



ISSN 2340-5457
Volumen IX, Nº 2 (Octubre 2017)
<http://www.unex.es/eweb/monfragueresilente>

UTILIZACIÓN ECO-EFICIENTE DE RESIDUOS AGRÍCOLAS EN LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICA EN COSTA RICA

ECO-EFFICIENT USE OF AGRICULTURAL WASTES OF CLIMATE
CHANGE MITIGATION IN COSTA RICA

Dr. Sergio Alavez-López¹
Dr. Ricardo O. Russo²

Revista Científica Monfragüe Resiliente. <http://www.unex.es/eweb/monfragueresilente>

Editada en Cáceres, Dpto. Arte y Ciencias del Territorio de la Universidad de Extremadura.
Elaborada conjuntamente con las Universidades de Lisboa y la Autónoma de México

¹ Sección Regional Huetar Norte y Caribe, Universidad Nacional, Campus Sarapiquí, Heredia, Costa Rica

² Estación Experimental Alfredo Vólio Mata, Universidad de Costa Rica

RESUMEN

Costa Rica y otros países de Latinoamérica han iniciado acciones para buscar fuentes alternas de energía accesible y renovable. El aprovechamiento de la biomasa de residuos agrícolas en diferentes agroecosistemas, es una alternativa, que a su vez es útil para mitigar el cambio climático. Esta investigación pretende contestar las siguientes preguntas: 1) ¿Se puede transformar, el rastrojo de la piña después de la cosecha, en biomasa para co-generar energía eléctrica renovable alterna y utilizable?; 2) ¿Sirve esta biomasa derivada del rastrojo de piña, como fuente sostenible de biocombustibles renovables?; y 3) ¿Es posible generar una estrategia bio-energética, sustentable y resiliente de mitigación socio-ambiental, al cambio climático con el manejo de estos residuos agrícolas? La utilización de biodigestores para la producción y uso de biogás, en la cogeneración de electricidad, haría factible el uso ecoeficiente del rastrojo agrícola triturado del cultivo de piña (*Ananas comosus*), y minimizaría el impacto ambiental negativo de dicho cultivo. Se propone analizar y evaluar un modelo energético ecoeficiente, a partir de agroecosistemas de producción sustentables desde la óptica de una economía baja en carbono. Dentro de los aspectos de importancia tecnológica se tratan los posibles usos del biogás, así como el aprovechamiento del producto resultante de la biodigestión como abono orgánico.

Palabras clave: ecoeficiencia, biodigestores, residuos agrícolas.

ABSTRACT

Costa Rica and other Latin American countries have initiated actions to search alternative sources of accessible and renewable energy. The use of biomass of agricultural residues in different agroecosystems is an alternative, which in turn is useful to mitigate climate change. This research aims to answer the following questions: 1) Can the pineapple stubble after harvest be transformed into biomass to co-generate alternative and usable renewable electric energy? 2) Does this biomass derived from pineapple stubble serve as a sustainable source of renewable biofuels? And 3) Is it possible to generate a bio-energy strategy, sustainable and resilient socio-

environmental mitigation, to climate change with the management of these agricultural residues? The use of biodigesters for the production and use of biogas, in cogeneration of electricity, would make feasible the eco-efficient use of shredded agricultural stubble of the pineapple crop (*Ananas comosus*), and would minimize the negative environmental impact of this crop. It is proposed to analyze and evaluate an eco-efficient energy model, based on sustainable agroecosystems from the perspective of a low carbon economy. Among the aspects of technological importance are the possible uses of biogas, as well as the use of the product resulting from biodigestion as an organic fertilizer.

Key words: ecoefficiency, biodigestors, agricultural residues.

1. INTRODUCCIÓN

La era del petróleo barato, accesible y de fácil extracción, está por terminarse en nuestro continente, países como Costa Rica, con otros 17 países de Latinoamérica han iniciado acciones conjuntas para buscar otras fuentes alternas de energía accesible y renovable, a través de la Bioeconomía, como la red REBICAMCLI (CYTED, 2014). Por otro lado, hay estudios que se han llevado a cabo también en Costa Rica, para ver las posibilidades de aprovechamiento de la biomasa en residuos agrícolas orgánicos en diferentes sistemas de producción agrícolas y para mitigar el cambio climático (Arce, et ál., 2014; Arias et ál.; 2011; Flores, 2014).

Otras instituciones se han abocado a estudiar la oferta y la demanda de electricidad a partir de la generación de fuentes de energía renovable, proveniente de fuentes alternas como la fotovoltaica, geotérmica y solar, entre otras (INCAE, 2013). Sin embargo, el problema de la producción de biomasa en nuestro país no es ni fácil ni simple, si bien es cierto que los residuos de biomasa agrícola orgánicos (BAO), son cuantiosos no sólo en el procesamiento industrial de la piña, sino en la mayoría de los otros cultivos como país productor agrícola. Tampoco se ha resuelto el problema de la basura en la GAM, de hecho solo el 38% de lo que se considera basura lo es, y simplemente ni siquiera se clasifica, reutiliza o recicla como es lo usual en todo país

civilizado (Villalobos et ál., 2011). Una de las preguntas, que trata de responder el presente trabajo de investigación es: 1) Se puede transformar, el rastrojo de la piña después de la cosecha, en biomasa para co-generar bioenergía eléctrica renovable alterna y utilizable? 2) Qué tan viable es esta biomasa derivada del rastrojo de piña, como fuente sostenible de biocombustibles renovables? 3) Será posible generar con éste tipo de manejo, una estrategia bío-energética, sustentable y resiliente de mitigación socio-ambiental, al cambio climático?

2. ASPECTOS CONCEPTUALES

2.1. LA BIOMASA

La biomasa es por definición “Todo material de origen biológico excluyendo aquéllos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización”, según la especificación técnica Europea CEN/TS (IDEA, 2007). Se puede producir biogás, bioetanol y bio-fertilizantes a partir de los desechos del café y este tipo de biodigestor anaeróbico, se ha comenzado poner en práctica en lugares como Mercala, Honduras (COMSA, 2010), en el programa regional de mejoramiento al medio ambiente para Centroamérica (PREMACA, 2011). El Sector más interesado en la combustión de biomasa después de los ingenios azucareros, es el de los beneficios de café ya que se busca nuevas maneras de aprovechar la broza, pero por otro lado, el interés en el aprovechamiento de la biomasa para producción de biogás va decayendo debido a la competencia con los programas de ahorro de agua y uso de fertirrigación (Arias, 2011). Sin embargo, en Costa Rica la biomasa del cultivo de piña y sus residuos agrícolas orgánicos (RAO), también pueden utilizarse para la generación de biogás en mayores proporciones, ya que una finca que cosecha 15 has por semana, puede estar manejando unas 3.600 toneladas/mes en biomasa RAO de piña, lo que podría tener un potencial de generación eléctrica de 2.6 MWh/mes por lo menos (Alavez & Russo, 2012).

2.2. TIPOS DE BIOMASA

La biomasa se presenta en diferentes estados físicos que determinan la factibilidad técnica y económica de los procesos de conversión en energía, que se pueden utilizar en cada caso en particular. Los desechos forestales observan procesos de combustión directa o termoquímicos, sin embargo, los desechos animales siguen procesos anaeróbicos o bioquímicos (Ramírez, 2004). Así que se presentan dos tipos de biomasa disponible: La biomasa de rastrojo orgánico (RAO) con contenidos de humedad muy altos de hasta el 77%; y la biomasa de rastrojo agrícola triturado (RAT), que dependiendo del grado de trituración puede contener menos del 15% de humedad peso seco.

2.3. DEGRADACIÓN ENZIMÁTICA DE LA BIOMASA

La biomasa posee algunos compuestos cuya persistencia es muy grande en el medio ambiente, debido a su lenta biodegradación. Esto se debe a causas químicas, físicas y celulares. La pared celular de las plantas define la naturaleza recalcitrante de la biomasa, aun cuando la celulosa está disponible, su misma estructura cristalina dificulta la penetración de microorganismos y enzimas para su consumo de glucosa básicamente en la biomasa forestal (Flores, 2014). Sin embargo, la biomasa de piña contiene menos cadenas de compuestos celulósicos y es más fácil su digestión enzimática en biodigestores anaeróbicos.

2.4. EL BIOGÁS

2.4.1. LA COGENERACIÓN

Se dice que la cogeneración es la producción combinada de calor y electricidad. La co-generación es entendida como la producción combinada de calor útil y con valor económico justificable y energía eléctrica rentable. Se denomina cogenerador a la empresa que genera energía térmica útil y energía eléctrica-mecánica mediante cogeneración, para su uso/venta, en Costa Rica el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) tiene en proyecto el proceso “cogeneración distribuida” de electricidad a nivel nacional. La energía térmica útil es la producida en un proceso de

cogeneración para satisfacer, las demandas pico económicamente rentables de electricidad para calor o refrigeración y que sería satisfecha en condiciones de mercado mediante otros procesos energéticos, de no recurrirse a la cogeneración distribuida (IDEA, 2007).

En general en Costa Rica, no está muy difundida la utilización del biogás para aprovechar su potencial térmico, ni su utilización en la cogeneración de energía eléctrica en las empresas piñeras, ni en hogares costarricenses, se usa etanol más comúnmente sobre todo en ingenios. Sin embargo, según la FAO se producen en Costa Rica de 2.1 a 2.2 millones de toneladas métricas de piña al año, lo que significa una considerable cantidad de RAO, que no es valorizado actualmente, pero que de utilizarse en sistemas eco-eficientes para producir biogás (MTH) por combustión, de la biomasa agrícola, se podría ahorrar de 800 hasta 1066 kg CO₂Eq en reducción de gas efecto invernadero por año y de 33.3 hasta 34.1 GJ de energía por hectárea (Delivand et ál., 2015; 2016).

2.5. CONVERSIÓN DE BIOMASA A BIOGÁS

2.5.1. DIGESTIÓN ANAEROBIA

El rendimiento de un biodigestor anaeróbico, está ligado principalmente, a la estructura de la comunidad microbiana presente en el mismo. La producción de metano tiene un límite que depende también de la naturaleza de la materia dispuesta en el sistema del digestor (Rivas et ál., 2010). La digestión del RAO, es marcada por la presencia de bacterias que se reproducen en ausencia de oxígeno, que consumen glucosa en un pH no ácido y que descomponen las cadenas celulósicas de la biomasa. En el caso de la digestión aeróbica, es un proceso llevado a cabo en presencia de oxígeno y a muy altas temperaturas (unos 800 Celsius), para que se pueda llevar a cabo la combustión y gasificación del RAT.

2.6. PARÁMETROS DE DIGESTORES ANAEROBIOS

Macro y micronutrientes son necesarios para la función óptima y crecimiento de microorganismos, pero en cantidades excesivas ralentizan el crecimiento y pueden

causar inhibición o toxicidad grave. Durante la digestión anaeróbica, se utiliza el carbono 25 veces más rápido que el nitrógeno, por lo que para cumplir con los requerimientos de las bacterias anaeróbicas éste debe estar disponible, en una relación de 100:4 de C/N, para sustratos celulósicos en equilibrio (Flores, 2014).

3. ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE METANO DE UN SUSTRATO

3.1. ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA

El sustrato ideal para la digestión anaerobia en los biodigestores, son desechos orgánicos húmedos de origen agrícola, industrial, doméstico y municipal. Así como las excretas de origen animal y humano, residuos de la industria alimentaria y de las actividades agrícolas son excelentes para la digestión anaeróbica, porque no contienen contaminantes ni metales pesados (Rivas et ál., 2010).

3.2. POTENCIAL BIOQUÍMICO DEL METANO

Es la digestibilidad anaerobia del sustrato, el tratamiento para los datos recolectados es distinto cuando no se considera una tasa de mayor producción de metano, sino el conjunto de las mediciones rescatadas durante la incubación del sustrato a través de un modelo cinético. El modelo cinético asume la tasa de crecimiento de una colonia de bacterias afectada por un sustrato limitante. La tasa de crecimiento bacteriana es proporcional a la formación del metano (Flores, 2014).

4. USO DE MODELOS ECOEFICIENTES SOCIO-AMBIENTALES

4.1. MODELOS UTILIZADOS

Economistas ecológicos como René Passet, Herman Daly y Joan Martínez Allier, citados por Leff (2005), han hablado sobre las limitaciones del mercado para regular

efectivamente los equilibrios ecológicos y su incapacidad para internalizar los costos ambientales a través de un sistema de normas legales, de impuestos, o de un mercado de permisos transables para la reducción de emisiones. La economía debe constreñirse a los límites de la expansión que asegure la reproducción de las condiciones ecológicas de una producción sustentable y de regeneración del capital natural, en un principio precautorio basado en el cálculo del riesgo y la incertidumbre y en límites impuestos a través de un debate científico-político. El modelo más usado actualmente es el de la Curva Ambiental de Kuznets (1963). La estimación de ésta curva ambiental para Costa Rica, permitiría saber en cual posición está el país en relación al deterioro ambiental (Agua, suelo, biodiversidad) y en cuanto a emisiones de carbono en relación a su PIB/cápita y a las posibles medidas a tomar.

4.2. SU UTILIZACIÓN E IMPLICACIONES

Ecodesarrollo en un contexto de desarrollo sostenible, si es posible, según economistas como Robert Sollow, William Cline y John Warwick, en el muy deseable camino del desarrollo Noruego (Leff, 2005). Lo relevante aquí, es mantener el valor del inventario natural y no depender físicamente de industrias extractivas, como la del oro y el petróleo. Ese nuevo camino implicaría, que si se renuncia a la extracción de oro y petróleo, debe promoverse la utilización responsable, e inteligente, de fuentes renovables y otras alternativas de generación de riqueza. En Costa Rica y con ciertos “ajustes verdes e inteligentes” el plan nacional de generación eléctrica, podría exportar unos \$400 millones anuales en electricidad y en chips de INTEL, con “Marca nacional y con el Símbolo de C-Neutralidad” (Castro Salazar, 2012).

Se puede agregar valor a los mismos productos, si se hacen más verdes y con Responsabilidad Social Empresarial (RSE). En Coopedota, con su café *gourmet*, que ahora es C-neutral, y Proagroin en la zona norte, se comercializa piña orgánica en un canal de “fair trade” a \$12 por caja “versus” \$6 de la piña tradicional. La rentabilidad por diferenciación de productos, debe ser la estrategia, puesto que los volúmenes exportables del país no pueden competir a escala con los gigantes Brasil, Estados Unidos, Australia y Alemania. El camino hacia al desarrollo, es utilizar el modelo de economía extractiva, austera y responsable de Noruega, pero con imposición de retos

difíciles, quizá inalcanzables. La teoría plantea que, hay otra ruta autóctona, el “eco-desarrollo”, pero ningún otro país ha intentado llevar esto de la teoría a la práctica, porque impone severas limitaciones a la industria extractiva. Ambas son opciones viables pero excluyentes, que podría convertirnos en un país más próspero, verde y solidario, con diferentes velocidades de crecimiento e impacto en recursos naturales (Castro Salazar, 2006).

La ley de la entropía, mencionada por Georgescu-Roedgen (Georgescu, 1973), como una ley del límite de crecimiento económico, apenas aparece como la negatividad, negada por la teoría y las políticas económicas, sobre su vínculo con la naturaleza. La economía basada en la ley de la entropía, ha abierto las compuertas de una ecología política donde el debate científico, se desplaza hacia el campo político; la cuestión de la sustentabilidad se inscribe en las luchas sociales contra la globalización y por la re-apropiación de la naturaleza, desplazando el discurso y la acción al campo de la racionalidad ambiental (Leff, 2005).

4.2.1. Importancia del uso de un modelo de biomasa

La literatura revisada en la presente investigación, muestra que los trabajos de importancia en éste tipo de estudios en biomasa, son escasos y que la investigación radica más que nada en la parte de producción industrial del biogás, que en la parte agrícola de biomasa para producción de biogás o metano (MTH). Sólo en Costa Rica se producen miles de toneladas de biomasa por mes, de diversos y variados cultivos como: Arroz, caña azúcar, café, cacao, banano y piña. Un ejemplo de ello, es que para exportar un sólo contenedor de piña de primera, se desechan o se producen cerca de tres contenedores de piña de segunda, aproximadamente. Un estudio realizado por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), determina que se puede obtener una producción de biogás de 25,7 litros de metano (MTH), por cada kilogramo de rastrojo de piña fresco (171,3 ml CH₄/gr SV) es decir, se estima una generación de 25,7 M³ de biogás por cada tonelada métrica (TM) de rastrojo fresco (RAO), con una concentración de metano del 52% (Arce et ál., 2014). Aunque la producción de biomasa fresca en el país es considerable; sin embargo, no se está aprovechando de una manera conveniente como fuente alternativa de energía renovable. Además, no

se ha percibido hasta ahora, el potencial de la biomasa residual de la piña, como un modelo de negocio ambientalmente eco-eficiente.

La Eco-eficiencia se define, como la estrategia de planificación de un sistema sustentable donde se produce más, pero con igual o menos materia prima, haciendo un uso óptimo de la escasa energía disponible y propiciando un impacto socio-económico-ambiental positivo, en la comunidad y la sociedad en general (WBCSD, 1992). En el concepto se integran cada uno de los eslabones que hacen parte de la cadena del producto: desde la concepción de las materias primas hasta el consumo del bien o servicio. A lo largo de su ciclo de vida debe procurarse por una reducción progresiva del impacto ambiental, coherente con la capacidad de asimilación de los recursos, y con la capacidad de asimilación del planeta. Este concepto es aplicable a toda organización, en cualquier etapa y área (Rizo & Rodríguez, 1995). El concepto está dado por la relación: creación de valor añadido y daños ambientales, que se describen en la ecuación:

$$\text{Ecoeficiencia: } \frac{\text{Creación de valor añadido}}{\text{Daños ambientales}}$$

La dificultad radica en la determinación de las dos variables de la ecuación, pues no es fácil establecer con claridad los daños ambientales generados por un producto y la determinación del valor añadido del mismo. Para ello se han establecido diferentes indicadores de medición que permiten la generación de un número para cada variable y de esta manera hallar el valor de la eco-eficiencia de un producto/servicio en una organización. En la mayoría de los países en vías de desarrollo como Costa Rica, las importaciones de hidrocarburos han representado 14.26 % como promedio en el periodo comprendido entre los años 1990-2012, dentro de las importaciones de países Centroamericanos (Torijano, 2013); estos países son vulnerables a impactos socio-económicos, derivados del aumento de precio del petróleo (CEPAL, 2009).

Ocurre que en general a nivel nacional, no se realizan evaluaciones integrales de eco-eficiencia, para las decisiones de inversión en proyectos de generación de energía eléctrica nacional, empleando recursos renovables, ni en inversiones ni costos de generación de energía eléctrica renovable. Se basan más bien, en costos financieros

no en costos bio-económicos de modelos ecoeficientes sustentables (CEPAL, 2009; 2013; Kozulj, 2010; Delacámara, 2007; Gomelsky, 2003; Moreno, 2013).

Según Coelli (2008), la eficiencia de una unidad de producción puede dividirse en dos componentes: la eficiencia técnica de entrada, que refleja la habilidad de la unidad de producción para obtener la máxima salida dado una cantidad de entrada dada y la eco-eficiencia 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. La función frontera representa la mejor unidad de producción en ejecución, que a su vez, es reflejo de la tecnología que se está implementando en ella y representa la tecnología de mejor práctica, sirviendo ésta, para comparar la eco-eficiencia de las demás unidades de producción dentro del sector de análisis.

4.2.2. Evaluación ambiental del empleo de biomasa

En las naciones en vías de desarrollo aún se depende en gran medida del petróleo para satisfacer la demanda creciente de energía eléctrica, lo que obliga a aumentar la capacidad instalada de generación y origina un problema de emisión de contaminantes y huella de carbono producida por la quema de éstos combustibles. La generación de electricidad a partir de combustibles fósiles provoca impactos tanto en la salud de las personas como para el medio ambiente ya que producto de la combustión de combustibles fósiles se emiten contaminantes como el dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO₂), bióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC), partículas suspendidas polvo, metales pesados y compuestos orgánicos (CONNUE, 2009; Laguna, 2007; Estrucplan, 2012; Rabl, 2006).

Por consiguiente, la degradación del ambiente circundante a plantas de generación de energía aumentará, si se continúa empleando combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica (Bandyopadhyay, 2010). De manera que, el empleo de fuentes de energía alterna, que eviten el empleo de combustibles fósiles, es la única solución factible ante los problemas ambientales que se generan con esta práctica (Gámez et ál., 2008). En este sentido, los sistemas de cogeneración

distribuida, pueden ahorrar consumo de combustibles fósiles y por tanto emisiones de CO₂ (Hedman & Hampson., 2011).

En lo que respecta al impacto ambiental del empleo de la biomasa procedente de la caña de azúcar en la generación de energía eléctrica, (Reyes, 2003) refiere que en los cañaverales se almacena, alrededor del equivalente a una tonelada de petróleo, por cada tonelada de azúcar que puede producirse, y que la producción energética de la caña, es 20 veces mayor que la energía que se utiliza para producirla, cosecharla y trasladarla hasta el ingenio. Reyes (2003), destaca que la combustión de la biomasa, posee una ventaja ambiental al no incrementar la concentración atmosférica de carbono, porque solo retorna a la atmósfera el carbono que fijó la caña de azúcar durante su crecimiento. Por lo tanto, la combustión de biomasa puede ser excluida de los inventarios de gases de efecto invernadero ya que el carbono emitido se deriva de biomasa que ha secuestrado previamente CO₂, en la fotosíntesis (Jawjit et ál, 2006); Grillo et ál, 2011).

Por otra parte, el estudio del balance de gases de efecto invernadero especialmente de la emisión de CO₂ equivalente, se realiza a través de un proceso metodológico que incluye la medición, o inventario de las emisiones directas, del proceso productivo; así como, el registro de las emisiones indirectas debidas al consumo de energía eléctrica y de las actividades contratadas a terceros y disposición final de residuos sólidos y se procede al paso de reducir las emisiones implementando cambios para usar eficientemente la energía (Thiele, 2010). Desde el punto de vista del concepto carbono neutralidad, el balance ó equilibrio en la ecuación energética debe darse, con acciones concretas de neutralización.

5. NEUTRALIZACIÓN DE EMISIONES

Emisiones - Reducción - Remoción = Neutralidad

Donde:

- Emisiones, son todas las emanaciones de gases de efecto invernadero (GEI)

- Reducciones, son todas las acciones para reducir las emisiones de GEI.
- Remociones, son las acciones para capturar los GEI atmosférico, como la reforestación o el uso del carbono acumulado en la biomasa forestal.
- Neutralidad, es el resultado de lograr el equilibrio natural en la ecuación GEI.

Fuente: ISO 14065: 2013; (IMN, 2015)

5.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA-FINANCIERA EN PROYECTOS ENERGÉTICOS

La evaluación económica implica la comparación de beneficios, costos de inversores, y la evaluación del impacto en el bienestar social y en el desarrollo económico de un país. El proceso de evaluación económica, consiste en modificar y complementar el flujo financiero para transformarlo en un flujo económico, efectuar ajustes en los precios de mercado, eliminar distorsiones de transferencias e incorporar los precios sociales y evaluar el flujo económico con la tasa social de descuento (Sapag & Sapag, 2000). Así que, la evaluación económica determina la conveniencia de la inversión del sector público y privado en beneficio de toda la comunidad y no solo en beneficio de una renta privada (Rosales, 2001).

5.2. EVALUACIÓN SOCIAL DE PROYECTOS ENERGÉTICOS

Por otro lado, la evaluación de impactos sociales de proyectos suele realizarse mediante un proceso de investigación diagnóstico-evaluativa, combinando aspectos descriptivos y evaluativos; utilizando métodos cualitativos como entrevistas directas a los actores expertos relacionados (Sáenz, 2009). Por su parte Scopetta (2006), plantea la evaluación basada en indicadores de evaluación de impacto como una forma alternativa de evaluación social. De manera que, existen varios instrumentos de valoración de impactos sociales y entre ellos están la relación beneficio costo, el análisis costo eficiencia y la metodología de análisis de multicriterio. La relación beneficio - costo es una metodología en la cual se compara el valor actual de los beneficios de un proyecto con el valor actual de los costos incluyendo la inversión Sapag (2001); Baca (2003). En este mismo sentido, el análisis beneficio- costo exige que todos los costos y beneficios sean actualizados con una tasa de descuento

determinada (Blank & Tarquín, 2004). Sin embargo, según Meixueiro y Pérez (2008), el análisis costo beneficio se realiza para proyectos cuyos costos y beneficios se pueden cuantificar y valorar, así mismo lo expresa (Cohen & Martínez, 2004), al afirmar que en el caso de los proyectos sociales, los beneficios difícilmente pueden expresarse en moneda, por lo que la utilización del análisis costo/beneficio queda severamente limitada.

No obstante, (Meixueiro & Pérez, 2008) proponen el método de costo – eficiencia para proyectos en los que los beneficios no sean cuantificables o de difícil cuantificación. El análisis costo-eficiencia consiste en determinar respecto a un conjunto de alternativas, cuál es la de menor costo y el indicador utilizado para este tipo de análisis es el Costo Anual Equivalente (CAE), pero, el método de costo – eficiencia tiene como desventaja el hecho de que las alternativas de proyecto bajo estudio deben generar exactamente el mismo beneficio y además tienen la debilidad de suponer que las alternativas son rentables por definición, por lo que, se puede seleccionar un proyecto que no sea rentable financieramente. Además, tanto el método de costo - beneficio y el de costo- eficiencia requieren de que la vida humana y la calidad de vida sean evaluadas en unidades monetarias, lo que no es una tarea ética, y peor aún, es difícil de asignar valores monetarios (Loza et ál., 2011).

De forma alterna, el (BM, 2003) propone que el impacto social puede estimarse considerando el efecto en el empleo, en los precios (producción, consumo y salarios), en el acceso a bienes y servicios, en los activos, y en las transferencias e impuestos de las inversiones de proyectos o programas. De forma que, podemos medir el impacto social de la producción de energía en base a bagazo de caña, en comparación al empleo de combustibles fósiles, analizando el impacto o contribución en el acceso al servicio de energía eléctrica, a la electrificación y el impacto en los precios de la energía eléctrica. De manera tal que, para la evaluación social se propone aplicar el análisis multicriterio. Según (Cohen & Martínez, 2004), el análisis multicriterio es un índice sumatorio ponderado que permite priorizar los proyectos utilizando un conjunto de criterios complementarios (Índice Multicriterio). En el mismo sentido, (Pacheco, 2008) plantean que la evaluación multicriterio posibilita operar con varios criterios a la vez, identificando la importancia relativa de cada uno y de esa forma evaluar diferentes

alternativas de proyectos, lo que coincide con el planteamiento de (Rodríguez, 2000) quien expresa que para la toma de decisiones se deben considerar diferentes criterios.

6. CONSIDERACIONES FINALES

Aunque este proyecto aún no se ha materializado, existe en Costa Rica una experiencia considerable en el uso de biodigestores; principalmente para el tratamiento de desechos de la ganadería. Inclusive, se ha organizado una **Asociación Costarricense de Biogás (ASOBIOGÁS)** y existe una **Red de Biodigestores para América Latina y el Caribe (RedBioLac)**, apoyada por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA); que recientemente organizó el VIII Encuentro de la Red de Biodigestores para América Latina y el Caribe (RedBioLac) en San José, Costa Rica, y en el cual participaron más de 100 personas.

Algunos ejemplos

En la Estación Experimental Alfredo Volio Mata, de la Universidad de Costa Rica, ubicada en Ochomogo, Cartago, Costa Rica; se instaló un biodigestor rígido de 22 m³ de capacidad, para el tratamiento de las excretas vacunas provenientes de la lechería.

En un caso de emprendedurismo, un grupo de ingenieros jóvenes fundaron en el año 2010 una empresa denominada **Viogaz**, que ha ganado el Premio Nacional “**Yo Emprendedor 2014**” en la Categoría de Energías Limpias, y que ha instalado unos **200 biodigestores** pequeños en fincas de agricultores y establecimientos industriales de Costa Rica, Guatemala, Honduras y Nigeria.

En la Universidad EARTH, en Guápiles, provincia de Limón, existen varios biodigestores; uno de éstos, denominado Rumen II, tiene un volumen de 52 m³ y se utiliza para complementar el gas utilizado en las cocinas donde se preparan más de 1.200 platos diarios de comida. Esto ha permitido un ahorro de hasta 150 galones de gas por mes.

La empresa Porcina Americana, ubicada en Coris de Cartago, Costa Rica, cuenta con uno de los biodigestores instalados más grandes del país, que con las excretas de 25 mil cerdos genera el 100% de la energía eléctrica que consume. **Con este proyecto la empresa no solamente resolvió sus problemas sanitarios por las excretas, sino también el energético, utilizando como fuente generadora la descomposición de las excretas.**

Recientemente, la **Universidad de Costa Rica (UCR)** y la **Universidad Estatal de Michigan (MSU)** desarrollaron un **proyecto conjunto de producción de electricidad a base de desechos orgánicos por medio de una planta biodigestora**, en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit (EEAFB), en Alajuela, Costa Rica, que ofrece una opción viable para suplir las necesidades de desarrollo de energías limpias, extensiva a los países de la región centroamericana.

También, como parte del **Programa de Transferencia de la Estación Experimental "Fabio Baudrit Moreno"** de la Universidad de Costa Rica (UCR), se elaboró un **plan piloto para el uso de biodigestores en zonas indígenas**. Esto con el propósito de que se puedan aprovechar los desechos animales para la generación de gas y **desarrollar una alternativa al uso de leña** dentro de las casas, debido a que el humo causa enfermedades respiratorias en estos grupos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alavez, S., & Russo, R. (2012). Curso de Ecoeficiencia Ambiental y Empresarial en la Escuela de Ingeniería Ambiental TEC. Cartago, Costa Rica: PECIA TEC.

Arce, A., Hernández, C., & Amador, R. (2014). Determinación de la Cantidad y Composición de Biogás a partir de Rastrojo de la Piña (*Ananas comosus*) por medio de un sistema continuo a escala laboratorio. San José, Costa Rica: ICE Programa Biogas.

Arias C., R. (2011). Observatorio de Energía Renovable para América Latina y el Caribe: Desarrollo de un portafolio de proyectos de energías renovables en pequeña escala. Informe1. San José, Costa Rica: ONUDI.

Baca, G. (2003). Ingeniería de la Económica. 1a Edición. México: Mac Graw Hill. doi: ISBN 970-10-4016-3

Baca, G. (2005). Evaluación de Proyectos. 3a Edición. México, DF. México, DF: Mc Graw Hill. doi:ISBN 970-10-30001-X

Baca, G. (2009). Evaluación de Proyectos. 5a Edición. México, DF. México, DF: Mc Graw Hill. doi:ISBN 978-970-10-5687-50341_20041105110130/Rendered/PDF/304050SPANISH01ers0Guide01may020031.pdf

BM (Banco Mundial). (2003). Guía del usuario para el análisis del impacto social y en la pobreza. Washington DC, USA: The International Bank for Reconstruction and Development/ The World Bank. Obtenido de <http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2004/11/05/00009>

Bandyopadhyay, A. (2010). Dispersion modeling in assessing air quality of industrial projects under Indian regulatory regime. *Energy and environment*, 1(1), 97-112. Obtenido de <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=8&sid=7ed89b84-e396-4762-bac3-d31b5840e34f%40sessionmgr112&hid=126>

Blank, L., & Tarquín, A. (2004). Ingeniería económica. 5ta edición. México: Mac Graw Hill. doi:ISBN 970-10-3948-3

Castro Salazar, R. (2006). Pago de Servicios Ambientales para la Conservación de Recursos Naturales Renovables. Cambridge, Mass, USA: Tesis Doctorado Harvard University.

Castro Salazar, R. (2012). Conferencia sobre Ecodesarrollo en Costa Rica. Cartago, Costa Rica: PECIA-TEC.

CEPAL, (2003). Energía y desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe. Guía para la formulación de políticas energéticas. CEPAL/LC/G.2214-P. Obtenido de <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/8/15138/lcg2214e.pdf>

CEPAL, (2009). Istmo centroamericano: las fuentes renovables de energía y el cumplimiento de la estrategia 2020. México, DF.: CEPAL, LC/MEX/L.953. Obtenido de <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/6/38216/l953.pdf>

CEPAL, (2009). La crisis de los precios del petróleo y su impacto en los países centroamericanos. México, DF.: Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Obtenido de <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/8/36328/L908.pdf>

CEPAL, (2013). Análisis del mercado eléctrico regional de Centroamérica y acciones para impulsar proyectos de generación regional. México, DF.: Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Obtenido de <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/3/49273/Analisismercadoelectricoregional.pdf>

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. Santiago de Chile: CEPAL. Obtenido de http://www.eclac.org/search/?q=Manual+de+formulacion%2Cevaluacion+y+monitoreo+de+proyectos+sociales&btnG=Buscar+en+la+CEPAL&client=UN_Website_English&site=un_org-ECLAC&output=xml_no_dtd&lr=lang_es&base=%2Ftpl%2Ftop-bottom.xslt&idioma=ES&ie=UTF-8&sort=date

COMSA, (2010). Producción de Bioetanol, biogas y biofertilizantes a partir de los desechos de los beneficiados del café en Marcala. Tegucigalpa, Honduras: FIDE FUNDER SNV.

CONNUE, (2009). Metodologías para la cuantificación de gases de efecto invernadero y consumos energéticos evitados por el aprovechamiento sustentable de la energía. México, DF.: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de Energía de México. Obtenido de http://www.conuee.gob.mx/work/files/metod_gei_cons_evit.pdf

CYTED, (2014). Estado del Arte de la Bioeconomía y el Cambio Climático en Latinoamérica. Linares, Nuevo León, México: REBICAMCLI.

Delacámara, Z. &. (2007). Análisis económico de los costos externos ambientales de la generación de energía eléctrica. Santiago de Chile.: CEPAL, LC/W.115. Obtenido de <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/5/28645/lcw115e.pdf>

Delivand, M., Bars, M., Dinkler, K., Kohlmann, B., & Linkimer, M. (2015). Fruit waste valorization for energy and value added products in Costa Rica. Costa Rica: CIDER-EARTH-HTW Berlin.

Delivand, M., Cammerino, A., & Barz, M. (2016). Ecoefficiency of Waste Valorization of Bananas and Pineapple in Costa Rica. En HTW-EARTH-TUHH, M. Barz, & K. Dinkler (Edits.), Biogas as a Sustainable Energy Solution for Developing Countries Workshop (B. Kohlmann, Trad., págs. 67-73). Guácimo, Limón, Costa Rica: EARTH University. doi:ISBN: 978-3-86387-693-7

Estrucplan, (2012). Impactos Ambientales de las centrales térmicas. Argentina. Obtenido de <http://www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=297>

Flores H., D. (2014). Potencial Metanogénico de Residuos Lignocelulósicos específicos disponibles en las Fincas Agrícolas Costarricenses para Cogeneración. Cartago: Tesis Licenciatura en Ingeniería Ambiental TEC.

Gámez, A., Cabrera, J., López, F., Reta, M., & Cruz, O. (2008). Impacto en la generación de electricidad con fuentes no convencionales de energía en el sistema electro energético Mexicano. *Energética*, 24(3). Obtenido de <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=15&sid=7ed89b84-e396-4762-bac3-d31b5840e34f%40sessionmgr112&hid=126>

Georgescu, N. (1973). La Teoría del Decrecimiento Económico. Cambridge, Mass: Harvard University.

Gomelsky, R. (2003). Energía y desarrollo sostenible: posibilidades de financiamiento de las tecnologías limpias y eficiencia energética en el Mercosur. Santiago de Chile.: CEPAL, LC/L.1923-P. doi:ISSN electrónico: 1680-9025.

Grillo, M., Silva, E., Escobar, J., Venturini, O., Buchgeister, J., & Almazan, O. (2011). A LCA (life cycle assessment) of the methanol production from sugarcane bagasse. *Energy*, (36). Obtenido de http://login.oaresciences.org/whalecomac.els-cdn.com/whalecom0/S0360544210007000/1-s2.0-S0360544210007000-main.pdf?_tid=605e2346-8b5e-11e2-9bb9-00000aacb362&acdnat=1363125003_29d7509084e710b66864da4dba66ddd

Hedman, B., & Hampson. (2011). Fuel and CO2 Emissions Savings Calculation Methodology for Combined Heat and Power (CHP) Systems. *ASHRAE Transactions*, 117 (1), 961-973. Obtenido de <http://web.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=3&sid=0b72eed4-7cfc-4702-8707->

IDEA, (2007). Energía de la Biomasa: Manual de Producción eléctrica y cogeneración . Madrid, España: Ministerio Industria, Turismo y Comercio.

IMN, (2015). Factores de Emisión de Gases Efecto Invernadero. IMN: San José, Costa Rica.

INCAE, (2000). Estudio de casos, como dinámica de Análisis, Enseñanza y Aprendizaje. Alajuela, Costa Rica: CLACDS-INCAE.

INCAE, (2013). La Ruta hacia el Futuro de la Energía Renovable en Centroamérica: Evaluación de la situación actual, Mejores prácticas, Análisis de brechas. Alajuela, Costa Rica: World Watch Institute.

Jawjit, W., Kroeze, C., Soontaranun, W., & Hordijk, L. (2006). An analysis of the environmental pressure exerted by the eucalyptus-based kraft pulp industry in Thailand. *Environment, Development and Sustainability*, (8), 289-311. doi:DOI 10.1007/s10668-005-9019-y

Kozulj, R. (2010). La participación de las fuentes renovables en la generación de energía eléctrica: inversiones y estrategias empresariales en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.: CEPAL, LC/W.331. Obtenido de <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/5/41115/lcw331e.pdf>

Kuznets, S. (1963). La Curva Ambiental por Ingreso per cápita de países (EKC). Cambridge, Mass: Harvard University.

Laguna. (2007). Generación de energía eléctrica y medio ambiente. Obtenido de <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/gacetitas/367/energiamed.html#top>

Leff, E. (2005). La Geopolítica de la Biodiversidad y el Desarrollo Sustentable: Economización del mundo, racionalización ambiental y reapropiación social de la naturaleza. Seminario internacional REG GEN: Alternativas de Globalización (pág. 12). Rio Janeiro, Brasil: UNESCO ONU ECC.

Loza, C., Castillo., Rojas, R., & Huayana, L. (2011). Principios básicos y alcances metodológicos de las evaluaciones económicas en salud. *Perú Med Exp Salud Pública*, 28 (3), 518-527. Obtenido de <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=5&sid=69a03530-8e01-48ca-8d19-c0c24fe6c05a%40sessionmgr110&hid=118>

Meixueiro, J., & Pérez, M. (2008). Guía general para la presentación de estudios de evaluación socioeconómica de programas y proyectos de inversión. México: Centro de estudios para la preparación y evaluación socioeconómica de proyectos.

Moreno, T. (2013). Evaluación de externalidades en la evaluación de energía eléctrica en México: Un mecanismo para promover energía sostenible. España.: (Tesis doctoral) Universidad de la Rioja.

Pacheco, J. y. (2008). Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos. Santiago de Chile: Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES), LC/L. doi:ISSN versión electrónica 1680-8878

PREMACA, (2011). Modelo integral de producción de bioetanol, biogás y biofertilizantes a partir de los desechos del beneficiado del café. Tegucigalpa, Honduras: FIDE FUNDER SNV.

Rabl, A. &. (2006). Environmental Impacts and Costs of Energy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1076., 516-526. doi:Doi: 10.1196/annals.1371.059.

Ramírez R., L. D. (2004). Generación Eléctrica por medio del Biogás. San José, San Pedro, UCR: Tesis de Bachillerato en Ingeniería Eléctrica EUCR.

Reyes, J. (2003). La biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental. *Centro Azúcar*, 30(2), 14-20. Obtenido de <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=17&sid=7ed89b84-e396-4762-bac3-d31b5840e34f%40sessionmgr112&hid=126>

Rivas S., O., Faith V., M., & Guillen W., R. (2010). Biodigestores: Factores físicos, químicos y biológicos relacionados con su productividad. *Tecnología en Marcha*, 23(1), 39-46.

Rizo, A., & Rodríguez B., M. (1995). La Ecoeficiencia: Un buen negocio ambiental. *Estrategia Económica y Financiera* (218), 42-43.

Rodríguez, Z. (2000). Teoría de la decisión multicriterio: un enfoque para la toma de decisiones. *Economía y Desarrollo*, 126 (1). Obtenido de <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=9&sid=a9cb389e-98af-45c1-8507-d70b1723286c%40sessionmgr114&hid=118>

Rosales, R. (2001). Evaluación de proyectos. San José Costa Rica: Instituto Centroamericano de Administración Pública, ICAP.

Sáenz, L. (2009). ANCHILE en Chile: evaluación de impactos sociales en comunidades locales colindantes con predios forestales. *Espacio Regional*, 1(6), 73-88. Obtenido de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3676846>

Sapag, (2001). Evaluación de proyectos de inversión en la Empresa. 1er Edición. Buenos Aires: Prentice Hall. doi:ISBN 987-9460-19-7

Sapag, N., & Sapag, R. (2000). Preparación y evaluación de proyectos. 5ta edición. México: Prentice Hall. doi:ISBN 956-278-088-0

Scopetta, O. (2006). Discusión sobre la evaluación de impacto de programas y proyectos sociales en salud pública. *Universitas Psychologica*, 5 (3), 695-703. Obtenido de <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&sid=e601a0bb-4aa1-4a56-a70d-e74eacd2b122%40sessionmgr112&hid=112>

Thiele, H. (2010). Balance de carbono en la industria azucarera. Asociación de técnicos azucareros del Salvador. San Salvador: ATASAL. Obtenido de <http://www.atasal.org/2010/07/ataca-2010-trabajos-fabrica/>

Torijano, E. (2013). Centroamérica: estadísticas de hidrocarburos, 2012. México, DF.: CEPAL. CEPAL, LC/MEX/L.1127. Obtenido de <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/4/51714/CentroamericaEstadisticasHidrocarburos.pdf>

Villalobos, V., Incer, A., & Morales, R. (2011). Uso de Resíduos Sólidos Valorizables en la Producción de Energía. San José, Costa Rica: Ministerio Salud Pública.

WBCSD (World Business Council Sustainable Development), (1992). Conceptos sobre Ecoeficiencia en los Negocios. Washington: WBC.



Biodigestor rígido de 22 litros de capacidad en la Estación Experimental Alfredo Volio Mata, Universidad de Costa Rica. Foto: R. Russo.



Biodigestores de plástico, tipo Taiwán, instalados por Viogaz en fincas pequeñas en Costa Rica. Fuente: <http://ecoinventos.com/viogaz-biogas-de-excrementos-animales/>



Biodigestor Rúmen II, Universidad EARTH, Guácimo, Costa Rica. Fuente:
<http://www.nacion.com/proa/2009/agosto/09/proa2048891.html>



Biodigestor de la empresa Porcina Americana ubicada en Coris de Cartago.

Fotos: Carlos Saborío. <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2014/07/16/ucr-promueve-uso-de-biodigestores.html>



Planta biodigestora en la Estación Experimental Fabio Baudrit, con capacidad de producir 600 megavatios por año. Foto: Anel Kenjeeeva.

<https://www.ucr.ac.cr/noticias/2013/05/17/inauguran-biodigestor-en-estacion-fabio-baudrit.html>



Jóvenes de la comunidad indígena de Cerere, del Valle la Estrella, construyen un Biodigestor de polietileno. Foto: Laura Rodríguez.

<https://www.ucr.ac.cr/noticias/2012/10/18/comunidades-indigenas-construiran-biodigestores.html>