

# Revisión de los sistemas de gasificación de biomasa para la generación de energía en Costa Rica de 1982 a 2014

## A review of biomass gasification systems for energy generation in Costa Rica between 1982 and 2014

José Alberto Castillo-Benavides<sup>1</sup>, Gustavo Richmond-Navarro<sup>2</sup>,  
Francisco Rojas-Pérez<sup>3</sup>, Esteban Zamora-Picado<sup>4</sup>

---

*Fecha de recepción: 9 de febrero de 2018*  
*Fecha de aprobación: 18 de mayo de 2018*

Castillo-Benavides, J; Richmond-Navarro, G; Rojas-Pérez, F; Zamora-Picado, E . Revisión de los sistemas de gasificación de biomasa para la generación de energía en Costa Rica de 1982 a 2014. *Tecnología en Marcha*. Vol. 31-4. Octubre-Diciembre 2018. Pág 3-14.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v31i4.3955>



- 1 Ing. Químico. Escuela de Física, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: jsalbertocb@gmail.com.
- 2 Ing. Electromecánico. Escuela de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: grichmond@tec.ac.cr.
- 3 Ing. Mecánico y Físico. Escuela de Física, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: frojas@tec.ac.cr.
- 4 Ing. Ciencia e Ing. de los Materiales. Escuela de Física, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: ezamora@tec.ac.cr.

## Palabras clave

Biomasa; gasificación; combustible; café.

## Resumen

El desarrollo de la gasificación en Costa Rica inicia en la década de los 80 con un curso de gasificación impartido por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Históricamente, el combustible biomásico más utilizado para este proceso consiste en residuos de madera, principalmente chips de madera de una longitud no mayor a las 4 pulgadas. En pocos casos se ha estudiado o puesto en marcha el uso de otros combustibles biomásicos en sistemas de gasificación a lo largo del país. Debido a la antigüedad y al carácter rudimentario de los proyectos, la documentación e información relacionada a estos trabajos es escasa.

Las principales experiencias con sistemas de gasificación utilizando broza como combustible, se tienen en los Beneficios de CoopeDota R.L. y CoopeTarrazú R.L. Ambos Beneficios desarrollaron esta tecnología con resultados poco alentadores debido a la inestabilidad del proceso, la generación excesiva de compuestos indeseados como alquitranes y emisión de compuestos orgánicos volátiles al ambiente. Por otra parte, se han tenido experiencias positivas con la gasificación de la cascarilla de café. Este material ha facilitado el desarrollo de gasificadores debido a su bajo contenido de humedad y tamaño de partícula. Actualmente, en los Beneficios Cerro Los Vindas y Monte Rosa se encuentran activos dos gasificadores de cascarilla de café.

A partir de esta revisión bibliográfica se hace evidente la necesidad de realizar un estudio profundo sobre las características fisicoquímicas de la broza de café, así como la evaluación del comportamiento termodinámico del proceso de gasificación al utilizar estos residuos biomásicos como combustibles.

## Keywords

Biomass; gasification; fuel; coffee.

## Abstract

The development of the gasification in Costa Rica starts back in the 80s with the establishment of a gasification course arranged by the Latin American Organization of Energy (OLADE, by its Spanish acronym). Historically, the most commonly used biomass fuel for this process is wood waste, especially wood chips under 4 inches of length. In very few occasions, the use of other biomass fuels has been either implemented or studied in systems of gasification across the country. Due to the old age and the rudimentary character of the projects, the documentation and information related to them is rather scarce.

The main experiences with gasification utilizing coffee bean skins as fuel, are from the Coffee Processing Plants of CoopeDota R.L. and CoopeTarrazú R.L. both plants developed this technology with very modest results due to the process unsteadiness, the generation of undesired compounds as tars and the emission of volatile organic compounds. On the other hand, there have been positive experiences with the gasification of the coffee husk. This material has simplified the design of gasifiers, given its low humidity content and particle size. Currently, the plants Cerro Los Vindas and Monte Rosa have both active coffee tusk gasifiers.

From this review, the necessity of an in-depth examination of the physicochemical properties of the coffee skin becomes clear, as well as the evaluation of the thermodynamic behavior of the gasification process when using this biomass waste as fuel.

## Introducción

Una de las cartas de presentación de Costa Rica a nivel mundial es su compromiso con aumentar la participación de las energías renovables en la matriz energética nacional. Esto con el fin de suplir una demanda energética en constante aumento producto de la industrialización de las ciudades y el aumento en el consumo energético de la población en general. Al mismo tiempo, las concentraciones de gases de efecto invernadero que se emiten a la atmósfera se encuentran en aumento. Siendo los combustibles derivados del petróleo y el mal manejo de los residuos sólidos los principales contribuyentes de este tipo de gases. En este contexto, la generación de energía a partir de la biomasa surge como una alternativa de gran potencial por su carácter renovable.

Dentro de las diferentes tecnologías para aprovechar la energía a partir de combustibles biomásicos, la gasificación surge como una de las posibles alternativas a la obtención de energía a partir de la broza y cascarilla de café. Tomando en cuenta la gran cantidad de residuos biomásicos generados en el país producto de cultivos como café, piña y palma africana, resulta atractiva la opción de generar energía a partir de estos desechos agroindustriales y además mitigar gases de efecto invernadero.

Tomando en cuenta los datos del Balance Energético Nacional 2016 [1], se puede notar que el aprovechamiento de biomasa y residuos vegetales como bagazo, cascarilla de café y otros, en su conjunto produjeron 27 183 TJ de energía. Esto representó un 24,4 % del total de la producción de energía primaria del país, siendo la energía primaria, la energía sin transformar proveniente de fuentes naturales. Para el año 2016, la totalidad de la energía primaria producida fue de 111 536 TJ, donde la contribución más importante provino de la energía geotérmica con un 43,6% de participación (48 654 TJ), seguida de la hidráulica con un 28,5% (31 542 TJ). La demanda más grande de este tipo de energía se da en el sector industrial con un consumo del 74,1 % del total de la energía primaria consumida en el país.

En el año 2006 el Ministerio de Ambiente y Energía realiza la “Encuesta de oferta y consumo energético a partir de la biomasa en Costa Rica, año 2006” [2], los principales resultados que se obtienen de este estudio revelan que los residuos biomásicos producidos en el país en el año 2006 poseen un contenido energético suficiente para generar alrededor de 635 MW de electricidad durante todo el año. Además, se indica que alrededor del 40,3 % de los residuos biomásicos no son aprovechados. Por otra parte, se revela que los residuos biomásicos no están debidamente caracterizados y sus propiedades no son conocidas por las empresas generadoras de este tipo de residuos.

Para el caso de Costa Rica, es importante tomar en cuenta que la determinación y cuantificación de la oferta de biomasa permitirá al país valorar las opciones y planificar la sustitución del petróleo y sus derivados por fuentes nuevas y renovables de energía [2]. Dentro de las clasificaciones que se pueden realizar cuando la biomasa es utilizada en la producción de energía, se encuentran dos grandes grupos: la biomasa natural, que se obtiene naturalmente e incluye la leña, y la biomasa residual que proviene de los residuos generados por actividades agrícolas, forestales y agroindustriales.

En los residuos biomásicos a partir de la producción de café, se obtienen tres residuos importantes: la cascarilla, la broza y el mucílago. Durante la cosecha 2016 – 2017 se produjeron 1 840 336 fanegas de café fruta. Esto corresponde a una producción de residuos de más de 193 235 toneladas de broza y 21 177 toneladas para el caso de la cascarilla [3]. Por lo que el tratamiento y valorización de estos residuos resulta de gran interés. La broza o pulpa de café prácticamente en su totalidad es procesada como abono orgánico para el sector agropecuario y respecto de la cascarilla, este residuo es utilizado en su mayor parte dentro de los Beneficios como combustible en los hornos de secado del grano.

Históricamente la mayor parte de la energía obtenida a partir de los residuos biomásicos se convierte mediante procesos térmicos, generalmente la combustión directa en hornos o calderas. Para el caso de la gasificación, esta tecnología consiste en someter la biomasa a altas temperaturas en un ambiente con oxígeno limitado. A partir de estas condiciones se obtiene un gas enriquecido con hidrógeno, monóxido de carbono y trazas de metano e hidrocarburos de bajo peso molecular. Este gas resultante es normalmente denominado como gas de síntesis o syngas, y puede ser utilizado para sintetizar numerosos compuestos químicos y combustibles. Además, el gas puede ser utilizado directamente como combustible, ya sea para ser quemado directamente con fines calóricos o en un motor de combustión interna para la obtención de electricidad [4].

La conversión de la biomasa mediante este proceso involucra la descomposición de carbohidratos mediante la despolimerización de los mismos, seguido de la deshidratación por reacciones entre el vapor y los compuestos con contenido de carbón [5]. Dentro del equipo, la biomasa toma parte en diversas reacciones, para este proceso en particular la sección principal consiste en la gasificación de la biomasa. Para llegar a este punto la biomasa sufre diversos cambios como el secado, pirólisis y combustión. En todos los procesos de gasificación el gas producido lleva consigo impurezas tales como alquitranes, cianuros de hidrógeno, cenizas y otros. Estas impurezas deben ser removidas del gas para poder utilizarlo en procesos de conversión posteriores. Es por esto que los sistemas de limpieza y pretratamiento del gas previo a su utilización son etapas importantes en el diseño de este tipo de procesos de conversión térmica. Normalmente se utilizan ciclones y sistemas de filtros para disminuir los contaminantes e impurezas del gas de síntesis [4].

## Gasificación en Costa Rica

La tecnología de gasificación en Costa Rica se ha venido desarrollando desde los años 80. Esta tecnología tuvo sus inicios como una alternativa incipiente para la generación de energía eléctrica a partir de residuos forestales. Posteriormente en los años siguientes se fue desarrollando esta tecnología para la generación de energía térmica en calderas y hornos como sustituto de combustibles derivados del petróleo como el bunker y el diésel. Más recientemente, el Centro de Investigaciones en Café (CICAFE) ha impulsado el uso de la tecnología en diferentes Beneficios a lo largo del país, con el fin de sustituir la leña en los procesos de secado. Las primeras aproximaciones al uso de la gasificación en el beneficiado de café datan de finales de la década de los 90, en donde los Beneficios Coopetila R.L. y Volcafé con la ayuda de la Escuela de Ingeniería de Electromecánica del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), desarrollaron un gasificador de lecho descendente a partir de tecnología alemana [6]. El principal objetivo de este equipo consistía en la utilización de la energía térmica generada por el gasificador para secar el grano de café, disminuyendo así el consumo de leña asociado a este proceso industrial.

Los primeros registros de informes o documentos que fomentaron el uso de la gasificación surgen en los primeros años de la década de los 80. En el año 1983, la Organización Latinoamericana de Energía imparte el “Curso de Gasificación de Madera para Centroamérica y el Caribe” en San José, Costa Rica. De este curso se publica el Manual de Gasificación de la Organización Latinoamericana [7].

Posteriormente, alrededor del año 1985, la Secretaría General de la Organización de Los Estados Americanos (OEA) en conjunto con el Gobierno de Francia desarrollan en el país el “Proyecto piloto de electrificación por gasificación de leña” en la localidad de Buena Vista de Guatuso. El proyecto consistió en la electrificación de un pueblo de alrededor de 300 habitantes con la ayuda de un sistema de gasificación acoplado a un generador donado por el gobierno

francés. Además, las instituciones nacionales involucradas en este proyecto fueron: la Dirección Sectorial de Energía del entonces Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Ambas instituciones brindaron apoyo económico y técnico para el desarrollo del proyecto, que benefició a 38 viviendas con una demanda energética mensual entre 500 y 600 kWh [8].

En este caso, las principales dificultades consistieron en la humedad de la leña utilizada como combustible, la poca capacitación de los operarios, la dificultad de calibración del motor, la regulación eléctrica y problemas de corrosión en el equipo. No obstante, se demostró la rentabilidad del proyecto para la comunidad.

Por otra parte, en esa misma década, el ITCR incursiona en la investigación y desarrollo de la gasificación utilizando principalmente residuos de madera como combustible. Esta iniciativa de investigación estuvo a cargo del ingeniero Gustavo Jiménez, quien ha desarrollado proyectos en gasificación entre los 74 kW y los 2,5 MW; para la empresa pública y privada [9].

Alrededor del año 2000, la Escuela de Ingeniería Electromecánica del ITCR, desarrolló un gasificador de lecho descendente adaptado de tecnología alemana, mostrado en la figura 1. Este gasificador fue probado en los Beneficios de Coopetila R.L. y Volcafé. Se utilizó leña como combustible, operando a una potencia de 250 kW térmicos. El combustible biomásico utilizado consistió de madera en astillas con dimensiones de 2 pulgadas de ancho y 5 pulgadas de largo. Uno de los principales problemas encontrados durante la operación de este equipo consistió en la alta generación de alquitranes. Estos compuestos al condensarse obstruían la entrada de aire al equipo, factor que hubo que controlar durante la operación del proceso. El principal uso del sistema consistió en proveer de energía térmica a las guardiolas<sup>2</sup> de secado de grano, alcanzando temperaturas a la entrada de la guardiola entre 50 °C y 60 °C [6]. Actualmente, este gasificador se encuentra en las instalaciones del ICAFE en San Pedro de Barva de Heredia.



**Figura 1.** Gasificador de lecho descendente utilizado en los Beneficios de Coopetila R.L y Volcafé. Fotografía tomada por el Ing. José Alberto Castillo.

2 Una guardiola es una secadora cilíndrica horizontal de tipo rotatorio para secar café por medio de hornos de fuego indirecto.

Desde el punto de vista académico, se han desarrollado varios estudios acerca de la gasificación y su posible aplicación para la obtención de energía a partir de residuos biomásicos. En el año 2003, el ingeniero Rolando Chacón, presenta el proyecto: “Aplicación de la tecnología de gasificación utilizando pulpa de café” [10] para optar por el grado de Máster en Administración de la Ingeniería Electromecánica del ITCR. En este estudio se realiza una valoración de la broza de café como combustible a diversos porcentajes de humedad y se plantea utilizar la energía térmica generada por el sistema para el secado de pulpa y grano. Se propone un diseño de gasificador de lecho descendente tipo *downdraft* para el aprovechamiento de este residuo agroindustrial. Dentro de los principales hallazgos se encuentra que la pulpa o broza de café a un porcentaje de humedad de un 30 %, posee un poder calórico similar al de la leña.

En el año 2006, el ingeniero Reto Steiner [11] presenta su trabajo de tesis de Postgrado en Ingeniería Ambiental: “Utilización energética de residuos orgánicos en la industria bananera, cafetalera y azucarera en Costa Rica”, con el apoyo de la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ). El objetivo de este trabajo consistió en describir cómo los residuos orgánicos generados por el procesamiento industrial de productos agrícolas en Costa Rica son tratados y utilizados, con el fin de evaluar cuáles posibilidades existen para su aprovechamiento.

Steiner realiza una recopilación de las diferentes metodologías de disposición de los residuos del beneficiado de café. En su estudio, para el caso de la pulpa el 90 % de los Beneficios estudiados realiza el composteo de la pulpa y sólo dos Beneficios la utilizan como combustible en hornos. Dentro de las alternativas propuestas, se presenta el potencial del secado de la broza para ser quemada en hornos o ser utilizada posteriormente en un proceso de gasificación. El estudio presenta que el Beneficio de CoopeDota utilizó uno de sus hornos para quemar broza y cascarilla en una relación 1:5. Dentro de este proceso, para el secado de la broza se utilizó una guardiola vieja durante 24 horas [11].

El documento incluye ejemplos de la utilización energética de la pulpa. La primera experiencia la lleva a cabo la empresa Subproductos de Café S.A. que procesaba pulpa fresca de varios Beneficios y la vendía luego como combustible para los hornos de los Beneficios. Se destaca que la empresa colapsó en el año 1992 por razones financieras a raíz de los costos de transporte, pero se resalta que técnicamente el proyecto operaba de forma adecuada. Posteriormente, la empresa Desarrollos Ecofem S.A., una unidad de Swisscontact, ofrece una solución para el secado de la pulpa y durante la cosecha 2004/2005 trabajaron con una planta piloto ubicada en el Beneficio La Candelaria de Palmares. En este proyecto se logró una sustitución de leña de un 70 %, por lo que los resultados se consideraron satisfactorios. La planta piloto luego fue trasladada al Beneficio Café Los Anonos S.A. en Palmichal de Acosta en donde el 70 % de la pulpa se procesó por prensado. La pulpa prensada con una humedad del 70 % era transportada en una cinta transportadora y secada en una secadora construida por Swisscontact. Finalmente, la pulpa seca se quemaba en el horno junto con la cascarilla y leña para alimentar las Guardiolas con aire caliente [11].

En 2009, la máster María José Cortés Ureña presentó el proyecto “Generación de energía a partir de residuos biomásicos mediante la técnica de gasificación: alternativa para la reducción de la contaminación por residuos sólidos y la emisión de gases de efecto invernadero. Costa Rica” [12]. La investigación fue de tipo exploratoria, haciendo uso de información secundaria con la que se evaluó el potencial de la aplicación de la gasificación. En el estudio destaca el proyecto de gasificación del Beneficio de Coopedota R.L. en conjunto con el ICE.

Desde la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica se han desarrollado varios trabajos finales de graduación enfocados en la gasificación de materiales biomásicos. El primer estudio se realiza en el año 1982 por el ingeniero Jorge Sáenz Quesada con el proyecto titulado “Diseño de un gasificador universal para sólidos” [13], presentando el diseño del

proceso de gasificación utilizando un reactor de lecho fluidizado. La principal característica del reactor se encuentra en que este sistema es calentado por resistencias eléctricas para llegar a temperaturas de 800 °C a 900 °C. Se establece que el gasificador es capaz de procesar carbón y cualquier residuo lignocelulósico con una capacidad de procesamiento de 20 kg/h.

En el año 2010, se desarrollan dos proyectos de graduación en conjunto con el CICAPE, en donde se diseñan dos reactores de gasificación para el tratamiento de broza de café. El primer estudio desarrollado por el ingeniero Benjamín Mairena, tiene como título: “Dimensionamiento de un equipo de gasificación para el aprovechamiento de broza de café” [14]. Este estudio comprendió el diseño de un gasificador tipo *downdraft* para el tratamiento de la broza de café. A partir de este diseño se plantea el procesamiento de aproximadamente 67,58 kg/h de pulpa de café.

Por otra parte, el ingeniero Denis Solano Castillo desarrolló el proyecto titulado: “Dimensionamiento de un gasificador de lecho fluidizado para el procesamiento de biomasa de café” [15]. En este proyecto se desarrolla el dimensionamiento de un reactor de lecho fluidizado para el procesamiento de broza de café como combustible.

Ambos casos se desarrollaron en la etapa de diseño y no se abarcó la construcción, por lo que no es posible evaluar los sistemas, verificar su rendimiento y validar las suposiciones de diseño propuestas por ambos ingenieros.

En 2014 se desarrollan dos proyectos de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química, en torno a la broza de café y su potencial uso en sistemas de gasificación. Uno presentado por el ingeniero Edgar Valverde Camacho, titulado: “Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de la broza del café al ser sometida a un tratamiento biológico y su impacto potencial como materia prima en posteriores procesos biológicos o termoquímicos” [16]. Se presenta la posibilidad de realizar un pretratamiento biológico con hongos de putrefacción blanca con el fin de evaluar su impacto en procesos termoquímicos o biológicos. El trabajo además realiza una amplia caracterización físicoquímica de la broza o pulpa de café.

El segundo presentado por el ingeniero José Alberto Castillo, titulado: “Determinación de parámetros fisicoquímicos y cinéticos de la degradación térmica de broza y cascarilla de café para ser utilizados en simulaciones computacionales del proceso de gasificación” [17]. En este trabajo se realiza una investigación sobre los diferentes parámetros cinéticos y fisicoquímicos de la broza y cascarilla de café, necesarios para realizar el modelado del proceso de gasificación. A partir de este estudio se determinaron parámetros de diseño tales como porosidad del lecho, aire requerido para un proceso de gasificación y la cinética de degradación térmica de la broza de café, cascarilla de café y diferentes mezclas de ambos materiales biomásicos.

## Gasificadores activos e inactivos en Beneficios en Costa Rica

### Gasificadores activos

En Naranjo Alajuela, el Beneficio Monte Rosa cuenta con un gasificador *downdraft*, mostrado en la figura 2, que utiliza cascarilla como combustible. El desarrollo y puesta en marcha del equipo se realizó por el Ing. Oscar Moreira (Gerente del Beneficio) y el Ing. Emmanuel Montero (ICAFE).

En Tabarcia de Mora, San José, el Beneficio Cerro los Vindas posee un gasificador *updraft*, mostrado en las figuras 3 y 4, que utiliza cascarilla y chips de madera (pino) como combustible. El desarrollo y puesta en marcha del equipo se realizó por el Sr. Eduardo Vindas, encargado del Beneficio. Destaca que el diseño y construcción del equipo se realizó de forma empírica y en el taller del Beneficio.



**Figura 2.** Gasificador instalado en Beneficio Monte Rosa. Fotografía tomada por el Ing. José Alberto Castillo.



**Figuras 3 y 4.** Gasificador instalado en Beneficio Cerro los Vindas. Fotografía tomada por el Ing. José Alberto Castillo.

### Gasificadores inactivos

En Tilarán, Guanacaste La Cooperativa de Caficultores de Tilarán R.L. (Coopetila), utilizó un gasificador de flujo descendente tipo *downdraft* adaptado de tecnología alemana. El equipo fue desarrollado por la Escuela de Ingeniería Electromecánica del ITCR y operó a una potencia de 250 kWth.

En Miramar, Montes de Oro, Puntarenas, operó un gasificador *downdraft* alimentado por cascarilla, en el Beneficio Montes de Oro.

En Santa María de Dota, San José, el Beneficio de Coopedota desarrolló un proyecto de gasificación entre los años 2008 y 2009, a cargo de la Ing. Hortensia Solís por parte de la cooperativa y el Ing. Guillermo López de parte del ICE, participaron también otras instituciones como el Sistema de la Integración Centroamericana, la Alianza en Energía y Ambiente con Centro América y el Ministerio de Medio Ambiente de Costa Rica.

El proyecto tuvo un costo por USD \$ 133 500. Se planteó la generación de gas de síntesis a partir de un reactor tipo *downdraft* y posterior generación de energía eléctrica con un generador, obteniendo una potencia eléctrica estimada de 40 kW [18].

En San Marcos de Tarrazú, San José, el Beneficio Coopetarrazú operó un gasificador tipo *downdraft* diseñado por el Ing. Emmanuel Montero del CICAPE. El proyecto fue puesto en marcha en el año 2009 y tuvo un impacto negativo en la Cooperativa. La dificultad de controlar las reacciones y el complejo funcionamiento del gasificador provocaron la emisión al ambiente de compuestos volátiles altamente tóxicos; el equipo producía exceso de humo, ruido y olores. El sistema se clausuró en su etapa de pruebas, dentro de las barreras identificadas en este proyecto se encuentran el desconocimiento de la tecnología y la falta de capacitación.

## Resumen de los trabajos y proyectos de gasificación en Costa Rica entre 1982 y 2014

Se presenta a continuación un cuadro que resume los trabajos y proyectos en los cuales se ha desarrollado la gasificación en Costa Rica. La mayoría de los documentos forman parte de proyectos finales de graduación o recopilaciones bibliográficas.

**Cuadro 1.** Resumen de proyectos y trabajos sobre gasificación desarrollados en Costa Rica.

Año	Autor	Título
1982	Ing. Jorge Sáenz Quesada	Diseño de un gasificador universal para sólidos Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química
1984 -1985	Ing. Gustavo Jiménez	Diseño de un gasificador biomásico para alimentar el horno de fundición. Potencia 74 kw
1985	ITCR	Proyecto gasificador de combustibles de alta granulometría
1985	ITCR	Proyecto Aplicación del gas pobre a equipo de uso industrial
1986	OEA	Planta de Generación Eléctrica con Gasificación de Leña en Buena Vista de Guatuso, Proyecto Piloto. Proyecto Plurinacional de Energía y Alimentos en el Istmo Centroamericano
1986	Ing. Gustavo Jiménez	Cálculo, diseño y prueba de un gasificador de madera acoplado a una caldera de 500 kW para Pretensados Nacionales S.A.
1986 - 1987	Ing. Gustavo Jiménez	Proyecto de gasificación de la broza del café para secado del grano, CoopeCartago R.L.
1987	OEA	Historia y Lecciones de un Proyecto Piloto, Planta Eléctrica con Gasificación de Leña, Buena Vista de Guatuso, Costa Rica.

Continúa...

Continuación

Año	Autor	Título
1987	Ing. Gustavo Jiménez	Evaluación de combustibles gasificables para la sustitución del diésel en calderas.
1987		Gasificador de olote de 600 kW para el secado de maíz.
1989		Utilización de la broza del café como combustible en el secado del café.
2000 - 2001		Gasificación de Biomasa (leña, pergamino y broza) en el secado de Café, Beneficios Volcafé, 580 kW térmicos.
No se indica		Gasificación de Biomasa (leña, pergamino y concha de macadamia) en el secado del café. Beneficio Coopetila, 380 kW térmicos. Diseños de gasificadores modulares para 25, 50, 75, 100 y 200 kW térmicos.
2003	Ing. Rolando Chacón Araya	Aplicación de la tecnología de gasificación utilizando pulpa de café.
2005	MAROSTICA S.A.	Factibilidad Sustitución LPG con Gasificación de Biomasa, 2,5 MW, Empaques Colinas Altavista, Siquirres, Costa Rica
2006		Sustitución de derivados de Petróleo por gasificación de madera en la planta Puntarenas del Grupo Fertica Centroamérica, S. A., Costa Rica, Gasificador de 2.5 MW
2006	Ing. Reto Steiner	Utilización energética de residuos orgánicos en la industria bananera, cafetalera y azucarera en Costa Rica.
2009	MAROSTICA S.A.	Proyecto Gasificador de madera 200Kw para Horno de Carbón, Centro Nacional de Producción Más Limpia (CNP+L), Forest Trend, Península de Osa, Costa Rica.
2009	Ing. Hortensia Solís Agüero	Diseño y construcción de un gasificador para la gasificación de la biomasa producida en el Beneficio Coopetota R.L.
2009	M. Sc. María José Cortés Ureña	Generación de energía a partir de residuos biomásicos mediante la técnica de gasificación: alternativa para la reducción de la contaminación por residuos sólidos y la emisión de gases de efecto invernadero.
2010	Ing. Benjamín Mairena Calvo	Dimensionamiento de un equipo de gasificación para el aprovechamiento de broza de café.
2010	Ing. Denis Alfonso Solano Castillo	Dimensionamiento de un gasificador de lecho fluidizado para el procesamiento de biomasa de café.
2014	Ing. Edgar Valverde Camacho	Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de la broza del café al ser sometida a un tratamiento biológico y su impacto potencial como materia prima en posteriores procesos biológicos o termoquímicos.
2014	Ing. José Alberto Castillo Benavides	Determinación de parámetros fisicoquímicos y cinéticos de la degradación térmica de broza y cascarilla de café para ser utilizados en simulaciones computacionales del proceso de gasificación.

## Conclusión

A manera de conclusión de esta revisión bibliográfica sobre la gasificación en Costa Rica, se puede afirmar que en los últimos años se han realizado grandes esfuerzos por implementar e investigar acciones para la mitigación y reducción de gases de efecto invernadero. Es por esto que los residuos agroindustriales y biomásicos representan una opción atractiva para la generación de energía y así lograr una disminución en el consumo de combustibles fósiles. Costa Rica representa una pequeña fracción del total de emisiones y consumo de combustibles fósiles, pero aun así el país representa uno de los ejemplos más importantes a nivel mundial para la llevar a cabo la transición hacia una matriz energética renovable y sostenible. Es así como el país se convierte en el escenario ideal para conformar un laboratorio de nuevas tecnologías que permitan alcanzar estas metas.

Los procesos de degradación térmica surgen como una alternativa técnicamente viable para el tratamiento de residuos sólidos de diversas fuentes. Los residuos agroindustriales, particularmente la broza y cascarilla de café, constituyen sólo un ejemplo de la gran variedad de residuos que pueden ser tomados en cuenta dentro del territorio nacional. Además, durante los últimos dos años se han visto avances importantes en el desarrollo e implementación de proyectos de gasificación a nivel académico como los son los proyectos: Implementación y evaluación tecnológica de gasificación en la industria del café por parte de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica, Gasificación a partir de Desechos Agrícolas para la Producción de Energía por parte del Instituto de Investigaciones en Ingeniería de la Universidad de Costa Rica y Gasificación de residuos forestales por parte de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Todos estos proyectos han permitido la generación experiencia y conocimiento en el campo que eventualmente permitirán llevar de forma exitosa este tipo de tecnología al sector agro industrial del país. Sumado a esto, también es importante destacar que existen diferentes rutas de conversión y que la gasificación constituye uno de los diversos procesos y tecnologías que pueden ser utilizados para tratar residuos sólidos. Por lo que la solución a la problemática nacional de gestión y tratamiento de residuos sólidos a nivel agro industrial consistirá en una interconexión de diferentes tecnologías que aborden esta problemática de forma integral, logrando así un sector agro industrial más competitivo y amigable con el medio ambiente.

## Referencias

- [1] MINAE, «Balance Energético Nacional de Costa Rica, período 2005-2016,» Ministerio del Ambiente y Energía. Dirección Sectorial de Energía, San José, Costa Rica, 2017.
- [2] F. Ramírez, «Encuesta de oferta y consumo energético nacional a partir de la biomasa en Costa Rica año 2006,» Ministerio del Ambiente y Energía. Dirección Sectorial de Energía, San José, Costa Rica, 2007.
- [3] ICAFE, «Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica Cosecha 2016-2017,» Instituto del Café de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2017.
- [4] P. Basu, Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: practical design and theory, Academic press, 2013.
- [5] D. L. Klass, Biomass for renewable energy, fuels, and chemicals, Academic press, 1998.
- [6] BUN-CA, «Manuales sobre energía renovable: Biomasa,» Biomass Users Network, San José, Costa Rica, 2002.
- [7] H. STASSEN, «Eficiencia de los gasificadores. Manual de gasificación. Primer curso de gasificación de madera para Centroamérica y el Caribe,» 1. Curso de Gasificación de Madera para Centroamérica y el Caribe. No. 18610. OLADE, San José, Costa Rica., 13-23 Nov 1983.
- [8] MIEM, «Planta de generación eléctrica con gasificación de leña en Buena Vista de Guatuso, Proyecto Piloto,» Ministerio de Industria, Energía y Minas. Dirección Sectorial de Energía, San José, Costa Rica, 1987.

- [9] G. Jiménez, «Portafolio de Proyectos,» Recuperado el 15 de Mayo de 2015, de Marostica Energy Projects: <http://marosticaprojects.com/>, 2015.
- [10] R. Chacón, «Aplicación de la tecnología de gasificación utilizando pulpa de café,» Proyecto de graduación para optar por el grado de Máster en Administración de la Ingeniería Electromecánica con énfasis en Administración de la Energía, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, 2003.
- [11] R. Steiner, «Utilización energética de residuos orgánicos en la industria bananera, cafetalera y azucarera en Costa Rica: considerando el mecanismo de desarrollo limpio,» Tesis Doctoral, San José, 2006.
- [12] M. Cortés, «Generación de energía a partir de residuos biomásicos mediante la técnica de gasificación: alternativa para la reducción de la contaminación por residuos sólidos y la emisión de gases de efecto invernadero,» Tesis de maestría, San José, Costa Rica, 2009.
- [13] J. Sáenz, «Diseño de un gasificador universal para sólidos,» Tesis de Licenciatura, San José, Costa Rica, 1982.
- [14] B. Mairena, «Dimensionamiento de un equipo de gasificación para el aprovechamiento de broza de café,» Tesis de Licenciatura, San José, Costa Rica, 2010.
- [15] D. Solano, «Dimensionamiento de un gasificador de lecho fluidizado para el procesamiento de biomasa de café,» Tesis de Licenciatura, San José, Costa Rica, 2010.
- [16] E. Valverde, «Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de la broza del café al ser sometida a un tratamiento biológico y su impacto potencial como materia prima en posteriores procesos biológicos o termoquímicos,» Tesis de Licenciatura, San José, Costa Rica, 2014.
- [17] J. Castillo, «Determinación de parámetros fisicoquímicos y cinéticos de la degradación térmica de broza y cascarilla de café para ser utilizados en simulaciones computacionales del proceso de gasificación,» Tesis de Licenciatura, San José, Costa Rica, 2014.
- [18] H. Solís, «Diseño y construcción de un gasificador para la gasificación de la biomasa producida en el Beneficio Coopedota R.L. con el objetivo de generar electricidad para los requerimientos energéticos de la empresa,» Santa María de Dota, San José, 2008.