

Alternativas del uso de la cascarilla de arroz como fuente energética

Alternatives for the use of rice husks as an energy source

Angie Tatiana Ortega Ramírez^{1,2*}; María Isabel Quispe Trinidad^{3**}

¹Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia

²Doctoranda en Sostenibilidad. Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores. Michoacán México.

³Docente. Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú

Email: *angie.ortega@profesores.uamerica.edu.co

** iquispe@pucp.edu.pe

Recibido: 24, mayo 2021. Aceptado: 01 junio, 2021. Versión final: 10 diciembre, 2021.

Resumen


Los combustibles fósiles son la mayor fuente energética en el mundo y Colombia no es la excepción a la regla, es por esta razón que el presente artículo plantea estudiar alternativas del uso de cascarilla de arroz como fuente energética en Colombia. Para la investigación se realiza una revisión de información científica obtenida de bases de datos como Scopus, Science Direct, Redalyc, entre otros, además de indagaciones extraídas de reportes gubernamentales, casos de estudio en otros países y estudios experimentales, esto con el fin de realizar una revisión con información verídica que pueda dar lugar a un análisis general del uso de energías alternativas y su aporte en la matriz energética, para finalmente dar como resultado un estudio detallado del potencial del uso de cascarilla de arroz en Colombia.

Palabras clave: Biomasa; Pirólisis; Combustión; Cascarilla de arroz.

Abstract

Fossil fuels are the largest energy source in the world and Colombia is not the exception to the rule, it is for this reason that this article aims to study alternatives to the use of rice husk as an energy source in Colombia. For this research, a review of scientific information has been taken from databases such as Scopus, Science Direct, Redalyc, among others, is carried out, as well as inquiries obtained from government reports, case studies in other countries and experimental analyzes, in order to achieve a review with truthful information that can lead to a general analysis of the use of alternative energies and their contribution to the energy matrix, to finally result in a detailed study of the potential use of rice husks in Colombia.

Keywords: Biomass; Pyrolysis; Combustion; Rice husk.

ISSN impreso: 1657-6527, ISSN en línea: 2145-8502, CC BY 

Forma de citar: Ortega Ramírez, A. T., & Quispe Trinidad, M. I. (2021). Alternativas del uso de la cascarilla de arroz como fuente energética. Revista Fuentes, El Reventón Energético, 19(2), 69–81. <https://doi.org/10.18273/revfue.v19n2-2021005>

1. Introducción

Los combustibles fósiles son denominados como la principal fuente de energía para el desarrollo social y económico (World Energy Council, 2013); a partir de estas fuentes se derivan la mayoría de actividades básicas diarias del ser humano, tales como, la alimentación, producción de energía, transporte, entre otros. La quema de combustibles fósiles para obtener energía comenzó alrededor del inicio de la Revolución Industrial (Ritchie y Roser, 2017); sin embargo, su uso de manera masiva es un fenómeno que se presenta desde el siglo XX (Corredor, 2018). Puente (2019), considera que el mundo actual cada vez es más consciente de las emisiones de gases de efecto invernadero y las energías limpias, además de esto, el sector energético afronta actualmente importantes retos a nivel global gracias al cambio climático (Costa, 2016) (Foster y Elzinga, 2015).

En adición, se puede asegurar que la principal fuente de energía actual son los combustibles fósiles, los cuales estos están divididos en carbón, petróleo y gas natural (Ferrari, 2013).

El carbón es una roca sedimentaria normalmente de color negro o marrón-negro que contiene una gran cantidad de carbono e hidrógeno (Energy Information Administration, 2020). El carbón se forma a partir de restos vegetales que se han compactado, endurecido y alterado a partir de procesos químicos a lo largo del tiempo (United States Geological Survey, 2017).

Por otro lado, el petróleo es un líquido natural oleaginoso que está formado por una mezcla de hidrocarburos (carbono e hidrógeno) (Montenegro, 2020); regularmente se encuentra distribuido en el subsuelo con profundidades de hasta 1000m y se genera a partir de materia biológica que se descompone en un proceso que dura entre 10 y 100 millones de años (Morales, 2021).

El Gas natural es una mezcla de componentes de hidrocarburos, que incluye principalmente metano, además de etano, propano, butano y pentano (EnergyTransitionInstitute, 2015). Dependiendo de su origen se clasifica en gas asociado y no asociado, el primero, es aquel que se extrae junto con el petróleo crudo y el segundo, se encuentra en un depósito que no contiene petróleo crudo, es decir, se encuentra en un yacimiento donde solo hay presencia de gas natural (Dirección General de Gas Natural y Petroquímicos, 2015).

Con base en un reporte dado por Ritchie y Roser (2017) se muestra que en el mundo el 84.32% de la energía primaria

y el 60.95% de la electricidad provienen conjuntamente de combustibles fósiles. Además de esto, indica que los países donde el consumo per cápita anual de energía procedente de combustibles fósiles son Estados Unidos (66.525 MWh), Australia (64.592 MWh) y Alemania (33.836 MWh). En vista del desarrollo y la transición energética, se deben priorizar las tecnologías emergentes (Casas, Ramírez, Figueroa, Macualo y Martín, 2019), aprovechando la riqueza natural y las vías de articulación entre ciencia, industria y política (Fornillo, 2016), por lo anterior, se generan alternativas energéticas denominadas energías renovables o también energías alternativas, estas mismas se obtienen de fuentes naturales renovables y son un tipo de energía más limpia, que a su vez aprovechan recursos como el viento, el agua y el sol (Spiegeler y Cifuentes, 2016). Las energías renovables abarcan alternativas diversas, entre estas se pueden encontrar ejemplos como la energía eólica, solar y biomasa.

La energía eólica - utiliza el viento como fuente de energía, por lo que es necesario considerar factores como las condiciones geográficas y el viento, para así garantizar eficiencias altas (Giraldo, Vacca y Urrego, 2018). En la energía solar se aprovecha de manera directa la radiación del sol para la obtención de calor y electricidad (Ramírez, 2018).

La biomasa como energía proviene en última instancia del sol; esta es entendida como materia orgánica generada de procesos biológicos y ha sido utilizada con fines energéticos desde el descubrimiento del fuego (Velásquez, 2018). Los combustibles renovables pueden clasificarse en cuatro tipos: i) Biogás: se obtiene a partir de materia orgánica como lo son desperdicios de industrias agroindustriales, subproductos orgánicos de bajo valor comercial, residuos cloacales, estiércol, entre otros, lo cual se logra mediante un proceso fermentativo anaeróbico con ayuda de bacterias en ambientes sin oxígeno (Quintero y Quintero, 2015); el biogás producido está compuesto principalmente por dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4) (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019); ii) Biocarburos o biocombustibles: Son alcoholes, éteres, ésteres y otros compuestos químicos obtenidos a partir de la biomasa, los biocombustibles líquidos más destacados son: el bioetanol, que es un biocombustible obtenido a partir de la fermentación de materia orgánica rica en azúcares (Riaño, 2010); y el biodiesel que es un metil éster obtenido a partir de aceites vegetales o grasas animales (Tovar, Benítez, Ortiz y Rodríguez, 2013) (Amaris, Manrique y Jaramillo, 2015); iii) Biomasa sólida: Este tipo de biomasa aprovecha la materia orgánica de origen animal y vegetal, como cultivos energéticos y residuos

agrícolas para obtener energía térmica y eléctrica (Quintero y Quintero, 2015).

En cuanto a la clasificación de biocombustibles se destacan biocarburantes de primera generación que son aquellos donde la materia prima es proveniente de cultivos agrícolas que pertenecen a la industria alimentaria como el azúcar, maíz, almidón y/o aceite vegetal; de segunda generación donde la materia prima es la biomasa vegetal o animal generada de otras industrias como la agroindustrial, que se caracteriza por estar constituida por compuestos orgánicos de cadenas carbonadas; de tercera generación cuya materia prima son plantas acuáticas como las algas que, en la actualidad, hasta ahora han sido implementadas a pequeña escala y en formulaciones; o bien, de cuarta generación que son provenientes de tierras no cultivables (Planas, 2018).

En base a lo anterior y según un reporte dado por Enerdata (2019), el 80% de la energía utilizada en el mundo depende de fuentes de combustible fósiles (petróleo, carbón y gas) y solo un 10% es generado a partir de la biomasa, este valor es pequeño con respecto al potencial energético que tiene. En las actividades agrícolas de varios países se producen diferentes tipos de residuos, a los cuales no se les realiza una disposición adecuada (Chávez y Rodríguez, 2016) y el 46% de los residuos generados a nivel mundial son derivados de la actividad agrícola, el porcentaje restante se divide en otras actividades industriales tales como metal, vidrio, plástico, papel y otros (Chávez y Rodríguez, 2016).

El tipo de residuo más abundante está asociado a la industria agrícola, se estimó que para el 2016 la generación de este tipo de industria a nivel mundial fue de 368.329.087.469 ton (Gómez-Soto, Sánchez-Toro y Matallana-Pérez, 2019); la caña de azúcar, el maíz, el arroz y el trigo son los cuatro primeros cultivos más grandes del mundo, en consecuencia, los residuos sólidos asociados son muy abundantes (Millati, 2019). De acuerdo con lo planteado, el presente artículo parte de una revisión bibliográfica para establecer el uso de residuos agrícolas, específicamente la cascarilla de arroz como alternativa y potencial energético. No sin antes saber que en el marco del aprovechamiento de la cascarilla de arroz puede hablarse de este subproducto como abono orgánico, sustancia en procesos de compostaje, elaboración de materiales de construcción como cemento y ladrillos, utilización como biocombustible en la obtención de energía eléctrica, calor y vapor, generación de biogás,

bioaceite y biocarbón, sustrato hidropónico, camas para animales avícolas y comida para animales (Sierra, 2009; Contexto Ganadero, 2016) de modo que llega a ser muy versátil.

2. Metodología

El presente artículo responde a la necesidad de abordar conceptualmente una problemática derivada de una tesis doctoral relacionada con la capacidad de la cascarilla de arroz como fuente energética, por lo cual se realiza una revisión mediante una exhaustiva búsqueda de información de diversas bases de datos asociadas a artículos científicos, como Scopus, Google Scholar, Redalyc, Science Direct y otras bases de datos especializadas; tesis doctorales, informes de diversos sectores, entidades, entre otros. Mediante la clasificación de la temática y de autores se cumple con el número de citas necesarias en base al formato de aprobación presentado por la revista para desarrollar una revisión bibliográfica de la problemática abordada. Concretamente, se encontraron alrededor de 116 documentos de diferentes años que abordaban el tema de la cascarilla de arroz y potencial energético, de esta cantidad el 63% (73 artículos) correspondieron a información útil para el desarrollo de este artículo científico, pues fueron estudios realizados a partir del año 2019, es decir, son los más recientes, por lo que fueron estos mismos aquellos documentos revisados. De esta información aproximadamente el 23% de los documentos revisados (17 fuentes) fueron tesis de pregrado, maestría, doctorales, de diferentes instituciones como la Fundación Universidad de América, Pontificia Universidad Católica del Perú, entre otras; cerca del 44% (32 fuentes) fueron artículos científicos tomados de diferentes fuentes, tales como Scielo, el reventón energético, Revista UNAL, etc.; el 27% (20 fuentes) fueron reportes de empresas como la UPME, DANE, ANDI, ENERDATA, Fedearroz, Energy Transition Institute, Cámara de Comercio de Cali, entre muchas otras. El 4% (3 fuentes) fueron libros y manuales de uso para la cascarilla de arroz; y solo el 1.4% (1 fuentes) fue información tomada de foros internacionales. Las palabras claves que se emplearon en los motores de búsqueda especializados son biomasa, procesos de obtención de energía a partir de biomasa, subproductos de industria arrocera, cascarilla de arroz, potencial energético de cascarilla de arroz, pirólisis de biomasa, combustión de biomasa y gasificación de biomasa.

3. Resultados y discusión

Problema inicial:

En vista del aumento en la demanda energética mundial y la necesidad humana por satisfacerla, es necesario realizar una transición, permitiendo incursar en el mercado nuevas fuentes de energía como lo son los derivados de residuos agrícolas (Prias, 2018). El aprovechamiento de la biomasa resulta muy económico comparado con otros tipos de energía como el petróleo o carbón (Blanco, García de La Fuente y Álvarez, 2013), además de esto, la biomasa es abundante, ya que está disponible en grandes cantidades en todo el mundo y puede considerarse como una fuente inagotable, pues día a día se generan residuos (Membrillera, 2018). Como se mencionó anteriormente, la fuente de energía principal en el mundo son los combustibles fósiles y Colombia no es la excepción a dicha premisa, en el 2019 el 77% de la energía producida fue derivada del petróleo, carbón y gas, solo un 11% corresponde al aprovechamiento y transformación de biomasa (Enerdata, 2019).

En Colombia, por lo general se dispone de grandes cantidades de recursos de biomasa, en especial residuos forestales y agrícolas (Cáceres, Guío-Pérez y Rincón, 2016), dichos recursos provienen en su gran mayoría de la palma de aceite, caña de azúcar, caña panelera, café, maíz, arroz, banano y plátano. En la Tabla 1 se indican los sectores agrícolas junto a su tipo de residuo.

El arroz es uno de los cultivos con más interacción a nivel mundial, dado que es un alimento milenario de

muchas civilizaciones, por ejemplo, la mediterránea (Tovar, 2018); posee la mayor extensión de tierra cultivada y el mayor número de personas dedicadas a su producción (Chica, Tirado y Barreto, 2016), además de esto, casi el 50% de la población mundial depende del arroz como parte importante de su dieta. El incremento de área sembrada de arroz en Colombia fue de 14% (Fedearroz, 2020), donde anualmente se producen 2'463,689 toneladas de arroz (Escalante, Orduz, Zapata, Cardona y Duarte, 2020), dado que el arroz, después del café, es el cultivo de mayor importancia en la actividad agrícola del país (Montes, Candelo y Muñoz, 2018), la cosecha de este grano se presenta en los meses de enero, febrero y julio, y con mayores volúmenes en agosto y septiembre, reduciéndose un poco en diciembre (DANE, 2017).

En la Tabla 2 se muestran los valores de producción de arroz por zonas en Colombia desde el año 2015 hasta el 2020.

Tabla 1. Biomasa residual por sector agrícola (Escalante, Orduz, Zapata, Cardona y Duarte, 2020)

Subsector	Tipo de residuo	
	Agrícola de cosecha	Agroindustrial
Maíz	Rastrojo, capacho, tusa	-
Arroz	Tamo	Cascarilla
Caña de azúcar	Hojas	Bagazo
Palma de aceite	-	Raquis, fibra, cuesco
Plátano	Raquis y vástago	Plátano rechazo
Café	Tallos	Pulpa, cisco
Caña panelera	RAC, hoja seca	Bagazo
Banano	Raquis, vástago	Banano rechazo

Tabla 2. Producción de arroz por zona en Colombia (Fedearroz, 2020)

Año	Zona centro (ton)	Zona llanos (ton)	Zona Bajo Cauca (ton)	Zona Costa Norte (ton)	Zona Santanderes (ton)
2015	794794	816458	130851	85756	160325
2016	859736	1156460	222495	111687	175801
2017	898542	1149421	209150	142940	191601
2018	926004	1009751	231449	122961	196559
2019	865925	1106385	279284	95880	189438
2020	928732	1294043	366731	128683	192312

Según lo mostrado en la Tabla 2 se puede observar que la zona de los llanos tiene la producción más alta de arroz en Colombia. Esta zona está comprendida por departamentos como Arauca, Casanare, Meta y Vichada, sin embargo, el departamento del Tolima es el mayor productor de arroz, evidenciado desde el año 2009 hasta la actualidad (DANE, 2019).

Diagnóstico

La producción de arroz en Colombia sigue en aumento, así como también la generación de residuos derivados de esta actividad, como la cascarilla de arroz; este es un producto secundario junto con el tamo que se obtiene en el proceso de pulido para la obtención de arroz (Tobar y Quijije, 2017). La cascarilla representa entre el 20 y 25% de la producción total de arroz y su cantidad anual se estima en 123 millones de toneladas a nivel mundial (Páez, Navarro, Páez y Herrera, 2016), por lo que estamos hablando que por cada 4 toneladas de arroz que se producen, aproximadamente 1 tonelada es cáscara (Lozano, 2020); la función de esta es otorgar al grano protección contra microorganismos, oxígeno atmosférico, humedad y luz ultravioleta (Díaz, 2019) y está compuesta por celulosa (50%), lignina (25%-30%), sílice (15%-20%) y humedad (10%-15%) (Singh, 2018). Debido a su alto contenido de sílice cuenta con poco valor comercial en el mercado, debido a que este componente permite que sea resistente a la degradación natural y además, no es apto para el consumo humano (Durán, Rengifo, Martínez, Gaviria y Salazar, 2018) Es así como la cascarilla de arroz forma la tercera parte de las cosechas, por lo general se convierte en residuo (Mayo, 2018).

Ahora bien, las empresas líderes en el sector arrocero en Colombia son la Organización Roa FlorHuila S.A (Orf S.A), Agroindustrial Molino Sonora AP S.A.S y finalmente Unión de Arroceros S.A.S (Páez, Bolívar y Montiel, 2018), reflejando por medio de sus estados financieros un alto índice de ingresos como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Ingresos por empresa arrocera en Colombia (EMIS profesional, 2020)

Empresa	Año	Ingresos netos por ventas (COP)
Orf S.A.S	2019	\$ 1'250,977
	2020	\$ 1'400,225
Agroindustrial Molino Sonora A.P. S.A.S	2019	\$ 394,900
	2020	\$ 519,354
Unión de arroceros S.A.S	2019	\$ 265,991
	2020	\$ 346,415

Estas son empresas con una trayectoria de más de 50 años en el país. Actualmente, la industria arrocera colombiana genera aproximadamente 400000 toneladas de cascarilla de arroz al año, de esta cantidad solo un 15% es aprovechada (Lozano, 2020), los usos que se le dan a este recurso son pocos, debido a la actual escasez de tecnologías que permitan optimizar el residuo, por ende, actualmente las empresas optan por quemar el desperdicio en calderas (Durán, Rengifo, Matrínéz, Gaviria y Salazar, 2018) (Porras y González, 2016). Esta es una práctica común, puesto que en las actividades agrícolas usualmente no se realiza la disposición de los residuos a un relleno o zona adecuada, siendo así la quema descontrolada de los residuos la opción más económica (Castro-Garzón, Contreras y Rodríguez, 2020).

Por consiguiente, debido a que la cantidad de residuos agrícolas de la industria arrocera en Colombia es elevada (400000 ton/año) e industrialmente no se le da un valor agregado, además de que son contaminantes, a partir de la década de los 80 se han realizado diferentes investigaciones para su aprovechamiento tales como la obtención de etanol, la sustitución del uso de carbón para la producción de energías alternativas, adecuación de suelo y también como sustrato en cultivos (González, Gómez y Abad, 2017), entre otras alternativas que permiten disponer de manera adecuada el residuo en pro del desarrollo sostenible y disminución de gases de efecto invernadero.

En la actualidad la cascarilla de arroz, es catalogada como una de las tantas energías alternativas y puede ser utilizada como combustible para la generación de calor, vapor y electricidad (Sánchez, 2017).

Posibles Soluciones (Casos de estudio)

Existen varias tecnologías para obtener energía a partir de la cascarilla de arroz como combustión, pirólisis y gasificación (Quispe, Navia y Kahhat, 2017). En la Figura 3 se muestra la ruta de conversión termoquímica de la biomasa y sus respectivos productos.

De acuerdo a la figura anterior a continuación se describen cada uno de los procesos para la obtención de energía a partir de cascarilla de arroz, con casos de estudio en diferentes países:

Combustión: La combustión directa es una técnica termoquímica en la que la biomasa es quemada al aire libre o en presencia de aire en exceso (Lam, Loy, Yusup y Lee, 2019)

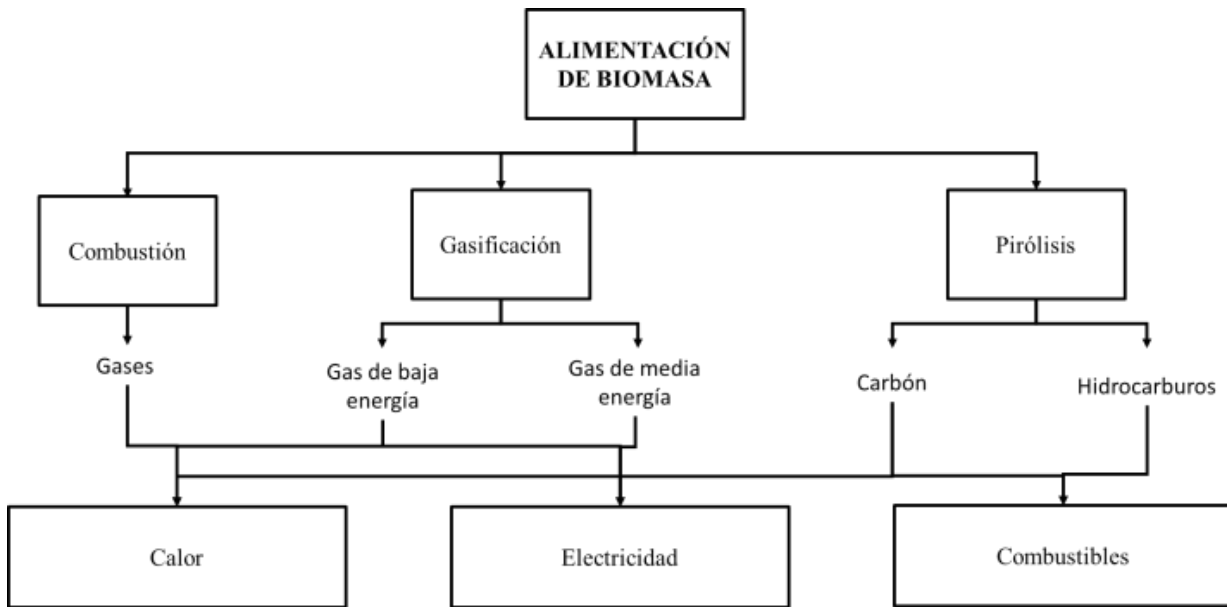


Figura 1. Ruta de conversión termoquímica de la biomasa elaborado por los autores con base en Mohiuddin, Mohhiudin, Obaidullah, Ahmed y Asumadu-Sarkodie, 2016

Muchos países de Asia y Europa los últimos años han estado experimentando una crisis energética debido a la dependencia de combustibles fósiles, la reducción de las reservas locales de este recurso ha llevado a un aumento en los precios y así en el costo de la electricidad, es por esta razón que se han formulado proyectos para la extracción de energía de la biomasa, en este caso, de cascarilla de arroz (Mohiuddin, Mohhiudin, Obaidullah, Ahmed y Asumadu-Sarkodie, 2016).

Por ejemplo, el grupo Electricity Generating Public Company Limited (EGCO) en el año 2006 llevó a cabo un proyecto de energía verde en la provincia de Roi Et, Tailandia, donde se utilizaba la cáscara de arroz como combustible en una planta de energía renovable con el fin de producir electricidad, mediante un proceso de combustión directa. Este proyecto piloto tenía una capacidad de 10MW, se utilizaban 225 toneladas de cáscaras de arroz y 1400 toneladas de agua en un día, la planta contaba con una demanda de energía de 1MW y su producción de energía neta era de aproximadamente 8.8 MW (Mohiuddin, Mohhiudin, Obaidullah, Ahmed y Asumadu-Sarkodie, 2016); actualmente este grupo opera la mayor cartera de energía renovable en Tailandia, incluidas cinco plantas de energía de más de 35 MW que utilizan la biomasa como combustible principal (Southern, 2007)

Pirólisis: Es un proceso de transformación térmica de materia orgánica utilizando un catalizador en ausencia de oxígeno (Baskar, Kalavathy, Aiswarya y Abarnaebenezer, 2019). Usualmente los compuestos orgánicos se exponen a altas temperaturas entre 400 – 1000°C (Cassio, Bravo y Machado, 2015).

A partir del proceso de pirólisis se obtienen productos de interés como aceite y biocarbón. El proceso de pirólisis es una tecnología relativamente madura y es utilizada comúnmente para la producción de aceite a escala industrial (Yu, Yang, Cheng, Blanco, Liu, Bridgwater, y Cai, 2016). En China se establecen diferentes tipos de reactores de pirólisis para varios propósitos y aplicaciones, el reactor para este proceso usa un tornillo sinfín y es una de las tecnologías más usadas en la actualidad, esto se debe a que no requiere grandes volúmenes y puede procesar una alta cantidad de biomasa (Yu, Yang, Cheng, Blanco, Liu, Bridgwater, y Cai, 2016).

La producción de bioaceite a partir de cascarilla de arroz se hace en mayor parte a escala laboratorio en un reactor de lecho fluidizado, mediante una pirólisis rápida (Xiujuan, Shurong, Qi, Zuogang y Zhongyang, 2011). Las propiedades y eficiencia del bioaceite obtenido a partir de este proceso se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Propiedades de bioaceite obtenido de cascarilla de arroz mediante un proceso de pirólisis rápida (Xiujuan, Shurong, Qi, Zuogang y Zhongyang, 2011)

Propiedad	Valor	
pH	3.36	
Porcentaje de masa de agua	33.80	
Densidad (g/cm ³)	1.21	
Viscosidad a 40°C (mm ² /s)	82.43	
Composición másica (%)	O	57.37
	C	35.63
	H	7
	N	0

Para la producción de biocarbón se han empleado varios procesos, en su mayoría pirólisis donde el producto obtenido se utiliza principalmente como material funcional en áreas de agricultura y remediación ambiental, el uso de biocarbón en el suelo actúa como sumidero de carbono y al mismo tiempo se reduce la emisión de CO₂ generado por la quema de biomasa (Bushra y Remya, 2020).

Gasificación: Es un proceso constituido por un conjunto de reacciones termoquímicas, esto ocurre en un ambiente pobre de oxígeno y da como resultado la transformación de un sólido en gas de síntesis (Durán-García, 2014), este gas contiene una mezcla de monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H₂) y trazas de metano (CH₄) (Sankaran, Show, Nagarajan y Chang, 2018).

En los últimos años, muchas empresas han instalado gasificadores de cascarilla de arroz para sustituir las fuentes de energía convencional para hacer funcionar molinos de arroz o suministrar electricidad a aldeas o pueblos, estos sistemas sustituyen más del 50% de la demanda de electricidad, un recurso que en algunos países es costoso, por ejemplo, en Cambodia donde el precio de la electricidad se encuentra entre los más altos de esa región, debido a la escasez de recursos fósiles para la producción convencional de energía, de modo que desde el 2003 decenas de molinos de arroz y empresas de electricidad rural (REE) han instalado gasificadores de arroz para sustituir las fuentes de energía convencionales y ampliar la matriz energética de este país Asiático; el proceso de gasificación se realiza mediante la conversión termoquímica que convierte la biomasa en monóxido de carbono e hidrógeno, es decir, en gas de síntesis (Nguyen, Ha-Duong y Van de Steene, 2015). La composición típica de un gas obtenido a partir de cascarilla de arroz se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Composición típica del gas obtenido de la cascarilla de arroz (Belonio, 2005)

Compuesto	Porcentaje de composición
Monóxido de carbono (CO)	18.6 – 8.6
Hidrógeno (H ₂)	21.5 – 8.7
Metano (CH ₄)	0
Dióxido de carbono (CO ₂)	9.5 – 12.6
Agua (H ₂ O)	18 – 21.1

En vista a lo mencionado anteriormente, cabe recalcar la importancia del desarrollo y gestión adecuada de la cascarilla de arroz para producir energía mediante los procesos mencionados en el apartado. En el caso específico de Colombia se han realizado estudios para el aprovechamiento del recurso mediante un proceso de combustión con un reactor de lecho fluidizado, localizado en la empresa Premac S.A; los resultados obtenidos permitieron demostrar la viabilidad técnica del residuo agroindustrial para la obtención de energía en forma de calor, la cual es útil en diferentes procesos industriales de secado (Martínez-Ángel, Pineda-Vásquez, López-Zapata y Betancur-Vélez, 2010).

Consecuencias e implicaciones

El uso de la cascarilla de arroz como fuente de energía representa una ventaja y potencial a futuro para la industria. La incursión de diferentes alternativas en la matriz energética de Colombia permite diversificar las fuentes primarias de energía y contar con alternativas que no dependan netamente en su mayoría de los combustibles fósiles como se ha expresado a lo largo del artículo. En un estudio realizado por el Antonio y Camargo (2015) se estima que a nivel mundial es factible sacar de la matriz energética el 80% de la energía fósil y que, además, el 70% de la electricidad provendría de fuentes renovables en el 2050, si se sigue avanzando en la investigación y desarrollo de estas alternativas para el año dicho sería posible obtener toda la energía que se necesita a partir de fuentes renovables. Colombia tiene bastante potencial en la incursión y dependencia de energías renovables gracias a su actividad económica basada en la agricultura. Es común encontrar, que los cambios en políticas públicas, las regulaciones comerciales, las normas socioeconómicas o el uso de nuevas tecnologías generan incentivos en los agricultores que permiten el aumento en la producción de bienes agrícolas y su participación activa en el mercado (Perfetti, Balcázar, Hernández y Leibovich, 2013).

Además de esto el uso de biomasa, reduce los problemas asociados a la acumulación de residuos, que a largo plazo generan un desequilibrio natural dando lugar a problemas sanitarios y paisajísticos (Coronado y Valencia, 2015), sin embargo, su mayor ventaja se presenta para la rotación del recurso apoyando la economía circular. Este es un sistema económico en el que no se agotan las reservas finitas de materias primas y los materiales residuales se utilizan de nuevo en el sistema (Van-Groenestijn, Harmsen y Bos, 2020), permitiendo así la reducción de los residuos y desperdicios en el proceso para darles un valor agregado; según The Conference Board entre el año 2000 y 2018 la economía colombiana cayó en 1.2%, por lo que convertir esta tendencia requiere de estrategias que permitan la implementación de nuevos modelos de negocio e innovación que mejoren el uso de los recursos naturales aportando valor a la economía colombiana (Gobierno de Colombia, 2019).

En Colombia existen leyes y resoluciones que regulan las fuentes renovables en Colombia, una de ellas es la Ley 1715 de 2014, esta tiene como objetivo promover el desarrollo y la utilización de fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable (Bioenergía, 2016), sin embargo, lastimosamente, los problemas para el desarrollo de tecnologías y alternativas son en su mayoría por la falta de información sobre la cascarilla de arroz como recurso energético, también la adaptación a las condiciones del nuevo mercado, la competencia del mercado convencional y la falta de canales comerciales y finalmente, el marco político-legislativo inestable para proyectos innovadores con biomasa (Benavides, 2014).

La industria de los hidrocarburos ha repercutido negativamente en el medio ambiente, específicamente contra el suelo, el aire, el agua, la fauna y la flora, pues en lo referente al upstream y downstream de la cadena de suministro del petróleo se han generado efectos medioambientales como deforestación, erosión, derrames de petróleo, extinción de especies, generación de residuos sólidos, emisiones de gases contaminantes, entre otros (Ardila, 2014; Bravo 2007); por lo que la necesidad de encontrar fuentes alternas de energía es una prioridad, sin embargo, los procesos que transforman la biomasa también repercuten en contra del ambiente, claro está que en menor medida, además, teniendo en cuenta que el impacto ambiental llega a ser menor que cuando se deben quemar los residuos o desechos lo cual genera emisión de sustancias tóxicas y contaminantes. La combustión de biomasa

genera emisiones compuestos orgánicos y cenizas, por ejemplo, el plomo y cadmio, lo cual puede llegar a contaminar el agua y suelo si se tiene contacto con dichos medios; en los procesos de gasificación y pirólisis se pueden producir compuestos orgánicos no deseados como ácidos, fenoles y hidrocarburos aromáticos que pueden contaminar fuentes hídricas y repercutir la salud humana de los directamente implicados al asociarse con el cáncer; no obstante, los riesgos ambientales pueden disminuirse a través del control y monitoreo de procesos, diseño de sistemas de limpieza, planes y medidas de seguridad y precaución, e implementación de catalizadores (Ambientum, s.f.).

4. Conclusiones

Es importante desarrollar más estrategias y normativas que promuevan el desarrollo y transición energética en Colombia hacia nuevas alternativas menos contaminantes que puedan suplir la demanda de energía actual y las proyecciones planteadas para los próximos años.

La matriz energética de Colombia y el mundo depende en su mayoría de combustibles fósiles, es por esto que es importante realizar iniciativas que permitan la transición de energías no renovables a renovables.

La cascarilla de arroz tiene un potencial energético marcado para Colombia, debido a los altos volúmenes de producción de este cultivo y los desperdicios generados a partir de esta actividad.

Es necesario realizar una revisión exhaustiva de la normativa ambiental, social y técnica vigente para el desarrollo y control de este tipo de iniciativas que buscan darle un valor agregado a los residuos y solventar la demanda energética del país.

5. Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores (UNICEPES).

Referencias

Amaris, J. M., Manrique, D. A., & Jaramillo, J. E. (2015). Biocombustibles líquidos en Colombia y su impacto en motores de combustión interna. Una revisión. *Fuentes, el reventón energético*, 13(2), 23-34. Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistafuentes/article/view/5236/5538>

- Ambientum. (s.f.). Impacto ambiental de la biomasa. Disponible en: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/impacto_ambiental_de_la_biomasa.asp
- Antonio, M., & Camargo, C. (2015). plan energético nacional Colombia: ideario energético 2050. *Bogotá DC*. Disponible en: http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen_idearioenergetico2050.pdf
- Ardila, W. (2014). Impactos de la industria petrolera en el medio ambiente – Upstream. *Tesis de pregrado. Universidad Industrial de Santander*. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/155400.pdf>
- Baskar, G., Kalavathy, G., Aiswarya, R., & Abarnaebenezer Selvakumari, I. (2019). 7 - advances in bio-oil extraction from nonedible oil seeds and algal biomass. In K. Azad (Ed.), *Advances in eco-fuels for a sustainable environment* (pp. 187-210) Woodhead Publishing. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102728-8.00007-3>. Disponible en: from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081027288000073>
- Belonio, A. T. (2005). Rice husk gas stove handbook. *Appropriate Technology Center. Department of Agricultural Engineering and Environmental Management, College of Agriculture, Central Philippine University, Iloilo City, Philippines*, 1-155. Disponible en: http://bioenergylists.org/stovesdoc/Belonio/Belonio_gasifier.pdf
- Benavides, O. O. (2014). Potencialidades y limitaciones del uso de la biomasa residual agroindustrial caso departamento del Cesar. *Revista Agunkuyâa*, 4(1). Disponible en: <https://revia.areandina.edu.co/index.php/Cc/article/view/1173>
- Bioenergía, (2016). Normatividad para las Energías Renovables en Colombia. Cámara de Comercio de Cali. Disponible en: <https://www.ccc.org.co/file/2016/04/Ritmo-Bioenergia-Bioenergia.pdf>
- Blanco González, J. A., García de La Fuente, L., & Álvarez García, M. Á. (2013). Condicionantes económicos del aprovechamiento de biomasa forestal con fines energéticos. Una revisión de las estimaciones para el norte de España. *Estudios de economía aplicada*.
- Bravo, E. (2007). Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad. https://www.inredh.org/archivos/documentos_ambiental/impactos_explotacion_petrolera_esp.pdf
- Bushra, B., & Remya, N. (2020). Biochar from pyrolysis of rice husk biomass—characteristics, modification and environmental application. *Biomass Conversion and Biorefinery*. doi:10.1007/s13399-020-01092-3. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-020-01092-3>
- Casas, M. P. M., Ramírez, A. M. G., Figueroa, M. P. A., Macualo, F. H. E., & Martin, C. A. G. (2019). Selección de campos para la implementación de solar EOR como proceso térmico de recobro mejorado en Colombia. *Fuentes, el reventón energético*, 17(2), 27-37. Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistafuentes/article/view/10256/10211>
- Cassio, H. Z., Bravo, C. O., & Machado, N. F. (2015). Biofuel production from thermocatalytic processing of vegetable oils: A review. *Fuentes, el reventón energético*, 13(2). Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistafuentes/article/view/5241>
- Castro-Garzón, H., Contreras, E. J., & Rodríguez, J. P. (2020) Análisis ambiental: impactos generados por los residuos agrícolas en el municipio de El Dorado (Meta, Colombia). *Revista ESPACIOS. ISSN*, 798, 1015. Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n38/a20v41n38p05.pdf>
- Contexto Ganadero. (2016). Conozca otros usos que se le pueden dar a la cáscara de arroz. Disponible en: <https://www.contextoganadero.com/agricultura/conozca-otros-usos-que-se-le-pueden-dar-la-cascara-de-arroz>
- Chica, J., Tirado, Y. C., y Barreto, J. M. (2016). Competitive indicators from Colombia and US rice production. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 16-31. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a02.pdf>
- Coronado G, R., y Valencia L, R. A. (2015). Gestión Integral de Residuos Agrícolas para la Generación de Materias Primas en el Municipio de Cota Cundinamarca. Disponible en: <https://repository.uis.edu.co/handle/document/10256>

- udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3001/CoronadoGutierrezRaul2015.pdf;jsessionid=BCFBAA097B95AA03B3B3C0CA67DFBC3B?sequence=1
- Corredor, G. (2018). Colombia y la transición energética. *Ciencia política*, 13(25), 107-125. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6522185>
- Costa, M. T. (2016). Evolución del sector eléctrico español (1975-2015). *Información Comercial Española. Revista de Economía ICE*, 2016, vol. 889-890, num. Marzo-junio, p. 139-156. Disponible en: <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/126604>
- DANE, 2017. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_abr_2017.pdf
- DANE, 2019. Boletín Técnico: Encuesta Nacional de Arroz Mecanizado (ENAM) I Semestre 2019. Fondo Nacional del Arroz, 1-21.
- Díaz, D. (2019). *Usos potenciales de cascarilla de arroz en el departamento de Casanare*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Tesis de pregrado. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/30131/80811242.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dirección General de Gas Natural y Petroquímicos (2015). Gas natural. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/12459/Documento_Gas_Natural_2015.pdf
- Durán, M. C. Y., Rengifo, M. C., Martínez, I. V., Gaviria, I., & Salazar, K. G. (2018). EVALUACIÓN DEL USO DE LA CASCARILLA DEL ARROZ PARA EL DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*. Disponible en: <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/418/415>
- Durán-García, M. E. (2014). REACTORES DE LECHO FLUIDIZADO Y LECHO BURBUJEANTE EN LA GASIFICACIÓN DE BIOMASA RESIDUAL. *Revista Fuentes, El Reventón Energético*, 12(2). Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistafuentes/article/view/4789>
- EMIS profesional, (2020). Unión de arroceros S.A.S. Disponible en: <https://www-emis-com.ezproxy.uamerica.edu.co/php/companies/index?pc=CO&cmpy=1217287>
- Enerdata (2019) Estadísticas de consumo energético mundial. Disponible en: <https://datos.enerdata.net/energia-total/datos-consumo-internacional.html>
- Energy Information Administration (eia) (2020). Coal explained. Disponible en: <https://www.eia.gov/energyexplained/coal/>
- EnergyTransitionInstitute. (2015). An introduction to natural gas. Growing importance, current challenges. Disponible en: <https://www.energy-transition-institute.com/documents/17779499/17781888/Summary+Introduction+to+Natural+Gas-ENG.pdf/f054f8fb-3a2c-a458-1e26-e8330a0a6f3f?t=1554800318222>
- Escalante, H., Orduz, J., Zapata, H., Cardona, M. y Duarte, M. (2020) *Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia*. Ministerio de minas y energía. Disponible en: https://www1.upme.gov.co/siame/Documents/Atlas-Biomasa/1_Indice_Generalidades.pdf
- Fedearroz (2020). *Área, producción y rendimientos*. Disponible en: http://www.fedearroz.com.co/new/apr_public.php
- Ferrari, L. (2013). Energías fósiles: diagnóstico, perspectivas e implicaciones económicas. *Revista Mexicana de Física*, 59(2), 36-43.
- Fornillo, B. M. (2016). Sudamérica Futuro: China global, transición energética y posdesarrollo. Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/107723>
- Foster, S., & Elzinga, D. (2015). El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible. *Revista Crónica ONU*, 52(3), 1. Disponible en: <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>
- Galán Riveros, X. F. (2016). *Potencial energético de la biomasa residual agrícola en Colombia* (Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América). Disponible en: <https://www>

- researchgate.net/publication/327232550_Potencial_energetico_teorico_y_tecnico_de_biomasa_residual_disponible_en_Colombia_para_el_aprovechamiento_en_procesos_de_trasformacion_termoquimica
- Giraldo, M., Ramírez, R. V., & Quintanilla, A. U. (2018). Las energías alternativas ¿una oportunidad para Colombia? Punto de vista, 9(13), 5. Disponible en: <https://journal.poligran.edu.co/index.php/puntodevista/article/view/1117>
- Gobierno de Colombia, (2019). Estrategia Nacional de Economía Circular. Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Ministerio de Comercio Industria y Turismo. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia%20Nacional%20de%20EconA%CC%83%2%B3mia%20Circular-2019%20Final.pdf_637176135049017259.pdf
- Gómez-Soto, J. A., Sánchez-Toro, Ó. J., & Matallana-Pérez, L. G. (2019). Residuos urbanos, agrícolas y pecuarios en el contexto de las biorrefinerías. *Revista Facultad de Ingeniería*, 28(53), 7-32.
- González, L. V. P., Gómez, S. P. M., & Abad, P. A. G. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *RIAA*, 8(2), 141-150. Disponible en: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:271QgfLZFxYJ:https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6285350.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co>
- Lam, M. K., Loy, A. C. M., Yusup, S., & Lee, K. T. (2019). Chapter 9 - biohydrogen production from algae. In A. Pandey, S. V. Mohan, J. Chang, P. C. Hallenbeck & C. Larroche (Eds.), *Biohydrogen (second edition)* (pp. 219-245) Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64203-5.00009-5>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444642035000095>
- Lozano Rojas, C. L. (2020) Alternativas de usos de la cascarilla de arroz (Oriza sativa) en Colombia para el mejoramiento del sector productivo y la industria. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/33698/cllozanor.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20industria%20arrocera%20colombiana%20produce,arrojada%20a%20cursos%20de%20agua%2C>
- Martínez-Ángel, J. D., Pineda-Vásquez, T. G., López-Zapata, J. P., & Betancur-Vélez, M. (2010). Experimentos de combustión con cascarilla de arroz en lecho fluidizado para la producción de ceniza rica en sílice. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (51), 104-111. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/430/43016341011.pdf>
- Mayo, K. (2018). Salvado de arroz estabilizado: Ingrediente económico y nutricional para dietas de aves de corral y cerdos. Disponible en: <https://www.engormix.com/balanceados/articulos/salvado-arroz-estabilizado-ingrediente-t41936.htm>
- Membrillera Serrano, B. (2018). Aplicación de la biomasa a la generación de energía térmica. Análisis de instalaciones. Disponible en: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/81969/TFM-1148-MEMBRILLERA.pdf?sequence=1>
- Millati, R., Cahyono, R. B., Ariyanto, T., Azzahrani, I. N., Putri, R. U., & Taherzadeh, M. J. (2019). Agricultural, Industrial, Municipal, and Forest Wastes. Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches, 1–22. doi:10.1016/b978-0-444-64200-4.00001-3. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/book/9780444642004/sustainable-resource-recovery-and-zero-waste-approaches>
- Mohiuddin, O., Mohiuddin, A., Obaidullah, M., Ahmed, H., & Asumadu-Sarkodie, S. (2016). Electricity production potential and social benefits from rice husk, a case study in Pakistan. *Cogent Engineering*, 3(1), 1177156. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311916.2016.1177156>
- Montenegro Perafan, A. F. (2020). El fracking como alternativa para la economía nacional (Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América). Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8091/1/467885-2020-III-NIIE.pdf>
- Montes, G., Candelo R. y Muñoz, A. (2018) *La economía del arroz en Colombia*. Unidad de Estudios Agrarios del Departamento Nacional de Planeación. Disponible en: https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/RevistaPD/1980/pd_vXII_n1_1980_art.2.pdf

- Morales-García, A. (2021). Petróleo, ¿cómo se origina? Logos Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 2, 8(15), 20-21. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa2/article/view/6513>
- Nguyen, H. N., Ha-Duong, M., & Van de Steene, L. (2015, July). A critical look at rice husk gasification in Cambodia: Technology and sustainability. In *International Forum on Green Technology and Management (IFGTM) 2015*. Disponible en: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01150079/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2019) Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. Disponible en: http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/GuiadeBiogasyBiodigestores-19-08-29.pdf
- Páez Díaz, C. L., Bolívar Mora, D. A., & Montiel Ruiz, E. D. (2018). Análisis de los estudios de caso del sector arroz para la medición, valoración y registro de acuerdo con las Normas Internacionales de Información Financiera en Colombia. Disponible en: https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/6889/1/2018_analisis_de_los_estudios_de_caso.pdf
- Páez, O. L., Navarro, A. R., Páez, C. A. J., y Herrera, L. F. R. (2016). La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación. *Producción limpia*, 11(2). Disponible en: <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/1246>
- Perfetti, J. J., Hernández, A., Leibovich, J., & Balcázar, Á. (2013). Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia. Disponible en: https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/61/LIB_2013_Pol%C3%ADticas%20para%20el%20desarrollo%20de%20la%20agricultura_Completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Planas, O. (2018). Las 4 generaciones diferentes de biocombustibles. *Energía Solar*. Disponible en: <https://solar-energia.net/energias-no-renovables/biocombustibles/generaciones#biocombustibles-de-cuarta-generacion>
- Porrás, Á. C., & González, A. R. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Academia y virtualidad*, 9(2), 90-107. Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/ravi/article/view/2004/1988>
- Prias, O. (2018). Energías renovables, una alternativa para la innovación ambiental. Seminario Nacional del Medio Ambiente. Disponible en: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5b08443fb7cbe.pdf>
- Puente Aranda, E. M. (2019). Evolución de la demanda energética en el largo plazo. Trabajo de grado Máster. Universidad Pontificia. Disponible en: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/32003>
- Quintero González J. R., & Quintero González, L. E. (2015). Biomasa: métodos de producción, potencial energético y medio ambiente. *I3+*, 2(2), 28-44. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/268537444.pdf>
- Quispe, I., Navia, R., & Kahhat, R. (2017). Energy potential from rice husk through direct combustion and fast pyrolysis: a review. *Waste management*, 59, 200-210. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/309223559_Energy_potential_from_rice_husk_through_direct_combustion_and_fast_pyrolysis_A_review
- Ramírez Acevedo, J. D. (2018). Viabilidad energética con base en paneles solares para restaurante santa costilla Briceño. Disponible en: https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/6292/1/2018_Paneles%20solares%20en%20proyectos%20agiles.pdf
- Riaño, A. M. S. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 1(5).
- Ritchie, H., & Roser, M. (2017). Fossil fuels. Our world in data. Disponible en: <https://ourworldindata.org/fossil-fuels#global-fossil-fuel-consumption>
- Sánchez, A. L. (2017). Diseño de una planta de gasificación con cogeneración para el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz en un proceso industrial. *Doctoral Thesis. Universidad Politécnica de Madrid*. Disponible en: http://oa.upm.es/47702/1/TFG_ALEJANDRO_SANCHEZ_LARIO.pdf

- Sankaran, R., Show, P. L., Nagarajan, D., & Chang, J. (2018). Chapter 19 - exploitation and biorefinery of microalgae. In T. Bhaskar, A. Pandey, S. V. Mohan, D. Lee & S. K. Khanal (Eds.), *Waste biorefinery* (pp. 571-601) Elsevier. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63992-9.00019-7>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444639929000197>
- Sierra, J. (2009). Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia. *Tesis de maestría. Universidad de Sucre*. Disponible en: <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/handle/001/211/333.794S571.pdf;jsessionid=F02E122A0E8E1E97CFDF92EDB77B962D?sequence=2>
- Singh, B. (2018). 13 - rice husk ash. In R. Siddique, & P. Cachim (Eds.), *Waste and supplementary cementitious materials in concrete* (pp. 417-460) Woodhead Publishing. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102156-9.00013-4> Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081021569000134>
- Southern, G. M. S. (2007). Report and Recommendation of the President to the Board of Directors.
- Spiegeler, C., & Cifuentes, J. I. (2016). Definición e información de energías renovables. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4455/>
- Tobar Toral, E. M., y Quijije Tóala, K. D. (2017). *Estudio de factibilidad en la implementación de una empresa de reciclaje a base de cáscara de arroz en el cantón Daule, provincia del Guayas, con el fin de abastecer a plantas industriales de paneles solares* (Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Administrativas). Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/20191/1/TESIS%20CASCARA%20DE%20ARROZ%20%202017MAYO.pdf>
- Tovar Nieto, D. C. (2019). *Análisis de las Particularidades de la Producción y Comercialización del Arroz en Colombia 2010-2018* (Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América). Disponible en <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/am/20.500.11839/7900/2/2142126-2019-2-EF.pdf>
- Tovar, C. T., Benítez, L. T., Ortiz, Á. V., & Rodríguez, L. M. (2013). Obtención de biodiesel a partir de diferentes tipos de grasa residual de origen animal. *Revista luna azul*, (36), 10-25.
- United States Geological Survey (USGS) (2017). What is coal? Disponible en: https://www.usgs.gov/faqs/what-coal?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products
- Van-Groenestijn, J., Harmsen, P., & Bos, H. (2020). *Biomasa para la economía circular: Todo lo que querías saber sobre la biomasa, pero no te atreías a preguntar*. Wageningen Food & Biobased Research. Disponible en: <https://edepot.wur.nl/535237>
- Velázquez Martí, B. (2018). *Aprovechamiento de la biomasa para uso energético*. Editorial Universitat Politècnica de València. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/113122/IPP-Vel%20Mart%20-%20Aprovechamiento%20de%20la%20biomasa%20para%20uso%20energ%20c3%a9tico.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- World Energy Council (2013) Recursos energéticos globales. Encuesta 2013: Resumen. Disponible en: <https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2014/04/Traduccion-Estudio-Recursos-Energeticos1.pdf>
- Xiujuan, G., Shurong, W., Qi, W., Zuogang, G., Zhongyang, L (2011). Properties of Bio-oil from Fast Pyrolysis of Rice Husk., 19(1), 116–121. doi:10.1016/s1004-9541(09)60186-5. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1004954109601865>
- Yu, Y., Yang, Y., Cheng, Z., Blanco, P. H., Liu, R., Bridgwater, A. V., & Cai, J. (2016). Pyrolysis of rice husk and corn stalk in auger reactor. 1. Characterization of char and gas at various temperatures. *Energy & Fuels*, 30(12), 10568-10574. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.energyfuels.6b02276>