

# Evaluación integral financiera, económica, social, ambiental y de productividad del uso de bagazo de caña y combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica en Nicaragua

Integral assessment (financial, economic, social, environmental and productivity) of using bagasse and fossil fuels in power generation in Nicaragua

Napoleón Vicente Blanco-Orozco<sup>1</sup>, Eduardo Arce-Díaz<sup>2</sup>,  
Carlos Zúñiga-Gonzáles<sup>3</sup>

---

*Fecha de recepción: 2 de diciembre del 2014*

*Fecha de aprobación: 25 de marzo del 2015*

Blanco-Orozco, N; Arce-Díaz, E; Zúñiga-Gonzáles, C. Evaluación integral financiera, económica, social, ambiental y de productividad del uso de bagazo de caña y combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica en Nicaragua . *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 4, Octubre-Diciembre. Pág 94-107.

- 1 Ingeniero Eléctrico. Máster en Gerencia de Proyectos de Desarrollo. Estudiante de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo en el Tecnológico de Costa Rica. Docente de la Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Electrotecnia y Computación, Nicaragua. Correo electrónico: blanconapoleon@yahoo.com; napoleon.blanco@usr.uni.edu.ni.
- 2 Ingeniero Mecánico. MSc. Kansas State University, E.U.A. Ingeniería Agrícola, 1988. Ph.D. Kansas State University, E.U.A. Economía Agrícola, 1995. Consultor, instructor y profesor internacional para diversas organizaciones. Correo electrónico: earced@yahoo.com.mx
- 3 Economista agrícola. M.Sc Economía Pública y del Desarrollo, 1999-2001, Universitat Barcelona, España, Ph.D Economía Agrícola y Desarrollo Local 2005-2008, American World University, E.U.A. Profesor del Departamento de Agroecología de la Facultad de Ciencias y Tecnológica UNAN León. Correo electrónico: czunigagonzales@gmail.com

## Palabras clave

Bagazo de caña; lógica difusa; evaluación integral.

## Resumen

En este artículo se presentan los resultados de una evaluación integral del uso del recurso energético bagazo de caña y derivados del petróleo para la generación de energía eléctrica en Nicaragua. Para ello se utiliza un modelo de evaluación que integra fácilmente, mediante el uso de la lógica difusa, los elementos de evaluación financiera, económica, social, ambiental y de productividad. Se determinó que el empleo del bagazo de caña es integralmente rentable y presenta más beneficios que el uso de derivados del petróleo para la generación de energía eléctrica en Nicaragua.

## Keywords

Bagasse; Fuzzy Logic; Integral evaluation.

## Abstract

This article presents an evaluation of the use of the energy resource bagasse from sugar cane and petroleum products in electricity generation in Nicaragua using an evaluation model that easily integrates, using fuzzy logic, elements of financial, social, economic, environmental and productivity assessment. It was determined that the use of bagasse to generate electricity is fully profitable, but, the use of petroleum is not fully profitable to generate electricity in Nicaragua.

## Introducción

En este artículo se realiza una evaluación integral desde los puntos de vista financiero, económico, social, de productividad y ambiental del empleo del recurso energético bagazo de caña y de los derivados del petróleo en la generación de energía eléctrica en Nicaragua.

La valoración integral se realizó con un modelo cuyo proceso de integración partió de la selección de elementos metodológicos de las evaluaciones financiera, económica, social, ambiental y de productividad de recursos energéticos renovables y no renovables para determinar los elementos que fueron integrados para valoración del recurso bagazo de caña y de los derivados del petróleo, en un modelo aplicable a las condiciones del país centroamericano. La selección de las metodologías también se sustentó en la herramienta de consultas a expertos (método DELPHI).

Este artículo está dividido en cinco partes: la introducción, que presenta el propósito del escrito, el marco teórico, que proporciona el sustento teórico del modelo de evaluación integral, la metodología de evaluación integral, los datos utilizados y los resultados obtenidos.

## Marco teórico

El propósito de esta investigación es lograr un modelo integral de evaluación del recurso energético biomasa empleado para generar energía eléctrica de forma integral. La integración de las metodologías de evaluación se sustenta en la lógica difusa. Según Cox (1997), la lógica

difusa provee de un método que permite la reducción y explicación de sistemas complejos que usan complicados modelos matemáticos y tienen como desventaja la forma en que las variables de un estudio específico son representadas y manipuladas. Por otra parte, la teoría de la lógica difusa es una herramienta distinta a la lógica clásica, porque trata de representar el grado de incertidumbre en el razonamiento y pensamiento humano para tener respuestas basadas en conceptos más coherentes. Y dada la necesidad que tiene el mundo actual de encontrar soluciones reales a problemas en los que existe la vaguedad, la lógica difusa ha sido exitosa al aplicarla a las áreas económicas, sociales, industriales y políticas, entre otras (Arango et al., 2012).

La modelación difusa permite la definición de métricas con las que se puede acceder a los factores intangibles de un sistema en análisis y trabajar con medidas heterogéneas (Osorio, 2011). Además, la selección de reglas difusas es la clave para un sistema difuso de inferencias que puede modelar de manera efectiva la experticia humana en una aplicación específica (González y Spin, 2010). Más aun, la lógica difusa está basada en reglas heurísticas con un antecedente (SI) y un consecuente (entonces), en las que el antecedente y el consecuente son también conjuntos difusos (Zadeh, 2008).

De la misma forma, la principal ventaja de la representación del conocimiento preferencial basado en la lógica difusa es la oportunidad de utilizar el lenguaje como elemento de comunicación y modelado en el análisis de la decisión, creando un modelo explícito del conocimiento (Andrade et al., 2011). Entonces, la lógica difusa combina conceptos de la lógica y teoría de los conjuntos mediante la definición de grados de pertenencia para trabajar con información de difícil especificación y emplearla objetivamente con un fin determinado (Cejas, 2011). Por otra parte, los principales componentes de la lógica difusa son el fusificador, que tiene el efecto de transformar los datos concretos de la medición en valores lingüísticos apropiados; la base de reglas difusas, que almacena el conocimiento empírico de la operación del proceso y, finalmente, el defusificador, que se usa para producir una decisión no difusa o acción de control de una acción inferida por la máquina de inferencia (Arango et al., 2012).

La lógica difusa ha evolucionado hacia lo que se llama lógica difusa compensatoria (LDC), cuyas características más importantes son la flexibilidad, la tolerancia ante la imprecisión, la capacidad para moldear problemas no lineales y su fundamento en el lenguaje de sentido común. La LDC acerca a los involucrados en la toma de decisiones con la comunidad académico-empresarial con el objetivo de crear una evaluación de alternativas de acción con una combinación de matemática y procesos cualitativos (Cejas, 2011). La LDC renuncia al cumplimiento de las propiedades clásicas de la conjunción y la disyunción expresiones lingüísticas expresadas en predicados, contraponiéndoles la idea de que el aumento o disminución del valor de verdad de la conjunción o la disyunción provocadas por el cambio del valor de verdad de uno de esta expresiones puede ser compensada con la correspondiente disminución o aumento de la otra (Espin y Vanti, 2005).

Por otra parte, según la lógica clásica, un elemento pertenece o no pertenece a un conjunto determinado; por el contrario, dado un conjunto difuso, la lógica difusa lo que hace es poner un grado de pertenencia al conjunto. Hay muchos métodos para estimar las funciones de pertenencia, entre los que se pueden mencionar el basado en la heurística para asignar valores y rangos, los que se basan en modelos matemáticos teóricos, funciones de pertenencia bajo conceptos humanos y otros fundamentados en redes neurales (Azizz, 2013).

La función de pertenencia sigmoideal se define por sus límites inferior  $a$ , superior  $b$  y el valor  $m$  o punto de inflexión, tales que  $a < m < b$  (Mallo et al., 2010). Según, Cox (1994), la función sigmoideal representa valores comprendidos entre no membresía o no pertenencia al conjunto difuso. Además, la función sigmoideal representa valores de pertenencia que se incrementan o

decrecen en forma no lineal, como lo hace una evaluación financiera y económica. Además, las funciones de pertenencia sigmoidales en el caso de funciones crecientes o decrecientes son recomendadas por los autores Dubois y Prade (1985). La función trapezoidal es apropiada para representar las valoraciones sociales resultantes de la metodología de multicriterio y la metodología de análisis de productividad total de los factores cuyos resultados tienen un comportamiento dentro de un rango definido de valores de rentabilidad (Cox, 1994).

Por otra parte, la lógica de predicados está basada en la idea de que las oraciones realmente expresan relaciones entre objetos, así como también cualidades y atributos de tales objetos. Por lo que un predicado es una función del universo  $X$  en el intervalo  $[0,1]$  y las operaciones de conjunción ( $\wedge$ ), disyunción ( $\vee$ ), negación ( $\neg$ ) e implicación ( $\rightarrow$ ), se definen de modo que al ser restringidas al dominio  $\{0,1\}$  se obtiene la lógica necesaria para el análisis en cuestión (Cejas, 2011). Según Mallo y colaboradores (2010), algunos de los operadores propuestos por la LDC son los siguientes:

La conjunción ("and"), que está dada por la media geométrica de los valores de verdad que toma el predicado de la variable analizada y que se expresa de la siguiente manera:

#### Operador AND

$$C(X_1, X_2, X_3 \dots) = \sqrt[n]{X_1 * X_2 * X_3 * \dots * X_N} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde  $X_1, X_2, X_3$  son los valores de las valoraciones financieras, económicas, sociales, ambientales y de productividad a integrarse.

La disyunción ("or"), representada por el complemento de la media geométrica de las negaciones de los valores de verdad, calculada conforme a la siguiente expresión:

#### Operador OR

$$d(X_1, X_2, X_3, \dots, X_N) = 1 - \sqrt[n]{X_1 * X_2 * X_3 \dots * X_N} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde  $X_1, X_2, X_3$  son los valores de las valoraciones financieras, económicas, sociales, ambientales y de productividad a integrarse.

Además las negaciones de los valores de verdad de cada predicado son calculadas como su complemento, de la siguiente manera:

#### Operador NOR.

$$n(X_i) = 1 - X_i \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde  $X_i$  representa los valores de las valoraciones financieras, económicas, sociales, ambientales y de productividad.

Por otro lado, la modelización de la vaguedad se logra a través de variables lingüísticas que tienen su fundamento en escalas. Usando la función sigmoideal, los valores de rentabilidad financiero, económico, social y de productividad estarían comprendidos con base en lo establecido por Cox (1994) en un rango de membresía cero o de una asignación de falso al predicado y una valoración de membresía completa o verdadera pasando por un punto de inflexión del 50% de un valor de pertenencia. También, según Cejas (2011) los rangos son operadores que modelan palabras como: muy, algo, bastante, entre otros; y modifican el valor

de verdad de una proposición intensificando, moderando y ejerciendo otros efectos. Espin y Vanti (2005), en su estudio de la administración lógica, utilizaron el paradigma de la lógica difusa para un enfoque transformacional y asociaron los rangos difusos ente (0,1). Por su parte, González y Espín (2010) establecieron que la lógica difusa es una lógica multivalente basada en el concepto de conjunto difuso en la que toda proposición toma valores de verdad en el intervalo [0 1].

Igualmente, Mallo y colaboradores (2010) evaluaron las entidades aseguradoras en Argentina, a través de un modelo difuso compensatorio asignando a cada indicador un número determinado de etiquetas lingüísticas que se traducirán en números difusos, pertenecientes al intervalo [0,1]. Estos autores emplearon escalas semánticas (alta, media y baja) para sus variables de investigación, como solvencia financiera, endeudamiento, gestión eficiente. Por su parte, Arango y colaboradores (2012), en su investigación sobre un sistema de indicadores de gestión empresarial, usaron una metodología basada en el modelo Mamdani, que a su vez se basa en indicadores difusos con rangos de evaluación alto, medio y bajo para evaluar la perspectiva financiera del cliente, de los procesos y del aprendizaje y crecimiento. De la misma forma, Osorio (2011), para la toma de decisiones sobre la evaluación de un candidato para un puesto de trabajo, utilizó la consulta a expertos y a los integrantes del equipo multidisciplinario de consulta les pidió determinar el nivel de importancia o peso de cada elemento del perfil del puesto por medio de una variable lingüística; de manera que representó cada una de las variables de selección a través de un número difuso y empleó cinco niveles de calificación que a su vez se representan por números difusos triangulares: Muy Bajo "MB", Bajo "B", Medio "M", Alto "A", Muy Alto "MA".

Al final de la evaluación de las reglas difusas en forma de predicados y preposiciones, se produce un conjunto difuso de valores asociados con el modelo de evaluación empleado. Al conjunto de valores difusos resultado de la evaluación se le deben asociar enunciados o categorías que representen la información de la evaluación final; a este proceso se le llama defusificación. La defusificación descansa en la heurística para representar fenómenos complejos y multidimensionales a través de expresiones numéricas (Cox, 1994). Para la defusificación se suele emplear la técnica centroide, a través de la cual se encuentra el punto de solución de la región difusa mediante el cálculo de la media ponderada de la región difusa o punto de balance, en otras palabras, se debe encontrar un punto o centro de gravedad de la solución.

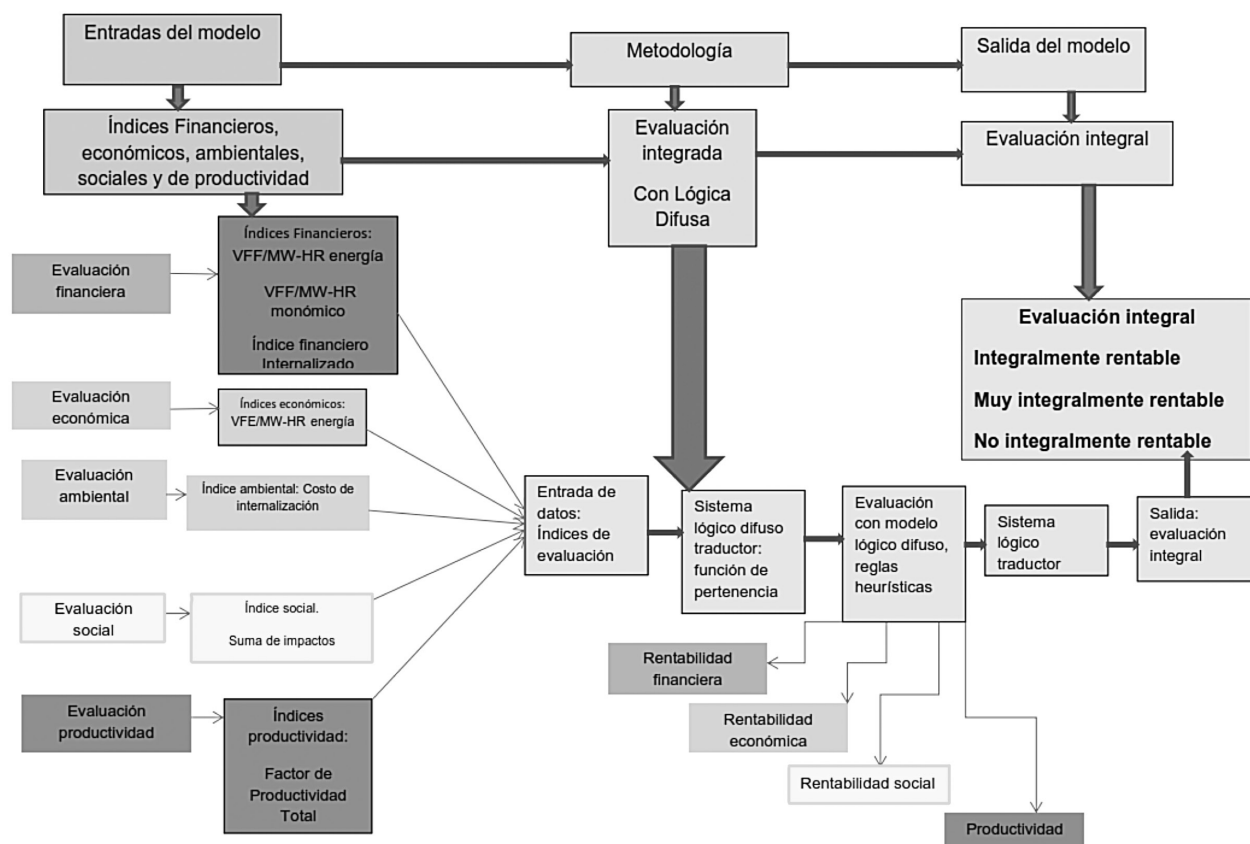
## Metodología

Para la elaboración del modelo de evaluación integral se siguió un procedimiento que se inició con la revisión bibliográfica, a partir de la cual se comprobó que no se disponía de un modelo de evaluación financiera, económica, social y ambiental de forma integral de recursos energéticos. Seguidamente, se procedió a la selección de los elementos metodológicos de cada evaluación que se adaptan para valorar recursos energéticos; la selección de las metodologías también se sustentó en consultas a expertos. Luego se aplicaron los elementos seleccionados para integrarse en estudios de casos. A continuación, los resultados de cada evaluación se expresaron en índices: financieros, económicos, sociales y de productividad que son las entradas al modelo de integración.

Finalmente, utilizando el método inductivo, que es un método científico mediante el cual se obtienen conclusiones generales a partir de premisas particulares, se logró, con base en las observaciones de las características de cada evaluación realizada en los estudios de casos, efectuar una derivación inductiva de la dificultad de integrar las metodologías y teorizar una

forma de integración usando el conocimiento matemático; esto condujo a que se integraran los índices de evaluación a través de la lógica difusa.

Para la evaluación integral del uso de bagazo en la generación de energía eléctrica de los casos de estudio de los ingenios San Antonio y Monte Rosa y del uso de combustible fósil en las plantas ALBANISA, EMPRESA ENERGÉTICA CORINTO, TIPITAPA POWER COMPANY, CENSA, GECSA Y GEOSA se empleó un modelo de evaluación que integra las evaluaciones financiera, económica, ambiental, social y de productividad sustentado en un proceso de integración basado en los principios de lógica difusa y que se muestra en la figura 1.



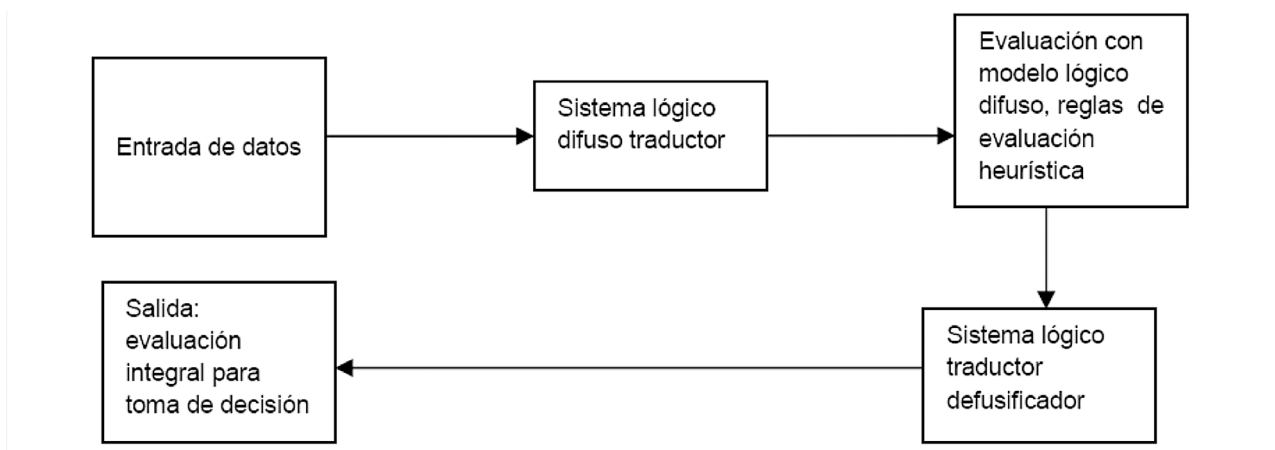
Fuente: Elaboración propia

**Figura 1.** Esquema metodológico del modelo de evaluación integral.

El modelo de evaluación tiene como entradas los resultados de las siguientes evaluaciones: financiera, económica, social, ambiental en forma de balance de gases de efecto invernadero y la de productividad, que se realiza empleando la metodología de datos envolventes (DEA) y los índices de Malmquist de la planta de generación de energía.

Las entradas de datos son procesadas utilizando una lógica de rangos basada en la lógica difusa. Luego se procesan los dictámenes de evaluación con un algoritmo basado en reglas heurísticas que vincula los criterios de decisión sobre las inversiones y la operación de plantas de generación de energía eléctrica en estudio. Como salida del proceso, se tendría una valoración integral del empleo del energético bagazo de caña de azúcar o combustible fósil.

Parte del proceso metodológico de evaluación integral contiene la definición de criterios de evaluación. Los criterios de evaluación financiero, económico, social, ambiental y productivo se sustentan en la consulta a expertos y en la revisión de la bibliografía relacionada. Siguiendo con el proceso metodológico de evaluación integral, las entradas de cada evaluación, expresadas en los índices de evaluación, son transformadas a la lógica difusa usando las funciones de pertenencia descritas en el acápite de perspectiva teórica y evaluadas con los criterios de evaluación definidos y consultados a los expertos. El valor difuso de cada evaluación es categorizado empleando lógica de rangos asociada a los valores de función de pertenencia de cada tipo. Los resultados de cada valoración financiera, económica, ambiental, social y de productividad se integran a través de reglas heurísticas.



Fuente: Elaboración propia con base en Cox, 1994.

**Figura 2.** Modelo de aplicación de la lógica difusa en la evaluación financiera, económica, social y de productividad.

Después se evaluaron las reglas heurísticas con un modelo lógico de rangos sustentado en la lógica difusa; lo que incluye la definición de funciones de pertenencia y definición de rangos de funciones de pertenencia que fueron consultadas a expertos. En la figura 2 se definieron los predicados de la lógica difusa que contienen los resultados de cada valoración financiera, económica, ambiental, social y de productividad y que se integran a las reglas heurísticas. Posteriormente, se tradujeron las reglas heurísticas a lógica difusa y se valoraron con la lógica de rangos usando los valores de verdad (lógicos) de las funciones de pertenencia.

La transformación de las entradas de cada evaluación financiera, económica, ambiental, social y de productividad expresadas en los índices de evaluación a la lógica difusa se hizo usando los valores lógicos de función de pertenencia. Los índices de cada evaluación financiera, económica, ambiental, social y de productividad se integran con la lógica difusa en un modelo de evaluación integral. Las reglas heurísticas para la evaluación son integradas usando un modelo matemático con operadores de lógica difusa. Las reglas heurísticas, criterios de evaluación, valores lógicos de rangos de funciones de pertenencia y predicados para la evaluación integral de las plantas de generación de energía empleando bagazo de caña y combustibles fósiles fueron definidas y consensuadas por un grupo de expertos consultados, quedando establecidas en la expresión que se presenta a continuación.

## Modelo de Evaluación Integral

$$EI_n(x) = P_i FIN_n(x) \wedge P_i ECON_n(x) \wedge P_i SOCIAL_n(x) \wedge P_i PRODUCT_n(x) \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde n representa el tipo de evaluación de integralidad (1 representa la condición de integralmente rentable, 2 la condición de no integralmente rentable y 3 la condición de muy integralmente rentable).

FIN = Evaluación financiera

ECON = Evaluación económica

SOCIAL = Evaluación social

PRODUCT = Evaluación productividad

^ = operador difuso AND

Pi representa el peso asignado por los expertos a cada tipo de evaluación a integrar.

La evaluación integral usando las reglas heurística y la lógica difusa produce como resultado un conjunto de valores difuso correspondiente al modelo empleado; estos valores deben ser defusificados para traducirlos a un lenguaje más comprensible para los evaluadores. Para la evaluación final se empleó un proceso de defusificación basado en un rango de valores, muy similar al proceso de asignación de pertenencia con la función sigmoideal, por lo que al final se empleó una tabla de asignación de valores de evaluación integral. La defusificación se basa en las reglas heurísticas asignadas y en un modelo de defusificación (centroide), para simplificar el proceso: se asume una escala de evaluación de rangos de rentabilidad integral con un punto central de la evaluación que es un punto de inflexión igual a 0.5 en la evaluación de la rentabilidad total.

**Cuadro 1.** Resultados de la evaluación financiera de la actividad de generación de energía eléctrica en plantas de generación que emplean bagazo de caña y derivados del petróleo.

#	Planta de generación de energía eléctrica	VFF US \$	Observación
	Ingenieros que emplean Bagazo de caña		
1	Ingenio San Antonio	\$150 440 090	Rentable financieramente
2	Ingenio Monte Rosa	\$44 786 871	Rentable financieramente
	Plantas que emplean derivados del petróleo conectadas al SIN		
1	ALBANIZA	\$10 129 820	No Rentable financieramente
2	CENSA	\$338 351 842	Rentable financieramente
3	EMPRESA ENERGÉTICA CORINTO	\$326 053 280,53	Rentable financieramente
4	TIPITAPA POWER COMPANY	\$315 514 979,29	Rentable financieramente
5	GEOSA	\$302 860 891	Rentable financieramente
6	GECSA	\$156 018 688,35	Rentable financieramente

Fuente: Elaboración propia



## Datos

Los datos de entrada al modelo de evaluación son las salidas de las evaluaciones financiera, económica, social, ambiental y de productividad. De la evaluación financiera se empleó el valor futuro financiero (VFF) que se muestra en el cuadro 1. De la evaluación económica se empleó el valor futuro económico (VFE) que se muestra en el cuadro 2. De la evaluación social se obtuvieron los impactos del empleo de bagazo de caña y derivados del petróleo: contribución del acceso a la energía eléctrica a la sociedad, precio de la energía eléctrica, impacto en las emisiones de CO<sub>2</sub> y la suma de impactos que se muestra en los cuadros 3 y 4.

**Cuadro 2.** Resultados de la evaluación económica de la actividad de generación de energía eléctrica en plantas de generación que emplean bagazo de caña y derivados del petróleo.

Resultados de la evaluación económica de la actividad de generación de energía eléctrica en plantas de generación que emplean bagazo de caña y derivados del petróleo			
#	Planta de generación de energía eléctrica	VFE	Observación
	Ingenios que emplean Bagazo de caña		
1	Ingenio San Antonio	\$211 928 609	Rentable Económicamente
2	Ingenio Monte Rosa	\$40 245 802	Rentable Económicamente
	Plantas que emplean derivados del petróleo conectadas al SIN		
1	ALBANIZA	\$76 771	No Rentable Económicamente
2	CENSA	\$120 746 055	No es Rentable Económicamente
3	EMPRESA ENERGÉTICA CORINTO	\$460 349 663	No es Rentable Económicamente
4	TIPITAPA POWER COMPANY	\$302 759 161	No es Rentable Económicamente
5	GEOSA	\$846 730 464	No es Rentable Económicamente
6	GECSA	\$139 615 915	Rentable Económicamente

Fuente: Elaboración propia

De la evaluación de productividad social se obtuvieron los promedios de ritmo de crecimiento de la productividad total de los factores de las plantas de generación de energía eléctrica que emplean bagazo de caña y combustibles fósiles y están conectadas al Sistema Nacional Interconectado (SIN), tal y como se muestran en los cuadros 5 y 6.

**Cuadro 3.** Resultados de la evaluación social de la actividad de generación de energía eléctrica en plantas de generación que emplean bagazo de caña.

Resultados de la evaluación multicriterio del uso de bagazo para la generación de Energía Eléctrica				
Ingenio	Impacto Contribución del acceso a la energía eléctrica a la sociedad	Impacto Precio de la energía eléctrica	Impacto beneficio al ambiente a través del impacto en el ahorro de emisiones de CO <sub>2</sub>	Suma de impactos
Ingenio San Antonio	0,10	0,00019	0,049	0,15
Ingenio Monte Rosa	0,17	0,00017	0,04	0,21

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.** Resultados de la evaluación social de la actividad de generación de energía eléctrica en plantas de generación que emplean derivados del petróleo.

Planta generadora de energía eléctrica	Impacto de Contribución del acceso a la energía eléctrica a la sociedad	Impacto en el precio de la energía eléctrica	Impacto en las emisiones	Suma de impactos
ALBANIZA	0,71	0,0009	-0,009	0,7
GECSA	0,38	0,0003	-0,008	0,37
CENSA	0,22	0,0005	-0,011	0,21
EMPRESA ENERGÉTICA CORINTO	0,35	0,001	-0,024	0,33
TIPITAPA POWER COMPANY	0,23	0,001	-0,018	0,22
GEOSA	0,48	0,057	-0,023	0,51

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 5.** 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 2002-2012.

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 2002-2011					
Planta de Generación	Effch	Techch	pech	Sech	Tfpch
Ingenio San Antonio	0,94	0,944	0,952	0,988	0,888
Ingenio Monte Rosa	1,168	0,944	1,123	1,039	1,103
Promedio	1,048	0,944	1,034	1,013	0,989
Effch: cambio de la eficiencia técnica, Techch: cambio tecnológico, pech: cambio en eficiencia pura, Tfpch: cambio en la productividad total de los factores.					

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 6.** Promedios de ritmo de crecimiento de la productividad total de los factores de plantas que emplean derivados del petróleo en la generación de energía eléctrica, durante el periodo 2009-2011.

Promedios de la productividad total de los factores, la eficiencia técnica y la tecnología de las centrales térmicas del SIN que emplean derivados del petróleo en la generación de energía eléctrica, durante el periodo 2009-2011					
Centrales térmicas de Generación	Effch	Techch	pech	Sech	Tfpch
ALBANIZA	1,034	0,992	1,000	1,034	1,026
GECSA	1,031	0,988	1,029	1,002	1,019
GESARSA	0,987	0,988	1,000	0,987	0,976
CENSA	0,979	0,989	0,979	1,000	0,969
EMPRESA ENERGÉTICA CORINTO	1,000	0,93	1,000	1,000	0,930
TIPITAPA POWER COMPANY	1,012	0,994	1,000	1,012	1,006
GEOSA	0,854	0,95	0,854	1,000	0,811
Promedio	0,984	0,976	0,979	1,005	0,960
Effch: cambio de la eficiencia técnica, Techch: cambio tecnológico, pech: cambio en eficiencia pura, Tfpch: cambio en la productividad total de los factores.					

Fuente: Elaboración propia

## Análisis de resultados

Los resultados de la evaluación integral corresponden a la salida del modelo de evaluación integral descrito en este artículo y se dividen en una valoración integral del uso de cada energético así como en una evaluación de cada componente; es decir, es una valoración que integra los aspectos financieros, económicos, ambientales, sociales y de productividad y cuyos resultados se resumen en los cuadros 7 y 8.

**Cuadro 7.** Evaluación integral de los ingenios San Antonio y Monte Rosa.

Evaluación	Ingenio San Antonio	Ingenio Monte Rosa
Evaluación financiera	Muy rentable	Muy rentable
Evaluación económica	Bastante rentable	Bastante rentable
Evaluación social	Bastante rentable	Muy rentable
Evaluación de productividad	No productivo	Bastante productivo
valoración integral	Integralmente rentable	Integralmente rentable

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 8.** Evaluación integral de las plantas de generación de energía que emplean derivados del petróleo.

Evaluación	ALBANISA	EMPRESA ENERGÉTICA CORINTO	TIPITAPA POWER COMPANY	CENSA	GECSA	GEOSA
Evaluación financiera	No rentable	Bastante rentable	Bastante rentable	Muy rentable	Muy rentable	No rentable
Evaluación económica	No rentable	No rentable	No rentable	No rentable	No rentable	No rentable
Evaluación social	Muy rentable	Bastante rentable	Bastante rentable	Bastante rentable	Bastante rentable	Muy rentable
Evaluación de productividad	Bastante productivo	No productivo	Bastante productivo	No productivo	Bastante productivo	No productivo
valoración integral	No integralmente rentable	No integralmente rentable	No integralmente rentable	No integralmente rentable	No integralmente rentable	No integralmente rentable

Como resultado de la evaluación integral del uso de bagazo de caña en la generación de energía eléctrica, se encontró que es una actividad muy rentable desde el punto de vista financiero, lo que significa que desde la perspectiva de la iniciativa privada de negocio esta actividad es muy atractiva. Así mismo, se obtuvo que desde el punto de vista de la evaluación económica, esto es, el costo de oportunidad de la economía nicaragüense, esta actividad es bastante rentable, lo que denota los beneficios económicos del uso de este recurso energético renovable para la sociedad en general y no para un grupo específico de ella.

Además, desde el punto de vista del impacto social del uso de bagazo en la generación de energía eléctrica, y de forma más precisa desde el impacto de la contribución del acceso a la energía eléctrica a la sociedad, impacto en precio de la energía eléctrica e impacto en las emisiones de CO<sub>2</sub> fue valorado como bastante rentable para el caso del ingenio San Antonio y muy rentable para el ingenio Monte Rosa, lo que indica que la contribución social de este último ingenio impacta en mayor beneficio a los ciudadanos. Desde el punto de vista de la productividad total de los factores de producción empleados en la generación de energía eléctrica usando bagazo de caña, el ingenio Monte Rosa presenta un ritmo promedio de

crecimiento de productividad; por el contrario, el ingenio San Antonio no muestra crecimiento en su productividad y por tanto es calificado como no productivo.

Por otra parte, la evaluación integral del empleo de derivados del petróleo en la generación de energía eléctrica detalla como no rentables todas las plantas térmicas consideradas en este estudio. No obstante, la mayoría de estas plantas son consideradas bastante rentables y muy rentables desde el punto de vista financiero, es decir, son un buen negocio, lo que confirma la disponibilidad de inversión privada en este tipo de centrales. Sin embargo, estas plantas térmicas no son rentables para la economía nacional, por lo que su empleo no justifica la disposición de recursos públicos en ellas.

Por otro lado, desde el punto de vista social, la mayoría de las plantas que emplean derivados del petróleo para generar energía fueron valoradas como bastante rentables, debido principalmente al impacto en el acceso al bien energía eléctrica que proporcionan. En el mismo sentido, en la evaluación del promedio de crecimiento de productividad total de sus factores, algunas de ellas muestran un crecimiento que las clasifica como bastante productivas, pero la mitad fueron evaluadas como no productivas, lo que significa que el empleo del recurso energético no renovable y la gestión del proceso de generación de energía eléctrica en el 50% de las plantas térmicas estudiadas es ineficiente.

## Conclusiones

El modelo de evaluación integral presentado en este artículo se sustenta empleando una lógica de rangos basado en la herramienta matemática de la lógica difusa, que logra integrar los elementos de evaluación financiera, económica, social y ambiental empleados para valorar el recurso energético renovable bagazo de caña con respecto a los recursos energéticos no renovables derivados del petróleo en la generación de energía eléctrica en Nicaragua.

Así mismo, en este artículo se detalló el proceso de construcción del modelo de evaluación integral y se explicó cuales fueron los datos de entrada y salida que se deben suministrar al modelo, así como la forma de emplearlo. Así mismo, se detalló la metodología de integración basada en la lógica difusa y la evaluación integral de salida del modelo. Cabe señalar que durante el proceso de integración de las evaluaciones en el modelo, el establecimiento de los límites o rangos de evaluación de rentabilidad financiera, económica, social y de productividad, las reglas heurísticas generales de evaluación y la modelización de la lógica difusa fueron consultados expertos usando la metodología DELPHI.

Por otra parte, como resultado de la evaluación integral del uso de bagazo de caña en la generación de energía eléctrica, se obtuvo que es integralmente rentable. Por el contrario, todas las plantas térmicas consideradas en este estudio resultan no ser integralmente rentables.

En suma, el empleo del bagazo de caña es integralmente rentable y presenta más beneficios que el uso de derivados del petróleo para la generación de energía eléctrica en Nicaragua.

## Bibliografía

Andrade, R., González, E. & Caballero, E. (2011). Un sistema lógico para el razonamiento y la toma de decisiones: la lógica difusa compensatoria basada en la media geométrica. *Revista investigación operacional*, 32(3), 230-245. Obtenido de <http://rev-inv-ope.univ-paris1.fr/files/32311/32311-04.pdf>

- Arango, M., Serna, C. & Ortega G. (2012). La gestión de indicadores empresariales con lógica difusa para la toma de decisiones. *Lámpakos*, 8, 47-53. Obtenido de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4490568>
- Aziz, R. (2013). *Studies in Fuzziness and Soft Computing*. New York: Springer ISBN 978-3-642-34894-5
- Baca, G. (2006). *Evaluación de Proyectos*. 4 ed. México: Mc Graw Hill.
- Blanco, N. & Zúniga, C. (2013). A New Case of Bio Economy in Nicaragua. *Journal of Agricultural Studies*, ISSN 2166-0379. Vol. 1, No. 1. Macrothink Institute. doi:10.5296/jas.v1i1.3352; URL:<http://dx.doi.org/10.5296/jas.v1i1.3352>
- Blank, L. & Tarquín, A. (2004). *Ingeniería económica*. 5 ed. México: Mac Graw Hill.
- Cejas, J. (2011). La lógica difusa compensatoria. *Ingeniería Industrial*, 23(2), II/No. 157-161.
- Coelli, T. (2008). A guide to DEAP versión 2.1: a data Envelopment Analysis computer program. CEPA Working Paper, 96. Obtenido de <http://www.uq.edu.au/economics/cepa/deap.php>
- Cohen, E. & Martínez, R. (2004). *Manual de formulación, evaluación y monitoreo de proyectos sociales*. Obtenido de [http://www.cepal.org/dds/noticias/paginas/8/15448/manual\\_dds\\_200408.pdf](http://www.cepal.org/dds/noticias/paginas/8/15448/manual_dds_200408.pdf)
- Cox, E. (1994). *The Fuzzy System Hand Book*. Washington: Academy Press.
- Dubois, D. & Prade, H. (1985). A review of fuzzy set aggregation connectives. *Information Sciences*, 36, 85-121.
- Espín, R. & Vanti, A. (2005). Administración lógica: un estudio de caso en una empresa de comercio exterior. *BASE. Revista de Administração e Contabilidade da Unisinos*, 2(2), 69-77.
- Farrel, M.J. (1957). The Measurement of productivity. *Journal of the Royal Society, A CXX*, 253-290. Obtenido de <http://www.lib.ctgu.edu.cn:8080/wxcd/qw/285.pdf>
- Fontaine, E. (1999). *Evaluación social de proyectos*. 12 ed. Chile: Alfa Omega.
- González, E. & Espín, R. (2010). Solución de juegos cooperativos n-personales basada en lógica difusa compensatoria. *Investigación operacional*, 31(1), 45-60.
- Mallo, P., Artola, M., Zanfrillo, M., Morettini, M., Galante, M., Pascual, M. & Busetto, A. (2010). Una propuesta de selección de entidades aseguradoras a partir de un modelo de lógica compensatoria difusa. *Cuadernos del CIMBAGE*, 12, 85-111.
- Mendoca, L., Sousa, J.M.C., Kaymak, U. & Sá da Costa, M.G. (2006). Weighting goals and constraints in fuzzy predictive control. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 17, 517-532.
- Morillas Raya, A. 2006. *Introducción al análisis de datos difusos*. Edición electrónica. Texto completo en [www.eumed.net/libros/2006b/amr/](http://www.eumed.net/libros/2006b/amr/)
- Osorio, J. (2011). QFD difuso para la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. *Prospectiva*, 9(2), 22-29.
- Rosales, R. (2001). *Evaluación de proyectos*. San José: ICAP.
- Zadeh, L. (2008). Is there a need for fuzzy logic? *Information Sciences*, 178(13), 2751-2779.
- Zimmermann, H. (2001). *Fuzzy Set Theory and Its Applications*. 4 ed. Boston: Kluwer Academic Publishers. ISBN 9780792374350.