tecnología y en la organización de la producción y para este fin el índice de Malmquist es definido usando la función distancia. Una tecnología de la producción puede ser definida usando la salida:

$$P(X) = \{y: X \text{ puede producir } y\} \quad \text{Ecuación 1}$$

La función de distancia de salida es definida como P (x):

$$d_0(x, y) = \min \left[\delta: \left(\frac{y}{\delta} \right) \in P(X) \right] \quad \text{Ecuación 2}$$

La función distancia $d_0(x, y)$ tomará un valor mayor que o igual a 1, si el vector salida, y , es un elemento de la producción energética deseable, $P(x)$. Además, la función distancia tomará el valor menor de la unidad si, y , es localizado fuera del conjunto de producción deseable. De manera que, el índice de Malmquist DEA es un método para estimar funciones fronteras de maximización y minimización utilizando el análisis de datos envolventes [4] estas distancias son: a) La frontera DEA con tecnologías a rendimientos a escala constante del período previo, b) la frontera DEA a con tecnologías rendimientos de escala constante del período actual, c) la

frontera DEA con tecnologías a rendimientos de escala constante del siguiente período, y d) la frontera DEA con tecnologías a escala de rendimientos decrecientes.

La salida basada en el índice de cambio de productividad de Malmquist se calcula como:

$$m(y_{t+1}, X_{t+1}, Y_t, X_t) = \sqrt{\left[\frac{d_0^t(X_{t+1}, Y_{t+1})}{d_0^t(X_t, Y_t)} \times \frac{d_0^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})}{d_0^t(X_t, Y_t)} \right]} \quad \text{Ecuación 3}$$

El resultado de la ecuación anterior representa la productividad de la producción en el punto (x_{t+1}, y_{t+1}) relativo al punto de producción (x_t, y_t) . Un valor mayor que uno indicará crecimiento del TFP del período t para el período $t+1$. Para calcular el índice PTF se usa la programación lineal y para profundizar en el modelo matemático ver [5].

Metodología

En este artículo se empleó el método de análisis de datos envolvente (Data Envelopment Analysis, DEA) y se utilizaron datos de panel para calcular cambios en los índices de productividad total de factores (PTF); cambio tecnológico; cambio de eficiencia técnica y cambio de escala de eficiencia. Para el cálculo, se hizo uso del programa de simulación DEAP 2.1 que contiene los algoritmos del proceso metodológico del método Malmquist y se empleó la medida de orientado a la salida. Para mayor detalle del uso de la metodología de datos envolventes (DEA) y los índices de Malmquist referirse a [5].

Como parte del proceso del estudio de la productividad se realizó una recopilación de información relacionada a los componentes de entradas y salidas de los procesos de generación de energía eléctrica en las centrales eléctricas con sistemas de cogeneración que funcionan actualmente en Nicaragua y que están conectadas al sistema interconectado nacional; además de las plantas térmicas que usan derivados del petróleo. La información recopilada correspondió a la entrada del proceso de generación de energía en forma de consumo del tipo de combustible que utiliza en función del tipo de central eléctrica. Como entradas para el caso de los ingenios que usan biomasa como combustible se consideraron el consumo de toneladas de bagazo de caña. Para el caso de las plantas térmicas la entrada fue el consumo de combustible fuel Oil en galones.

La salida considerada para el análisis de productividad en ambos casos tanto para el uso de bagazo como para el fuel oil en la generación de energía eléctrica fue la generación neta en Gw-hr durante el periodo de estudio. Luego de recopilar la información de entrada y salida a los sistemas de generación de energía, se procedió al análisis de la productividad en el aprovechamiento de estos energéticos usando el programa informático DEAP 2.1 para realizar una comparación en la productividad entre las diferentes centrales de generación de energía eléctrica conectadas al sistema interconectado nacional de Nicaragua.

Datos

Los datos analizados en esta sección fueron obtenidos de los sitios web de instituciones del estado de Nicaragua como el Instituto Nicaragüense de la Energía (INE), el Despacho Nacional de Carga (CNDC) y del Ministerio de energías y Minas de Nicaragua (MEM). Se consideraron dos escenarios de estudio de plantas de Generación de Energía de Nicaragua conectadas al sistema Interconectado Nacional (SIN).

El primer escenario considera el caso la comparación de los ingenios conectados al SIN y que son el Ingenio San Antonio y el Ingenio Monte Rosa. Los datos analizados fueron: como salida se utilizó la generación neta de energía eléctrica (Gw-Hr) y la entrada fue el consumo de Bagazo (en 103 ton de bagazo de caña) y se utilizó una serie de tiempo entre el año 2008 y 2016.

El segundo escenario considerado fue la comparación de las plantas térmicas que emplean derivados del petróleo en la generación de energía eléctrica conectados al SIN donde las plantas en estudio fueron: ALBANISA, GECSA, CENSA, EMPRESA ENERGÉTICA CORINTO, TIPITAPA POWER COMPANY, GEOSA. Los datos analizados fueron las salidas en forma de la generación neta de energía eléctrica (Gw-Hr) y la entrada fue el consumo de combustible (10^3 Galones) y se utilizó una serie de tiempo entre el 2008 y 2016.

Resultados y discusión

El propósito fundamental de este artículo fue el análisis de la productividad total de los factores del uso de los recursos energéticos para generar energía eléctrica con sistemas de cogeneración y las plantas térmicas conectadas al sistema Interconectado Nacional; lo que permite comparar la productividad del empleo de recursos energéticos renovables como la biomasa con respecto al empleo de derivados del petróleo en la generación de energía eléctrica.

En el primer caso de estudio correspondiente a la productividad total de los factores entre los ingenios San Antonio y Monte Rosa se obtuvieron los resultados reflejados en el cuadro 1:

Cuadro 1. Promedios de ritmo de crecimiento de la productividad total de los factores, la eficiencia técnica, y la tecnología de los ingenios San Antonio y Monte Rosa, durante el periodo 2008-2016.

Promedios de ritmo de crecimiento de la productividad total de los factores, la eficiencia técnica, y la tecnología de los ingenios San Antonio y Monte Rosa, durante el periodo 2008-2016.					
Planta de Producción	effch	Techch	pech	Sech	Tfpch
Ingenio San Antonio	0.975	0.981	0.957	1.018	0.956
Ingenio Monte Rosa	1.000	0.981	1.000	1.000	0.981
Promedio	0.987	0.981	0.979	1.009	0.968
Effch: cambio de la eficiencia técnica, techch: cambio tecnológico, pech cambio en eficiencia pura, sech cambio de escala, tfpch cambio en la productividad total de los factores.					

El ritmo de crecimiento interanual de la productividad total de los factores del uso de bagazo para generar energía eléctrica, durante el periodo de estudio para ambos ingenios fue de 3.2 % deficiente. La bioenergía estudiada muestra únicamente crecimiento interanual de los cambios en la eficiencia de escala del 0.9 %. Sin embargo, la eficiencia técnica expresada en la capacitación de la mano de obra y la eficiencia pura que representa la diferencia entre el cambio de la eficiencia y el cambio de la tecnología que expresa la relación entre la bioenergía y la capacidad de los trabajadores, presentan un claro decrecimiento.

Ambos ingenios estudiados presentan un decrecimiento en su productividad total de los factores. El ingenio Monte Rosa no presentó ningún cambio de su productividad en lo respectivo a la eficiencia técnica, pura y a la de escala. Por otro lado, el Ingenio San Antonio presentó

desmejora en su productividad en lo respectivo a la eficiencia técnica y la pura, a pesar de que la de escala presenta un aumento del 1 %. Ambos ingenios no presentan cambio tecnológico o cambio en la tecnología que está referido al desarrollo de las actividades de generación de energía eléctrica utilizando bagazo como biomasa, dado que ambos ingenios presentan el mismo índice de cambio tecnológico.

Resumiendo podemos valorar que durante el periodo de estudio la bioenergía registra un decrecimiento interanual de la productividad, este bajo ritmo de crecimiento puede ser debido a que en nuestro país en el uso de la bioenergía es reciente como proceso productivos como un enfoque alternativo al empleo de los combustible fósiles. Implica que, se deben revisar los procesos productivos para incrementar más aceleradamente el ritmo de crecimiento.

En el segundo caso de estudio se hace una comparación de las plantas térmicas que emplean derivados del petróleo en la generación de energía eléctrica conectados al SIN los resultados del programa DEAP se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Promedios de ritmo de crecimiento de la productividad total de los factores centrales térmicas del SIN que emplean derivados del petróleo en la generación de energía eléctrica, durante el periodo 2008-2016.

Promedio de la productividad total de los factores, eficiencia técnica y tecnología de las centrales térmicas del SIN que emplean derivados del petróleo en la generación de energía eléctrica, durante el periodo 2008-2016.					
Centrales térmicas de Generación	effch	techch	Pech	sech	tfpch
ALBANISA	1.000	0.991	1.000	1.000	0.991
GECSA	1.035	0.991	1.054	0.982	1.026
CENSA	0.991	0.991	0.985	1.006	0.982
EMPRESA ENERGÉTICA CORINTO	1.001	0.991	0.968	1.035	0.992
TIPITAPA POWER COMPANY	1.014	0.991	0.983	1.031	1.005
GEOSA	0.996	0.991	0.928	1.073	0.987
Promedio	1.006	0.991	0.988	1.021	0.997
Effch: cambio de la eficiencia técnica, techch: cambio tecnológico, pech cambio en eficiencia pura, sech cambio de escala, tfpch cambio en la productividad total de los factores.					

En promedio durante el periodo de estudio se nota desmejora en el ritmo de crecimiento interanual de la productividad total de los factores 0.3%, sin embargo se nota cambio en la productividad para la centrales térmicas de GECSA Y TIPITAPA POWER.

Los resultados muestran que la planta que posee mayor índice de productividad total de los factores con un aumento del 2.6% en su ritmo de crecimiento interanual es GECSA, seguida de la planta TIPITAPA POWER con 0.5 %. El mayor índice de cambio en la productividad total de los factores de estas plantas no se explica con un cambio tecnológico en el uso de combustible fósiles, debido a que se muestra que todas las plantas en estudio tienen prácticamente el mismo déficit (desmejora) en aumento de cambio tecnológico.

Por el contrario, el mayor índice de productividad total de los factores de estas plantas térmicas es debido al cambio en eficiencia técnica en el caso de GECSA del 3.5 %, o sea, en la

capacitación del talento humano que trabaja en las plantas Y en la TIPITAPA POWER se explica por la eficiencia técnica del 1.4% y el cambio de escala del 3.1% o sea en la forma de gestión de su despacho de energía generada.

De manera que, por ejemplo, GECSA presenta un cambio de la eficiencia técnica del 3.5% que se explica también en el aumento de la eficiencia pura del 5.4%, y no de la de escala que no presenta crecimiento. De la misma manera, TIPITAPA POWER presenta cambios en la eficiencia técnica de 1.4%, con un aumento de 3.1 % de escala. Por tanto, el aumento del cambio de productividad de los factores de las plantas térmicas GECSA Y TIPITAPA POWER se explica en aumento de la capacidad de gestión tecnológica, mejora en la toma de decisiones, aumento del conocimiento, la experiencia y la capacitación del personal de las plantas térmicas.

En resumen podemos notar que la productividad total de los factores en promedio registró desmejora en el periodo de estudio. No obstante, GECSA y TIPITAPA POWER fueron las únicas que registraron un ritmo de crecimiento interanual entre el 2.6% y 0.5%.

Así no se puede dejar de mencionar que para lograr un cambio en la productividad una planta de generación debe recurrir también a la eficiencia energética, pero no se debe confundir el concepto de eficiencia con el de productividad. La eficiencia teórica de las plantas de generación son relaciones simples de salida con respecto a la entrada. Según Euroelectric [6] las eficiencias de las plantas de generación térmicas desde el punto de vista teórico son limitadas por el ciclo de Carnot y suelen tener los siguientes valores: para plantas de fuel oil del 38 al 44 %, plantas de carbón del 39 al 47%, turbina a gas 39 %, turbina de biomasa y biogás 30 al 40 %, nucleares del 33 al 36%, plantas de tratamiento de residuos 22 al 28 %, geotérmicas 35% y la cogeneración tiene una eficiencia global hasta de 85%. Y las energías renovables presentan las siguientes eficiencias: fotovoltaica 15%, eólica 35%, hidroeléctricas 90% (plantas de gran tamaño hasta el 95%), mareomotrices 90%, celdas combustibles 40%, micro turbinas del 17 al 22 %.

De manera que, la eficiencia en las plantas de generación suele expresarse como una relación de la electricidad producida en función de unidad de entrada de energía, pero esta relación considera únicamente el valor calorífico de los combustibles soslayando otras variables que intervienen como la capacidad instalada, mano de obra y las emisiones asociadas a la actividad de generación de energía eléctrica. Así que, la eficiencia energética se asocia a cambios tecnológicos, económicos y sociales relacionados a una gestión óptima de los recursos energéticos para reducir y mantener a un nivel mínimo las pérdidas de energía [7].

Además, Chen et al [8] señalan a la eficiencia en la producción de electricidad como un factor crítico para el desarrollo sustentable y por ello utilizaron DEA incluyendo el efecto invernadero de las emisiones de CO₂ para evaluar la eficiencia de plantas de generación de energía eléctrica encontrando que los países de Asia mostraron la mayor eficiencia técnica y que los países Europeos presentan la eficiencia técnica más baja al comparar los países de estos continentes junto a América.

Por otro lado, Abbott [9] define la eficiencia como el grado en que los recursos son empleados de manera óptima para producir salidas; definiéndose tres tipos de eficiencia (técnica, de escala y asignativa). Por lo que, el autor empleó DEA para analizar el factor de productividad total de la industria eléctrica de Australia y encontró que este factor aumento en todos los estados estudiados y que la eficiencia técnica aumento en cinco de los seis estados Australianos. Adicionalmente, Allcott and Greenstone [10] expresan que a través de políticas de conservación de energía se puede ahorrar dinero y reducir las externalidades negativas asociadas con el uso de energía. De manera que, la eficiencia energética trae beneficios debido a las externalidades evitadas y provocadas por la afectación ambiental; además, se

evitan los aportes al cambio climático de las emisiones provocadas por el uso de combustible fósil para generar energía eléctrica.

En cuanto al empleo de bagazo de caña para generar energía eléctrica, Rodríguez et al. [11] señalan que es factible obtener energía a partir de biomasa proveniente de bagazo de caña, paja de caña y de sorgo como residuos agrícolas; los autores calcularon la energía disponible para producir vapor y generar electricidad y así disponer de energía para el proceso productivo en un sistema de cogeneración. Sin embargo, Forero et al. [12] refieren que a pesar de que la biomasa se constituye como la tercera principal fuente de energía eléctrica presenta problemas de explotación con relación a su baja densidad y dificultad de transporte y su almacenaje. Por lo que aún es necesario aumentar el conocimiento en la gestión de este recurso que puede ser una de las razones por la que se encontró que la productividad del empleo del bagazo en la generación energética en Nicaragua debe mejorar.

En otro sentido, según los resultados obtenidos no parece haber relación entre si la planta de generación es pública o privada y su productividad. Los ingenios estudiados son privados y las plantas de generación térmica estudiadas son privadas con capital extranjero. En este sentido, según Del Bo [13] al analizar el impacto de las reformas al mercado eléctrico Europeo y específicamente los vínculos entre resultados de estas reformas y el tipo de propiedad de las plantas de generación usando el factor de productividad total encontró que la propiedad extranjera está asociada con mayores niveles de productividad total de los factores (PTF), posiblemente por el acceso a los mercados extranjeros que podría tener ventaja tanto en términos de gestión como de tecnología. Pero las empresas públicas internas presentaron mayor productividad que las empresas privadas domésticas y la explicación podría ser la relación entre la productividad y otras características de la empresa, como por ejemplo el tamaño, que a su vez podría ser relacionados con la propiedad. La hipótesis planteada de que en los mercados eléctricos la propiedad pública es menos eficiente que la propiedad privada no parece ser conclusiva.

Por el contrario, Thakur y Jain [14] en su estudio del crecimiento y mejora de la eficiencia y la productividad de las centrales de energía térmica a base de carbón en la India no encontraron gran diferencia en la estructura de producción de las plantas públicas y privadas. Y Según Saleem [15] al estudiar la productividad de plantas de generación públicas y privadas en Pakistán encontró que ambos tipos de empresas muestran aumento en el factor de productividad total (FPT) y que no tienen diferencia en la estructura de producción y que debido al aumento positivo de la FPT de las empresas públicas el gobierno debe meditar antes de privatizarlas. No obstante, los autores Hassan y Hasanpour [16] obtuvieron como resultado de su estudio de las plantas térmicas en Irán que estas presentaron aumento en la productividad y que este estudio permite encontrar las ineficiencias a corregir en el proceso de generación de energía eléctrica, además, concluyeron que existe una relación entre la reestructuración de la industria eléctrica producto de la liberalización o privatización y el aumento de productividad.

Por el contrario Fátima y Barik [17] al realizar un estudio de la productividad en el sector de generación de energía eléctrica en 14 estados de la India encontraron que a pesar de haber encontrado mejora en el FPT parece indicar que las reformas al sector eléctrico que incluyen liberalización o privatización no produjeron los resultados esperados en cuanto a mejora en la productividad. Por lo tanto, a partir de esta revisión de la literatura sobre el impacto de la propiedad pública sobre la productividad y la eficiencia en el sector eléctrico, la evidencia no parece ser concluyente se necesita un análisis más detallado.

Por otra parte, para medir la eficiencia energética tradicional se suelen emplear indicadores como la intensidad energética que expresan la relación entre el consumo de energía, por ejemplo, en toneladas equivalentes de petróleo (TEP) e indicadores de actividad económica

como el Producto Interno Bruto (PIB) [18]. En este sentido, Vlahinić-Dizdarević y Šegota [19] examinaron el cambio en la eficiencia energética en toda la economía en los países de la UE en el período comprendido entre 2000 y 2010 y compararon los resultados con el indicador tradicional de intensidad energética encontrando que este indicador es demasiado simplificado y podría ser engañoso. No obstante, estos autores usaron un factor de eficiencia total con la metodología DEA que les permitió sugerir mejoras para todos los países ineficientes, reduciendo algunos de los insumos y como resultado los países con mayor puntaje de eficiencia energética son Reino Unido, Suecia, Países Bajos, Luxemburgo, Francia, Alemania e Irlanda.

Por otra parte, al analizar la productividad con los índices de Malmquist se pueden emplear como variables de estudio los aspectos ambientales. En este sentido, Armundito and Kaneko [20] investigaron cambios en la productividad de las empresas manufactureras de Indonesia usando el factor de productividad total de los factores (PTF) con y sin considerar las emisiones de dióxido de carbono (CO_2). De forma que, la influencia de los factores energéticos sobre los cambios en la productividad ambiental fueron estudiados y encontraron que en promedio, TFP con las emisiones de CO_2 a lo largo del tiempo crecieron más rápido que la PTF sin emisiones de CO_2 . Los resultados sugieren que las emisiones de CO_2 como salidas no deseadas pueden considerarse al estudiar el crecimiento de la productividad del sector manufacturero como respuesta a la mitigación del cambio climático.

En cuanto al enfoque de usar como salidas variables que representen la emisión de GEI el análisis coincide con el de Yang y Pollit [21] quienes obtuvieron como resultado que la principal fuente de crecimiento del PTF en el sector estudiado proviene del cambio tecnológico, indicando que el desplazamiento de la frontera fue lo que más contribuyó al crecimiento. Además, Yang y Pollitt [21] encontraron que el cambio de la eficiencia marcado con índices muy cerca de 1 indica que no crecimiento en la productividad en la industria durante el período del informe; esto coincide con los resultados de este artículo al estudiar la productividad del uso de la biomasa como recurso energético.

Por otro lado, en el caso de la productividad del uso de energéticos derivados del petróleo Heshmati et al. [22] usaron un análisis de meta fronteras con el enfoque DEA y al comparar la productividad de plantas térmicas que usan derivados de petróleo y las térmicas que usan ciclo combinado en Corea, encontraron que el primer grupo presentó en promedio mayor productividad; por lo que las plantas de ciclo combinado presentaron mucha variación y por tanto oportunidad de mejora en el proceso productivo que las otras plantas que fueron operadas en condiciones de uniformidad de operación.

Conclusiones

En este artículo se estudió el uso de la bioenergía evaluando la productividad total de los factores en plantas eléctricas donde se utiliza bagazo de caña y derivados del petróleo para la generación de energía eléctrica en Nicaragua en centrales de generación conectadas al Sistema interconectado Nacional de Nicaragua (SIN). Para medir la productividad total de los factores de las centrales de generación de energía eléctrica empleamos el análisis de datos envolventes y los índices de Malmquist.

El uso de bagazo para generar energía eléctrica registra un decrecimiento interanual de la productividad lo que significa que existe oportunidad para la revisión de los procesos productivos para incrementar el ritmo de crecimiento; por lo que aún es necesario aumentar el conocimiento en la gestión de este recurso.

Así mismo, en cuanto al uso de derivados del petróleo se encontró que la productividad total de los factores en promedio registró desmejora en el período de estudio. Sin embargo, algunas

de las centrales eléctricas estudiadas como GECSA y TIPITAPA POWER registraron un ritmo de crecimiento interanual entre el 2.6% y 0.5% lo que implica que el uso de estos recursos está siendo gestionado con aumento de la capacidad de gestión tecnológica, mejora en la toma de decisiones, aumento del conocimiento, la experiencia y la capacitación del personal.

Además, según los resultados obtenidos no parece haber relación entre si la planta de generación es pública o privada y su productividad; aunque la evidencia no es concluyente y se necesita un análisis más detallado.

Referencias

- [1] Instituto Nicaraguense de la Energía. INE. Estadísticas de la dirección general de electricidad, 2017. [En línea]. Disponible en: http://www.ine.gob.ni/DGE/estadisticas/serieHistorica/capacidad_instalada_2006-2015_actagost16.pdf
- [2] Coelli, T. A guide to DEAP versión 2.1: a data Envelopment Analysis computer program. CEPA Working Paper 96, 2008. [En línea]. Disponible en: <http://www.uq.edu.au/economics/cepa/deap.php>
- [3] Farrel, M.J. The Measurement of productivity. *Journal of the Royal Society, A CXX, Part 3*, 253-290, 1957.
- [4] Zúniga G, Carlos A. Impacto de los Sistemas de Producción Agropecuarios en el Desarrollo Local Sostenible de Nicaragua, 1998-2005: Índice de Malmquist DEA con un Output Orientado, 2010. [En línea]. Disponible en: <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/92840/2/Analisis%20de%20productividad%20de%20sistemas%20de%20producci%C3%B3n.pdf>.
- [5] Blanco, N., y Zúniga, C. Productivity Analysis in Power Generation Plants Connected to the National Grid: A New Case of Bio Economy in Nicaragua. *Journal of Agricultural Studies*, 1(1), 81-102, 2013. Macrothink Institute. doi:10.5296/jas.v1i1.3352.
- [6] Euroelectric. Efficiency in Electricity generation. 2013. [En línea]. Disponible en: file:///C:/Users/HP_420/Downloads/EEGJulyrevisedFINAL1-2003-030-0548-2-.pdf
- [7] CEPAL. Informe Nacional de monitoreo de eficiencia energética. 2015 Disponible en: <http://www.cepal.org/es/publicaciones/38910-informe-nacional-monitoreo-la-eficiencia-energetica-nicaragua>
- [8] Chen T, Yeah T and Lee, Yi. Comparison of power plants efficiency among 73 countries. *Journal of Energy*, volume, 2013. [En línea]. [Http://dx.doi.org/10.1155/2013/916413](http://dx.doi.org/10.1155/2013/916413)
- [9] Abbott, M. The productivity and efficiency of the Australian Electricity supply industry. *Energy Economics*.28. pp. 444-454, 2005.
- [10] Allcott, H and Greenstone, M. *The Journal of Economic Perspectives*. Vol. 26, No. 1, pp. 3-28, 2012.
- [11] Rodríguez, P; Lombardi, G; Ometto, A; Zumalacárregui de Cárdenas, L; Pérez O. Potencialidades de generación de electricidad a partir de biomasa. *Scientia et Technica*, ISSN 0122-1701, Vol. 2, N.º. 45, 2010, pp. 267-271.
- [12] Forero, C; Guerrero, C y Sierra, Producción y uso de pellets de biomasa para la generación de energía térmica: una revisión a los modelos del proceso de gasificación. *ITECKNE: Innovación e Investigación en Ingeniería*, ISSN-e 2339-3483, ISSN 1692-1798, Vol. 9, N.º. 1, 2012, pp. 21-30
- [13] Del Bo, C.2013. Productivity in electricity generation: The role of firm ownership and regional institutional quality. *International Review of Applied Economics*. Vol. 27, No. 2, 237–264, 2013. [En línea]. <http://dx.doi.org/10.1080/02692171.2012.734792>
- [14] Thakur, T y Jain, S. Comparative Analysis of Total Factor Productivity Growth of Indian Public Private and State Owned Power Generating Plants: A Stochastic Frontier Approach. *USAEE Working Paper No. 14-191*, 2014. [En línea]. Disponible en: <http://ssrn.com/abstract=2537053> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2537053>
- [15] Saleem, M. Technical Efficiency in Electricity Generation Sector of Pakistan--The impact of Private and Public Ownership. Australian National University (ANU) Canberra, Australia, 2007.
- [16] Hassan, M y Hasanpour, J. Evaluating the efficiency changes of thermal power plants in Iran and examining its relation with reform Using DEA model and Malmquist index. *Third international conference of information and financial engineering. IPDER*. Vol 12. Singapore, 2011.
- [17] Fatima, S y Barik, K. Technical efficiency of thermal power generation in India: post-restructuring experience. *International Journal of Energy economics and Policy*. 2(4), 210-224. ISSN: 2146-4553, 2012.

- [18] Programa de Estudios e Investigaciones en Energía. Estudio de las relaciones entre la eficiencia energética y el desarrollo económico. Sociedad Alemana para la Cooperación, 2003. [En línea]. Disponible en: [www.prien.cl/documentos/ GTZ_Eficiencia%20y%20desarrollo.pdf](http://www.prien.cl/documentos/GTZ_Eficiencia%20y%20desarrollo.pdf)
- [19] Vlahinić-Dizdarević, N; Šegota, A. Total-factor energy efficiency in the EU countries Zb. rad. Ekon. Fak. Rij.vol. 30.pp. 247-265, 2012.
- [20] Armundito and Kaneko. Journal of Economic Structures. Vol 4, N_o6, 2015. [En línea]. DOI 10.1186/s40008-015-0018-3
- [21] Yang, H y Pollitt, M.2012. Incorporating undesirable outputs into Malmquist TFP indices with an unbalanced data panel of Chinese power plants. Applied Economics Letters.19 (3), p277-283, 2012. [En línea] DOI: 10.1080/13504851.2011.572843.
- [22] Heshmati, A; Lee, S y Hwang, W. Performance Analysis of Power Plants under Heterogeneous Technologies with Meta Frontier Framework. International Journal of Economics and Management Engineering (IJEME). Vol 2, No1, pp 5-14, 2012. www.ijeme.org. World Academic Publishing