



Evaluación ex-ante financiera, socioeconómica y ambiental de un gasificador de 300 kw para generar electricidad con residuos agrícola en León, Nicaragua

Financial, socioeconomic and environmental ex-ante evaluation of a 300 kw gasifier that generates electricity using agricultural waste in León, Nicaragua

Napoleon V. Blanco Orozco

Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Electrotecnia y Computación, Departamento de Ingeniería Eléctrica. Managua, Nicaragua
napoleon.blanco@fec.uni.edu.ni ; blanconapoleon@yahoo.com

(recibido/received: 25-agosto-2022; aceptado/accepted: 15-febrero-2023)

RESUMEN

En este artículo se evaluó un proyecto tipo de un gasificador de 300 KW a base de residuos agrícolas para generar energía eléctrica en el departamento de León de Nicaragua. Se empleó un Modelo de Evaluación Integral para la valoración del proyecto, lo que incluyó la evaluación financiera cuyo resultado indicó rentabilidad a través del valor actual neto y la tasa interna de retorno; la evaluación económica que resultó de la misma forma rentable a través del valor actual neto económico y la tasa interna económica. También, se evaluaron los beneficios socioeconómicos del proyecto y los impactos ambientales en la forma de emisión de gases de efecto invernadero. Por tanto, se determina que para los supuestos considerados en este estudio la actividad de generación de electricidad usando gasificación de residuos agrícola es rentable integralmente.

Palabras claves: Evaluación Integral, rentabilidad financiera, económica, social, impacto ambiental, gasificación, energía eléctrica.

ABSTRACT

In this article, a model project of a 300 KW gasifier that uses agricultural residues to generate electricity in the department of León, Nicaragua, was integral evaluated. An integral evaluation model was used to assess the project, which included a financial evaluation indicating profitability through the net present value and the internal rate of return; the economic evaluation through the net economic present value and the economic internal rate resulted in the same profitable. Also, the socioeconomic benefits of the project and the environmental impacts in the form of greenhouse gas emissions were evaluated. Therefore, it is determined that for the assumptions considered in this study, the electricity generation activity using agricultural waste gasification is Integrally profitable.

Keywords: integral evaluation, financial, economic, social profitability, environmental impact, gasification, electric energy.

1. INTRODUCCIÓN

Los proyectos energéticos renovables como los de generación de energía eléctrica a través de la gasificación utilizando residuos de la producción agrícola deben ser actividades económicas que resulten rentables tanto financieramente como en los ámbitos económicos, ambiental y en lo social. Desde el punto de vista financiero, cada agente o posible inversionista tiene sus propias expectativas frente a un proyecto al considerar los beneficios como el conjunto de bienes o servicios que deberá producir el proyecto y por medio del cual, obtendrá la satisfacción de sus intereses particulares como los ingresos por ventas de los que derivará un lucro financiero.

Por lo tanto, el balance financiero, igual a beneficios menos costos, es el resultado de una medición a precios de mercado de rentabilidad. Así, el análisis financiero de un proyecto determina la utilidad o beneficio monetario que percibe la institución que opera el proyecto; la valoración de las utilidades se efectúa a “precios de mercado”, considerando entre otros, impuestos y subsidios. Por otro lado, los costos del proyecto están representados por lo que efectivamente se tiene que desembolsar para preparar, ejecutar y operar el proyecto.

En este caso de estudio, se analizó la rentabilidad de un pequeño sistema de generación utilizando un gasificador con un generador de energía eléctrica con salida de 300 KW a ubicarse en León, departamento de Nicaragua y lo que esperamos del análisis financiero es demostrar la sostenibilidad del proyecto, garantizar que se cubrirán los costos de operación y mantenimiento y otros costos especiales para reposición de ciertos dispositivos de la red eléctrica. No obstante, con este tipo de proyectos la sociedad espera que las inversiones maximicen su aporte al nivel de bienestar: produciendo bienes y servicios destinados al consumo y la producción.

Es importante destacar que, la evaluación financiera y la económica presentan sus diferencias, el análisis financiero de un proyecto determina la utilidad o beneficio monetario que percibe la institución que opera el proyecto, en cambio el análisis económico mide el efecto que ejerce el proyecto en la sociedad. Así en las evaluaciones se emplean diferentes conceptos que se reflejan en las diferentes partidas consideradas como costos y beneficios, así como en su valoración. En lo que respecta a la valoración financiera, las instituciones privadas efectúan sus mediciones a “precios de mercado”, considerando entre otros, impuestos y subsidios. Por otro lado, para la evaluación económica-social deberán establecerse precios que sean los adecuados para expresar lo que le cuesta a la sociedad (precios de eficiencia, precios sombra) los recursos asignados a un proyecto. Así, los precios de eficiencia o precios sombra reflejan la verdadera escasez para la sociedad de los bienes y servicios o su costo de oportunidad. Como es bien sabido, el objetivo de toda sociedad es aumentar su bienestar; para ello la sociedad espera que las inversiones maximicen su aporte al nivel de bienestar y por tanto la evaluación económica-social de proyectos debe incorporar este propósito a su metodología de análisis.

2. METODOLOGÍA

Datos del caso de estudio

Para el caso de estudio se considera un proyecto tipo de gasificación de residuos agrícolas principalmente de rastrojo de maíz y maní para una capacidad nominal de generación de salida de 300 KW, trifásico 60 Hz, ubicado en el municipio de León en Nicaragua.

Para el análisis financiero tenemos los siguientes supuestos:

- La vida económica del proyecto se considera de 15 años dado que, para este tipo de inversiones del subsector eléctrico está tipificado que el horizonte de vida económica es igual a la vida útil del principal equipos que sería el conjunto gasificador - generador que por especificaciones de los fabricantes la vida útil promedio es de 15 años.
- Tasa activa ponderada promedio en dólares, la que utilizaremos para el análisis con financiamiento de la inversión, del año 2021 que es del 10 % según informe del Banco Central de Nicaragua.
- Método de depreciación para los activos fijos y para la amortización de intangibles fue el método de la línea recta la cual está permitida por las leyes fiscales nicaraguenses.
- La tasa de retorno mínima atractiva (TREMA) para el análisis financiero fue del 11 % que resulta de considerar el costo de oportunidad más la inflación promedio internacional para la moneda extranjera del dólar más un premio al riesgo (Baca, 1995).
- El precio de la energía a vender se calculó en base al precio establecido según banda establecida en normativa y ley específica para las energías renovables en Nicaragua cuyo precio máximo es de siete centavos de dólar por kilowatt hora y se estableció aquí en 0.06 US\$/KW-HR.

Por otro lado, en el caso del costo de operación y mantenimiento se ha decidido trabajar con precios constantes. Y se consideró en el análisis financiero el escenario de financiamiento de Proyecto del 70% de la inversión.

Para el análisis financiero tenemos las siguientes Inversiones del proyecto : la inversión fija del proyecto asciende a US\$ 139,400 y se desglosa en la tabla 1.

Tabla 1. Costos de Inversion

#	Rubro	Costo en dólares americanos
1	Gasificador 300 KW	86,400
1	Generador de 300 KW , trifasico, 12/240VAC	36,000
2	Obras electromecánicas	2,000
3	Obras civiles para edificio de planta de generación y oficina administrativa	10,000
4	Equipos de oficina administrativa	5,000
	Total exonerado de Impuestos	139,400

Para el análisis financiero tenemos las siguientes costos:

- Costos de administración, operación y mantenimiento: dos operadores operadores de la planta (US\$600 mensual) y personal administrativo (US\$1000 mensual) más servicios básicos (US\$400 mensual) para un costo administrativo anual de US \$ 24000 y un mantenimiento correctivo ,a los 5 y 10 años de US \$2,000.
- Costo de la biomasa que incluye recolección y traslado a la planta de US\$ 20/ton (Natarianto et al. 2020) y para el cálculo de consumo se utilizó lo indagado por (Pérez et al.,2009;Lesme-jaen Et al.,2016); por lo que, se asume un consumo de 230 kg/hr (8 horas de operación diaria, 1.7 ton al día), con un factor de planta del 75% sería 255 días de operación para un costo total anual de US\$ 8670.
- El capital de trabajo se entendiende como la cantidad de recursos necesarios para financiar los costos de operación desde que inician los desembolsos hasta que se recuperan: US\$ 2,000.
- Inversión diferida: La inversión diferida totaliza una cantidad de US 6,291 e incluye los siguientes rubros: costo de concesión de licencia de generación de US\$ 2,291; gastos legales para la constitución de la empresa US\$ 1,500 y estudios de prefactibilidad el proyecto US\$2,500.

Por lo tanto los costos totales del proyecto son

- Inversión activos fijos: US\$ 98,400
- Inversión diferida: US\$ 6,291
- Administración, operación y mantenimiento: US\$ 1,500
- Capital de trabajo: US\$ 2,000

Para el análisis financiero los ingresos son conceptualizados como los obtenidos a través de la venta de energía sustentado en los costos de administración, mantenimiento, operación para un ingreso de 0.06 US\$/kW-hr que está dentro de la banda de precios que establece la normativa nicaragüense para las energías renovables que comparable al costo promedio de compras de energía del mercado eléctrico nica periodo 2011-2021. Además, se considera un factor de carga del 0.75 para el total de horas (8,760) de operación anual.

Para el análisis económico y social del proyecto tipo de generación de energía eléctrica mediante la gasificación de residuos agrícola en León se considerarán los siguientes supuestos:

- Se consideran la misma vida económica del acápite financiero de 15 años.
- Se consideran los mismos rubros de inversión.
- En el ingreso se parte del precio de venta para de la energía que se establece aquí en 0.06 US\$/kw-hr.
- Mano de obra no calificada que de acuerdo al enfoque de desequilibrio parcial, el precio social de la mano de obra no calificada (PSMONC) se considera como el precio mínimo por el cual los trabajadores no calificados estarían dispuestos a emplearse. El factor de ajuste para evaluación social (FCMONC) relaciona el precio social mínimo de umbral fijado por el Sistema Nacional de Inversiones Publicas de Nicaragua (SNIP) con el salario mínimo promedio (SMP). FCMONC = PS/SMP. Para Nicaragua el FCMONC =0.7
- Mano de obra calificada. El precio social de los servicios de mano de obra calificada (PSMOC) es medido por el salario promedio efectivamente recibido por dicha mano de obra. Es decir, que el factor de ajuste para este concepto es igual a uno. FCMOC =1
- Tasa social de descuento es de 8 % según el Sistema Nacional Inversiones Publicas de Nicaragua al 2020 (Sistema Nacional de Inversión Pública-SNIP, 2021).
- Precio social de la divisa el factor es de 1.015 según fuente oficiales(SNIP,2021).
- Los bienes transables consideramos que el precio obtenido en el proyecto es el precio CIF y por tanto no es necesario corregirlo.

- Los bienes no transables el precio social se utiliza el factor de corrección FCS (0.933).
- A las inversiones del proyecto maquinaria, equipo y materiales importados se le deduce los impuestos de introducción y se ajusta por el precio económico de la divisa, según el porcentaje de componente importado que tiene el rubro. La inversión económica sería el costo social de la inversión fija que es igual a su precio CIF y el resto de rubros sin impuesto.
- El costo de administración, operación y mantenimiento igual que en caso financiero: dos operadores operadores de la planta (US\$600 mensual) y personal administrativo (US\$1000 mensual) más servicios básicos (US\$400 mensual) para un costo administrativo anual de US \$ 24000 y un mantenimiento correctivo ,a los 5 y 10 años de US \$2,000. Todos estos precios son corregidos con el factor respectivo.
- El capital de trabajo se considera similar al caso financiero de US\$ 2,000 corregido con el precio social.

La evaluación financiera del proyecto tipo planta de gasificación en León, Nicaragua se hizo utilizando la herramienta metodológica del flujo financiero el cual incluye un análisis de rentabilidad del proyecto para evaluar la capacidad para afrontar los compromisos asumidos para su financiamiento y para remunerar al capital propio aportado por la empresa o agencia ejecutora. En la evaluación financiera, se analizan los flujos de beneficios y costos y el resultado del análisis da una medida de rendimiento del capital aportado al proyecto y así se puede ponderar la capacidad del proyecto para cubrir con sus ingresos monetarios, los costos en los cuales se incurrirán. Así mismo, la evaluación financiera de un proyecto de inversión intenta esencialmente cuantificar la rentabilidad del capital propio el cual es complementado externamente por los fondos previstos por los créditos de proveedores. A tal fin, el análisis se basa en los flujos de fondos (positivos y negativos), en nuestro caso se considera el escenario de financiamiento del 70 % de la inversión.

Como criterios de evaluación se emplean los índice valor actual neto (VAN) que consiste en encontrar la diferencia entre el valor actualizado de los flujos de ingresos o beneficios y el valor de las inversiones y otros egresos y la tasa de descuento que se utilizó en este análisis fue la Tasa de retorno mínima atractiva (TREMA) (ver supuestos). Además, se emplea la tasa interna de retorno que es la tasa de descuento que hace que el valor actual de los flujos de beneficios (positivos) sea igual al valor actual de los flujos de inversión (negativos) ;es decir, es la tasa de interés que reduce a cero el valor presente, de una serie de ingresos y egresos del proyecto. Adicionalmente, como parte de la evaluación financiera se realiza un análisis de sensibilidad bidimensional para evaluar el impacto de dos variables: precio de la energía y costos de operación (aumento del 1% anual) en la rentabilidad del proyecto usando la función excel de análisis de hipótesis con la introducción de una tabla de datos.

Para el caso del análisis económico, se transformó el flujo financiero en flujo económico y para ello fue necesario aplicar los factores de conversión de precios financieros a precios económicos que se expusieron anteriormente en los supuestos y para ello, fue necesario subdividirlo en rubros de inversión, costos de operaciones y beneficios. En el caso de, la maquinaria, equipo y materiales importados se le dedjeron los impuestos de introducción y se ajustó por el precio económico de la divisa, según el porcentaje de componente importado que tiene el rubro. Para los rubros no transables (ejemplo: cemento, mano de obra, etc.) se calculó su costo económico aplicando el factor de corrección.

Para el análisis económico social se examinaron los beneficios cuantificables directos e indirectos del proyecto de la gasificación con un enfoque de comparación de la situación con proyecto con respecto a la situación sin proyecto. En este análisis, se exploró el impacto distributivo para determinar quien recibe los beneficios del proyecto y quien paga los costos, es decir un análisis de generadores y receptores de los fondos del proyecto. También, se estudiaron los impactos en el empleo en las diferentes etapas del proyecto como son en la ejecución y operación o puesta en marcha del sistema de gasificación; así mismo, se calculó el valor agregado del proyecto es decir su impacto en la economía del país.

Para la evaluación ambiental y de forma específica el impacto ambiental del uso de residuos agrícolas se estimó en base a indicadores incluidos como parte de las metodología y directriz preparada por el Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático – IPCC, sobre los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Se consideró la conversión de energía a través de la gasificación considerandolo como un proceso cuya entrada esta constituida por la biomasa residual que se introduce al equipo junto con un aporte de calor y agente gasificante para producir un gas de síntesis que luego es usado en la generación de energía eléctrica. La aplicación de los indicadores se efectuo siguiendo la siguiente ecuacion:

$$\text{Emisiones de GEI} = \text{Datos de Actividad (DA)} * \text{Factores de Emisión (FE)}$$

Para la evaluación integral se empleó el Modelo de Evaluación Integral del recurso energético renovable biomasa como combustible sólido proveniente del bagazo de caña para la generación de energía eléctrica en Nicaragua (Blanco. 2015). En el modelo de evaluación integral, los índices de cada evaluación financiera (VAN), económica (VANE), ambiental se integran con la lógica difusa en un modelo de evaluación integral. Las reglas heurísticas para la evaluación son integradas usando un modelo matemático que conceptualiza en la figura numero uno con operadores de lógica difusa; obteniéndose como salida, la integración a través de las componentes de evaluación financiera, económica, ambiental, lográndose como salida una categorización de rentabilidad para el proyecto en estudio.

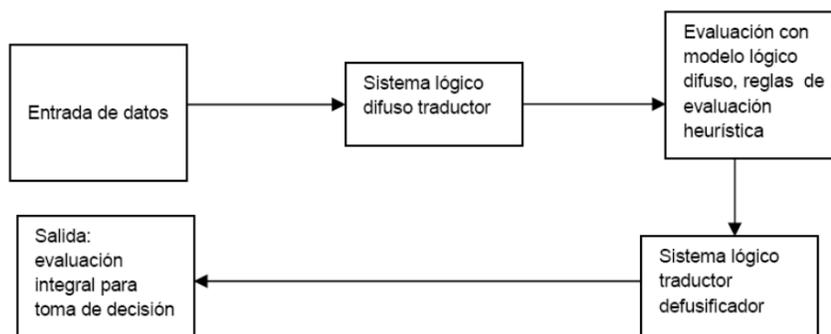


Figura 1. Modelo de integración a través de la aplicación de lógica difusa en la evaluación financiera, económica, social y de productividad. Fuente: Blanco, 2015

3. RESULTADOS

La rentabilidad del proyecto de gasificación se obtuvo del índice de valor actual neto (VAN) que resultó ser: VAN = \$22,610; este valor indica que se considera aceptable la inversión en este tipo de proyectos bajo los supuestos de cálculo asumidos. Además, la tasa interna de retorno (TIR) resultó ser del 14 %, mayor a la tasa mínima de retorno atractiva (TREMA) del 11 % asumida; lo que indica que, el proyecto presenta un índice financiero aceptable de rentabilidad y debería ser aceptado para la inversión.

No obstante, para someter la rentabilidad del proyecto ante variaciones de variables fundamentales de operación se realizó un análisis de sensibilidad bidimensional evaluándose el efecto de disminución del precio de venta de la energía generada en uno por ciento y a la vez, considerar un aumento de los costos de operación anual en 1%; se obtuvo como resultado que, con un aumento del 8% de los costos de operaciones anuales del proyecto y con el precio de venta de la energía de sesenta centavos el kilovatio el proyecto dejaría de ser rentable financieramente. Por tanto, esto demuestra que este tipo de proyectos es sensible al

aumento de costos de operación mas que al precio de venta de energía en el mercado eléctrico, aunque de los resultados obtenidos se tiene que el precio crítico aun se mantendría dentro de la banda de precios establecidos para los plantas de energía renovables en Nicaragua.

Por otro lado, del estudio económico se obtuvo que el índice de valor Actual Economico (VANE) resultó ser $VANE = 244,628$, que es un valor que hace que la inversión desde el punto de vista económico se considera aceptable. Además, la tasa interna de retorno económica (TIRE) resultó de 32 % mayor a la tasa social de descuento que para Nicaragua es del 8%, lo que también indica que, el proyecto debe ser aceptado puesto que genera beneficios económicos suficientes para justificar la inversión.

Del análisis social, resultan identificados beneficios indirectos que se traducen en un aumento de expectativas de desarrollo para la población circundante al proyecto en su conjunto por la posibilidad de obras de desarrollo comunal que suelen acompañar a los proyectos como el mantenimiento de caminos de acceso a los proyectos por parte de las alcaldías. Adicionalmente, en lo respectivo al impacto distributivo los beneficios del proyecto los recibe toda la sociedad dado que con estos proyectos de energías renovables se fomenta el uso de combustibles amigables con el medio ambiente y que en el futuro representan una independencia energética nacional y para el mercado eléctrico nicaraguense representa la posibilidad de obtener precios de energías sin las variaciones o perturbaciones en los precios que genera el uso de derivados de petróleo.

Por otro lado, el proyecto de gasificación tiene un impacto positivo en el empleo; en la etapa de ejecución se generará empleo directo, aproximadamente de doce puestos de trabajo y en la etapa de operación la generación de cuatro empleos permanentes. Además, el valor agregado del proyecto que resulta de la suma de los salarios anuales pagados en el proyecto, el pago de intereses por el capital invertido y los ingresos brutos anuales del proyectos resultan en una suma de US \$ 83,061.

Por otra parte la evaluación ambiental obtenida la aplicación de indicadores de emisión de GEI; las emisiones asociadas a la gasificación del combustible biomásico fueron computadas a través de un factor de emisión declarado por el IPCC (2019) para el gas pobre de salida del gasificador se muestra en la tabla numero uno con el detalle de los contaminantes en toneladas.

Tabla 2. Emisión de contaminantes debido a la gasificación de el gasificador de 0.3MW en León.

Contaminante	Factor de emision	Emision anual en toneladas
CO ₂	55,000 kg CO ₂ /TJ	0.389
CH ₄	6.1 kg CH ₄ /TJ	0.043

La evaluación integral realizada con el Modelo de Evaluación Integral (Blanco, 2015) muestra que el proyecto de gasificación es bastante rentable financieramente, bastante rentable economicamente, rentable socialmente, y con un impacto ambiental muy bajo y por tanto, integralmente rentable; lo que significa que, si consideramos de manera holística todas las evaluaciones, este tipo de proyecto donde se emplea recursos biomásicos, resulta rentables desde diferentes tipos de evaluación tanto privada como lo es el aspecto financiero, como rentable para la economía nacional, la sociedad y de un impacto menor en el medio ambiente.

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio indican que es posible la utilización de residuos agrícolas para la generación de energía eléctrica de manera rentable integralmente, lo que incluye rentabilidad financiera. En este sentido, (Balderrama et al. 2011) estudiaron la rentabilidad financiera de la gasificación de residuos de aserios en México en sistemas de gasificación de 100, 200, 400 y 800 KW encontrando que el equipo de mayor capacidad fue el que presentó rentabilidad para una TREMA del 10%, es decir, un efecto de economía de escala; además, que resulta positivo para el análisis de factibilidad considerar los beneficios económicos adicionales como la venta de bonos de carbono por el empleo de biomasa. Por lo que, los resultados anteriores derivan en la posibilidad del uso de biomasa residual para la generación de energía eléctrica de forma rentable financieramente bajo ciertas circunstancias como la capacidad instalada, beneficios extras como los bonos de carbono, subsidios a la inversión, la disminución de los costos de inversión y operación en empleo de recursos energéticos con un precio mínimo de combustible primario renovable.

Asi mismo, examinando la utilización rentable de la biomasa en pequeña escala se hace necesario considerar horizontes de planeamiento lo suficientemente extensos; como ejemplo, la Alianza en Energia y Medio Ambiente (AEA) publicó en el año 2008 (AEA,2008) una propuesta de un proyecto de instalación de un sistema de gasificación con una capacidad de 40 kW utilizando la biomasa de residuos agrícolas y agroindustriales para la generación de energía eléctrica como proyecto piloto en una cooperativa cafetalera de Costa Rica y al analizar la rentabilidad financiera en un periodo de cinco años se encontró que de no contar con apoyo en la inversion se necesitaría un horizonte de planeamiento mayor para ser rentable; no obstante, presentan como resultado de la evaluación financiera un valor presente positivo y una tasa interna de retorno mayor que la tasa de evaluación del flujo financiero.

Por otro lado, el precio de la energía es determinante en la rentabilidad financiera de los proyectos energéticos. En este sentido, (Lesme et al.,2020) en su estudio del uso de tuza de maíz para la generación de energía eléctrica a través de un gasificador de 40 KW encontraron que es rentable la generación de electricidad a un costo nivelado de 0,23 US\$/kWh y con un período de recuperacion de 5.5 años. De forma similar, Jaramillo y Arias (2017) al realizar la evaluación económica del uso de cascarilla de arroz para producir energía como combustible usando la simulación con una tasa de interes del 17 % y 12 años de horizonte de planeamiento determinaron que su costo de producción fue de 0.957 dólares por kilogramo de combustible con un margen de ganancia del 34 % lo que consideraron rentable. Y en (Vega y Herrera, 2018) al hacer la evaluación del potencial energético de la madera residual urbana del Distrito Capital de Colombia encontraron factible la generación de energía eléctrica usando un gasificador de 20 KW dado que como resultado del análisis económico encontraron que los costos de generación con residuos de poda estuvieron en el rango de \$0,10 - \$0,20/kWh por debajo de los costos con diesel en el rango \$0,35 - \$0,70/kWh y gasolina en el rango de \$0,50 - \$1,00/kWh.

De la misma forma, la rentabilidad del empleo de biomasa en procesos de gasificación con fines energéticos esta siendo cada vez más posible. En esta vía, (Olmos y Rodriguez, 2014) evaluaron la rentabilidad generación de energía eléctrica a través de la producción de syngas en plantas ente el rango de 60–1640 kW mediante gasificación utilizando residuos sólidos. Los autores Olmos y Rodriguez (2014) para la valoración financiera utilizaron el Valor Presente Neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR) en un horizonte de planeamiento de 15 años; determinando que, los costos de producción del gas y la inversión disminuyen con el aumento de capacidad de la planta y que el VPN se afecta por la economía de escala. De la misma forma, en (Fernandez et al. 2015) hicieron un análisis de factibilidad de gasificación de biomasa proveniente de caña de azúcar en un ingenio Cubano de un sistema de 32.6 MW con un horizonte de planeamiento de 10 años con un costo variable de 57.63 US\$/Mw-hr y un costo de generación de 94.80 US\$/Mw-hr; obteniendo como resultado que considerando 150 y 200 días de generación se obtiene un Valor actual Neto (VAN) positivo y TIR de 22% y 29 % respectivamente superior la tasa de actualización del 12%, por lo que, resulta financieramente rentable la inversión en este tipo de proyecto y además, encontraron que si los montos de inversión se incrementan los índices financieros empeoran.

Así mismo, las aplicaciones de gasificación en la generación de energía eléctrica se amplían en diferentes aplicaciones como ejemplo tenemos a Zhang et al. (2015) quienes estudiaron la factibilidad de plantas de Ciclo Integrado Combinado de Gasificación (IGCC) junto a tecnología de reactor de membrana que permiten la integración estructural de una unidad de gasificación con una planta estándar de ciclo combinado con costos de inversión de 2,505 \$/kW muy similares a los de plantas avanzadas de carbón pulverizado (PC) 2010 \$/Kw, para lo cual emplearon la evaluación financiera a través del VPN y análisis de sensibilidad con horizonte de planeamiento de 40 años con una tasa de descuento del 9%.

De igual manera, los autores (Indrawan et al., 2020) realizaron una evaluación económica de la electrificación rural a través de la gasificación de biomasa y residuos municipales utilizando un gasificador de corriente descendente de 60 kW, desarrollado en la Universidad Estatal de Oklahoma y al hacer el análisis financiero encontraron que el sistema de generación de energía de gasificación de corriente descendente ofrece un período de recuperación de 7,7 años, una tasa interna de rendimiento de 10,9%, y un valor presente neto de \$ 84,550. Por tanto, el sistema resulta rentable financieramente; además, los autores hicieron análisis de sensibilidad considerando el efecto en el valor actual neto y por tanto de la rentabilidad del proyecto considerando el efecto del costo de la materia prima (biomasa), precio de venta de electricidad, tarifa, costo laboral y potencia de salida encontrando que el precio de venta de energía y la energía de salida tuvieron más efecto, este enfoque coincide con el de este artículo en el cual se desarrolló un análisis del efecto del aumento de costos de operación y del precio de venta de la energía en la rentabilidad financiera.

4. CONCLUSIONES

La evaluación del empleo de biomasa en la forma de residuos agrícola para la generación de energía eléctrica debe ser integral y por tanto se debería considerar no solo la rentabilidad financiera, sino también la rentabilidad económica, social y su productividad. En este artículo, se realizó una evaluación integral utilizando un Modelo de Evaluación Integral a un pequeño sistema de generación utilizando un gasificador con un generador de salida de 300 Kw encontrando que es rentable integralmente.

El proyecto resultó rentable financieramente con un VAN = \$22,610 y con una TIR del 43 % mayor a la TREMA considerada. Además, el proyecto resultó rentable económicamente con un VANE positivo y una TIRE de 32 % mayor a la tasa social de descuento del 8%.

Además, se identificaron y cuantificaron los beneficios sociales que generaría el proyecto en su fase de operación. En el análisis ambiental se consideró la contaminación en forma de gases de efecto invernadero que este tipo de proyecto genera. Finalmente, el Modelo de Evaluación Integral utilizando la lógica difusa logra considerar de manera holística todos los indicadores de las evaluaciones financiera, económica,

ambiental, social y se determina que para los supuestos considerados en el proyecto la actividad de generación de electricidad usando gasificación de residuos agrícola es rentable integralmente.

REFERENCIAS

Alianza en Energía y Medio Ambiente (AEA). (2008). *Diseño y construcción de un gasificador para la gasificación de la biomasa producida en el beneficio Coopedora R.L. con el objetivo de generar electricidad para los requerimientos energéticos de la empresa*. Obtenido desde: https://www.sica.int/busqueda/busqueda_archivo.aspx?Archivo=dpro_86580_1_30052014.pdf

Balderrama-Castañeda, S; Luján-Álvarez C; K. Lewis, D; Ortega-Gutiérrez, J; De Jong, B y Nájera-Ruiz, T. (2011). Factibilidad de generación de electricidad mediante gasificación de residuos de aserradero en el norte de México. *Madera y Bosques*, 17(2), 67-84.

Blanco, N. (2015). Modelo de evaluación integral del recurso energético renovable biomasa como combustible sólido proveniente del bagazo de caña para la generación de energía eléctrica en Nicaragua. Tesis Doctoral. Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.

Baca Urbina, G. (1995). *Evaluación de proyectos*. 3a ed. México, McGraw Hill. ISBN:9701007468.

Banco Central de Nicaragua (BCN). (2021). *Inflación Acumulada*. Obtenido desde: <https://www.bcn.gob.ni/graficos/inflacion.php>

Fernández, A; Del Olmo, O; Hernández, B. (2015). Estudio de factibilidad económica de un proyecto de generación eléctrica, a partir de la gasificación de bagazo en un central azucarero cubano. *Centro Azúcar*, Vol. 42, p1-8. 8p. obtenido desde: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=13&sid=26a1f70f-e220-4378-80be-6a36ae7238c8%40pdc-v-sessmgr03>

Indrawan, N; Simkins, B; Kumar, A; Huhnke, R. (2020). Economics of Distributed Power Generation via Gasification of Biomass and Municipal Solid Waste. *Energies* (19961073), Vol. 13 Issue 14, p3703. DOI: 10.3390/en13143703. Obtenido desde: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=33&sid=26a1f70f-e220-4378-80be-6a36ae7238c8%40pdc-v-sessmgr03>

Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. (2019). *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Recuperado de: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol2.html>

Jaramillo, J y Arias, A. (2017). Evaluación tecnológica, económica y medioambiental de la gasificación de la cascarilla de arroz en un contexto de biorefinería para producir energía indirecta como combustible de jet. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, Vol. 8 Issue 2, p61-70. 10p. DOI: 10.22490/21456453.2031. Obtenido desde: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=26a1f70f-e220-4378-80be-6a36ae7238c8%40pdc-v-sessmgr03>

Lesme, R; Martillo, J; Oliva, L. (2020). Estudio de la gasificación de la tusa del maíz para la generación de electricidad. *Ingeniería Mecánica*, Vol. 23 Issue 3, p1-9. 9p.

Lesme-Jaén, R; Dr. Garcia-Faure, L; Oliva-Ruiz, L; Pajarín-Rodríguez, J y Revilla-Suarez, D. (2016). Gasificación de biomasa para la generación de electricidad con motores de combustión interna. Eficiencia del proceso. *Tecnología Química*. Vol. 36 Issue 2, p161-172. 12p. Obtenido

desde:<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=5&sid=26a1f70f-e220-4378-80be-6a36ae7238c8%40pdc-v-sessmgr03>

Natarianto, I; Simkins, B; Kumar, A; Huhnke, R. (2020). Economics of Distributed Power Generation via Gasification of Biomass and Municipal Solid Waste. *Energies* (19961073). Vol. 13(14), p3703. 1p.

Olmos, L; y Rodríguez, E. (2014). Evaluación técnica y económica de tecnologías de generación de potencia a partir de gas de síntesis obtenido de la gasificación de biosólidos. *Producción Más Limpia*, Vol. 9 Issue 1, p31-43. 13p. Obtenido desde: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&sid=26a1f70f-e220-4378-80be-6a36ae7238c8%40pdc-v-sessmgr03>

Pérez, J; Díaz, O; Obando, R; Molina, A. (2009). Diseño conceptual de un gasificador de biomasa de lecho fijo en equicorriente a escala piloto. *Tecno Lógicas*, núm. 22, pp. 121-140.

Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP). (2021). *Metodología general para la preparación y evaluación de proyectos de Inversión Pública*. Obtenido desde: <http://www.snip.gob.ni/Docs/metodologias/MetodologiaGeneral.pdf>

Vega, L y Herrera, A. (2018). Evaluación del potencial energético de la madera residual urbana mediante gasificación. *Informador Técnico*, Vol. 82 Issue 1, p26-40. 15p. DOI: 10.23850/22565035.888. obtenido desde:<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=26a1f70f-e220-4378-80be-6a36ae7238c8%40pdc-v-sessmgr03>

Zhang, J; Cardin, M; Kazantzis, N; Simon K; Ma, Y. H. (2015). Economic Evaluation of Flexibility in the Design of IGCC Plants with Integrated Membrane Reactor Modules. *Systems Engineering*, Vol. 18 Issue 2, p208-227. 20p. DOI: 10.1002/sys.21300. Obtenido desde:<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=31&sid=26a1f70f-e220-4378-80be-6a36ae7238c8%40pdc-v-sessmgr03>

SEMBLANZA DE LOS AUTORES



Napoleon V. Blanco Orozco: Doctor en Ciencias del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). Máster en Gestión de Proyectos en la UNI, Ingeniero eléctrico UNI. Es profesor de la Universidad Nacional de Ingeniería en el área de metodología de la investigación, máquinas eléctricas y la Formulación y evaluación de proyectos, Jefe del departamento y coordinador del grupo de investigación de ingeniería eléctrica en la UNI en la Facultad de Electrotecnia y Computación.