

EL PAPEL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN LA MATRIZ ENERGÉTICA COLOMBIANA

EL PAPEL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN LA MATRIZ ENERGÉTICA COLOMBIANA

**COMPILADOR
RENÉ RAMÍREZ FERNÁNDEZ**

Institución Universitaria Americana
Sello Editorial Coruniamericana



El papel de las energías renovables en la matriz energética colombiana / Compilado por René Ramírez Fernández ...
[y otros 11] – Barranquilla : Sello Editorial Coruniamericana, 2023.

62 páginas, ilustraciones ; 17x24 cm.
ISBN: 978-958-5169-57-9 (digital)

1. Corporación Universitaria Americana – Proyectos de investigación. 2. Recursos energéticos – Investigaciones – Colombia. 3. Recursos energéticos renovables – Colombia. 4. Consumo de energía – Investigaciones – Colombia. 5. Control ambiental – Investigaciones – Colombia. 6. Protección del medio ambiente – Investigaciones – Colombia. I. Ramírez Fernández, René, compilador. II. Chero Valdivieso, Henry Alberto, prologuista. III. García Arango, David Alberto, coautor. IV. Arboleda Mazo, Walter Hugo, coautor. V. Villa Sánchez, Elkin Andrés, coautor. VI. Henao Villa, César Felipe, coautor. VII. Henao Villa, Federico, coautor. VIII. Pinto Blanco, Ana Myriam, coautor. IX. Rueda Galofre, José, coautor. X. Adié Villafañe, Jonathan, coautor. XI. Pérez Olivera, Harold, coautor. XII. Ramírez Fernández, René, coautor.

333.794 P214 2023 SCD23 ed.

Corporación Universitaria Americana-Sistema de Bibliotecas



Institución Universitaria Americana ©

Sello Editorial Coruniamericana©

ISBN digital: 978-958-5169-57-9

EL PAPEL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN LA MATRIZ ENERGÉTICA COLOMBIANA

Compilador: **René Ramírez Fernández**

Presidente

JAIME ENRIQUE MUÑOZ

Rectora Nacional

ALBA LUCÍA CORREDOR GÓMEZ

Vicerrector Académico Nacional

MARIBEL YOLANDA MOLINA CORREA

Vicerrector de Investigación Nacional

RICARDO SIMANCAS TRUJILLO

Coordinación Sello Editorial

EVA LUNA CONTRERAS MARIÑO

Sello Editorial Coruniamericana

selloeditorialcoruniamericana@coruniamericana.edu.co

Diagramación y portada: Kelly J. Isaacs González

Imágenes: Freepik.com

Corrección de estilo: Eva Luna Contreras Mariño

1ª edición: 2023-07-05

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada en sistema recuperable o transmitida en ninguna forma o por medio electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, u otro, sin previa autorización por escrito del Sello Editorial Coruniamericana y de los autores. Los conceptos expresados en este documento son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente corresponden con los de la Corporación Universitaria Americana y da cumplimiento al Depósito Legal según lo establecido en la Ley 44 de 1993, los decretos 460 del 16 de marzo de 1995, el 2150 de 1995, el 358 de 2000 y la Ley 1379 de 2010.

CONTENIDO

05

PRÓLOGO

06

Balance Energético Colombiano:
identificación y análisis de factores
asociados al consumo energético en
Colombia durante el período 2001 – 2018

18

Retos y Obstáculos para la Transición
Energética en Latinoamérica y Colombia

38

Estrategia integral de I + D + i para la
utilización de energías renovables en el sector
ganadero orientada a la disminución de costos
de producción y la huella de Carbono en el
departamento del Atlántico

51

Biodigestores en el agro colombiano y la
reducción de la huella de carbono



“**L**a conservación es un estado de armonía entre el Hombre y la Tierra” es una frase asociada a Aldo Leopold (1887-1948) ambientalista estadounidense y con la cual deseo aproximarme a esta importante obra titulada “EL PAPEL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN LA MATRIZ ENERGÉTICA COLOMBIANA” que me honro en prologar y con cuya publicación el Maestro, Ing. René Ramírez Fernández, de notable experiencia académica, en su rol de Coordinador y uno de los autores del libro, consigue en la compilación que los investigadores evidencien su sensibilización por el cuidado del medio ambiente y su visible preocupación por el abuso de las energías no renovables abogando, con argumento científico, por un balance energético para Colombia, promoviendo una transición energética, por el uso de energías renovables y el uso de biodigestores para la reducción de la huella de carbono. Es de relevar que cada uno de los aportes que encontrará en el libro son el resultado de investigaciones que han tenido como punto de partida la recopilación de información, el análisis de datos estadísticos reales y el empleo de una metodología que garantiza que las conclusiones que se socializan en cada uno de los cuatro capítulos del libro son aportes importantes que cuentan con un sustento científico.

EL PAPEL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN LA MATRIZ ENERGÉTICA COLOMBIANA, constituye un aporte de inestimable valor académico. Que contribuye con propuestas para la transformación de la matriz energética de Colombia y su influencia para el desarrollo agropecuario. Pone a debate la transición energética y el reemplazo de combustibles fósiles por fuentes renovables de energía. Propone una Estrategia integral de I + D + i para la utilización de energías renovables en el sector ganadero y analiza el uso de Biodigestores como una alternativa económica con impacto favorable en el medio ambiente y la producción de energía para el agro colombiano.

La preocupación que tiene el mundo por la energía y el cuidado del planeta hace de necesidad que nos adentremos a la lectura de “EL PAPEL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN LA MATRIZ ENERGÉTICA COLOMBIANA”, sin dejar de reconocer, en la Corporación Universitaria Americana y los autores del libro, el gran aporte que hacen al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente al Objetivo 07: Energía Asequible y no contaminante, Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles, y el Objetivo 12: Producción y consumo responsables. Sin duda, loable labor de la comunidad académica que con sus esfuerzos suman a lograr el cumplimiento de la de la Agenda 2030 que hoy exige el mundo.

Prof. Dr. Henry Chero-Valdivieso



CAPÍTULO 1

Balance Energético Colombiano: identificación y análisis de factores asociados al consumo energético en Colombia durante el período 2001 - 2018

David Alberto García Arango

Magíster en Matemáticas Aplicadas, Corporación Universitaria
Americana, dagarcia@coruniamericana.edu.co

Walter Hugo Arboleda Mazo

Magíster en Ciencias Computacionales, Institución Universitaria
Digital de Antioquia, walter.arboleda@iudigital.edu.co

Elkin Andrés Villa Sánchez

Magíster en Ingeniería con énfasis en Big Data, Corporación
Universitaria Americana, evilla@americana.edu.co

Cesar Felipe Henao Villa

Magíster en Entornos Virtuales de Aprendizaje, Corporación
Universitaria Americana, chenao@coruniamericana.edu.co



El Balance Energético Colombiano (BECO) es una matriz de producción y uso de energía que presenta la información relacionada con aspectos de producción, transformación y consumo de energía del país para 19 energéticos, considerando mediciones expresadas en unidades físicas [1]. Los registros que se tienen al respecto en el sitio de datos abiertos de Colombia van de 1975 a 2018 y agrupan 5632 registros de datos. El presente capítulo presenta la metodología y resultados obtenidos del análisis de un subconjunto de estos datos considerando el período 2001 – 2018. Los datos se procesaron en términos de la agrupación de variables en factores a través de un análisis factorial exploratorio basado en el método de máxima verosimilitud. Como resultado se obtienen 9 factores que conglomeran 31 variables para 5362 registros con un valor KMO=0,767 a una significancia inferior a 0,01.

A través del análisis de la agrupación de variables en factores y los valores de correlación de éstos con la variable asociada al consumo energético del país, se identifican aspectos clave en materia de transición energética para períodos posteriores. Específicamente se resalta una correlación significativa que da cuenta de una relación directa entre el consumo energético del país y el primer factor conformado por las variables de oferta de energía disponible para sectores de consumo final, oferta de energía después de exportaciones y autoconsumos, extracción primaria o producción del energético, consumo de energía del sector industrial y la suma de los consumos propios de energía de los sectores eléctrico y de hidrocarburos. El desarrollo de políticas para la reducción de consumos presenta una oportunidad para la implementación de energías limpias y el fortalecimiento del agro en el país.

II. CONTEXTUALIZACIÓN

El balance energético colombiano BECO, es una herramienta que sirve para la consulta, planeación, producción, transformación, identificación y comparación de los consumos de energía por año a nivel nacional; esta información es suministrada por el Dane, ANH, ANM, Sicom, Ministerio de Minas y Energía, entre otros. Colombia tiene una larga tradición en la construcción y publicación de su balance energético, en el portal de la web de La Unidad de planeación minero energético UPME, se puede consultar datos desde el año 1975, mostrando información oportuna, certera y verificable.

La Unidad de planeación minero energético UPME de Colombia, es la unidad técnica y administrativo especial encargada del desarrollo sostenible de los sectores

mineros y energéticos del país, incluidos los hidrocarburos, esta unidad realizó una actualización de su balance energético (BEN) en el año 2013.

La UPME, desde su rol de Chief Information Officer - CIO del sector minero energético del país, tiene la responsabilidad de mejorar en calidad, cantidad y oportunidad la entrega de información. Sin embargo, es una responsabilidad que la UPME no puede acometer por sí misma, sin el apoyo de empresas, agencias, ministerios, unidades administrativas y demás entidades privadas o públicas [2].

El sector de energía es un motor de equidad social y de gran aporte para el crecimiento económico, a través de su rol como insumo para los procesos productivos y como bien de servicio público que brinda mayor bienestar a la población. Las acciones encaminadas a lograr un mayor acceso, confiabilidad y eficiencia en el uso del recurso son fundamentales para que el país avance en materia de productividad y competitividad.

Adicionalmente, el país ha hecho apuestas importantes en materia de almacenamiento de energía, movilidad sostenible y eficiencia energética, con las cuales se espera contribuir a la descarbonización, digitalización y descentralización de la matriz eléctrica nacional [3].

A pesar de los esfuerzos, persisten retos generalizados en cuanto al acceso y la calidad del servicio de energía a nivel regional. En Colombia hay un gran sector de familias que no cuentan con conexión a la red eléctrica, se ubican en zonas del país geográficamente aisladas. En lo que respecta a la calidad del servicio, el país presenta amplias brechas territoriales en la duración y la frecuencia con la que se da la interrupción del servicio, limitando el desarrollo de las economías locales y la mejora en la calidad de vida de la población más vulnerable.

La eficiencia energética contribuye al aseguramiento del abastecimiento de energía y asiste de manera costo-efectiva en el aprovechamiento del recurso, resulta fundamental promover la adopción de nuevas tecnologías (de uso, medición y análisis), buenas prácticas operacionales y hábitos de consumo para optimizar el uso de la energía disponible [4].

Existe un marco normativo en el país desde el año 2000 que busca incentivar el uso eficiente de energía, el programa vigente define proyectos y metas a conseguir hacia el futuro. Sin embargo, hasta la fecha, el grado en que la normativa ha producido resultados efectivos es cuestionable. Por tanto, es necesario darles una mayor relevancia a las metas y dotarlas de instrumentos para hacerlas alcanzables,



así como del acompañamiento institucional y el apoyo regulatorio que permita ejecutarlas. Tal es el caso de las normas sobre la dinamización de la respuesta de la demanda o la aplicación de las normas tributarias a nivel local y nacional que favorezcan la movilidad eléctrica [5].

La eficiencia energética es un mecanismo para asegurar el abastecimiento energético, el cual se sustenta en la adopción de nuevas tecnologías y buenos hábitos de consumo, con el fin de optimizar el manejo y uso de los recursos energéticos disponibles.

Esta se constituye en un instrumento para aumentar la productividad y la competitividad de la economía, y es una de las principales estrategias de mitigación de los impactos ambientales de la cadena energética [6].

III. MÉTODO O METODOLOGÍA

El desarrollo de la investigación es de enfoque cuantitativo con alcance exploratorio. El conjunto de datos analizado fue la matriz energética que provee la Unidad de Planeación Minero-Energética. El análisis de datos se realizó utilizando el software SPSS Modeler [7], en el cual se aplicó una técnica de análisis factorial con rotación oblimin para posteriormente identificar las agrupaciones de variables por factor. Las variables analizadas se iban excluyendo según su aporte de carga factorial y dependiendo de los valores de comunalidades, en ese sentido, si una comunalidad superaba el valor de 1.0, entonces la variable mayor a esa comunalidad se quitaba del análisis.

El desarrollo del análisis factorial se llevó a cabo mediante el método de extracción de máxima verosimilitud y utilizando un método de rotación obilimin directo, el cual da cuenta de la organización de las variables identificadas en conjuntos de variables denominados factores, el valor de KMO obtenido da cuenta de la posibilidad de llevar a cabo el análisis. Las ecuaciones 1 y 2 presentan, respectivamente, las pruebas KMO y de esfericidad.

$$KMO = \frac{\sum_{j \neq k} \sum r_{jk}^2}{\sum_{j \neq k} \sum r_{jk}^2 + \sum_{j \neq k} \sum p_{jk}^2}$$

Ecuación 1. Expresión para el cálculo de la prueba KMO

Como aspecto clave para la identificación de factores relacionados, se realiza la prueba de esfericidad de Bartlett, la cual tiene como expresión la mencionada en la ecuación 2.

$$X^2 = \frac{(N - k) \ln(S_p^2) - \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \ln(S_i^2)}{1 + \frac{1}{3(k-1)} \left(\sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{n_i - 1} \right) - \frac{1}{N - k} \right)}$$

Ecuación 2. Expresión para el cálculo de la prueba de esfericidad de Bartlett

Con base en lo anterior, en la Figura 1 se presenta gráficamente la metodología aplicada.

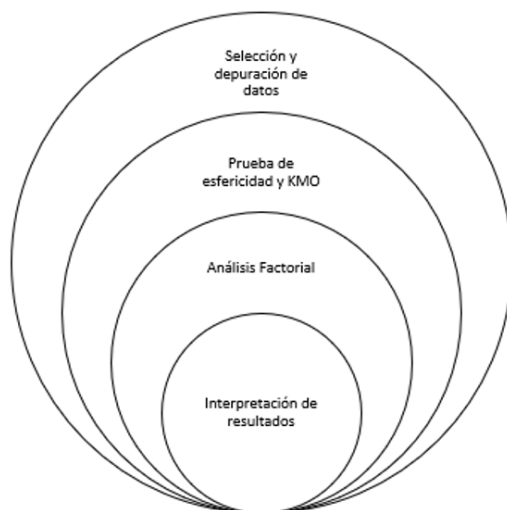


Fig. 1. Ruta metodológica aplicada en la investigación.

Se observa cómo la metodología se lleva a cabo por capas, donde la capa más externa y que primero se realiza es la selección y depuración de datos. La última capa corresponde a la interpretación de resultados.

IV. RESULTADOS

En este apartado se presentarán las variables que fueron agrupadas y las características de los factores obtenidos.



En relación con las variables que se han agrupado, se tiene la descripción presentada en la Tabla 1.

TABLA I.
Presentación de variables utilizadas y su descripción

Nombre de variable	Descripción
Con Final	Suma del consumo final de energía de todos los sectores
Oferta Int Con Final	Oferta de energía disponible para sectores de consumo final
CF Industrial	Consumo de energía final del sector industrial
Fluvial	Consumo de energía por parte del transporte fluvial
Total Carretero	Suma de energía consumida en el subsector carretero en el sector transporte
Ferroviario	Consumo de energía por parte del transporte ferroviario
CF Construcciones	Consumo del sector de las construcciones
Importación	Importaciones del energético
Con Pro Hid Extr	Consumo propio de energía sector hidrocarburos en actividades de extracción
Con Pro Hid Mer	Consumo propio de energía sector hidrocarburos en actividades de mercado
Con No Ener	Consumo del energético para usos diferentes a generar energía
Con Pro Hidro	Consumo propio de energía sector hidrocarburos total
CF Comercial y Publico	Consumo del sector terciario, servicios comercial y público
Coq Rf	Refinación de coque
Exportaciones	Exportaciones del energético
Ct Cen Elo	Suma: Energía eléctrica consumida por la energía eólica; Resta: Otros renovables usados en generación
Con Pro Elec	Consumo propio de energía sector eléctrico
Perdidas	Energía que se pierde en el proceso de transmisión
Ct Cen Sol	Suma: Energía eléctrica; Resta: Otros Renovables usados en generación
Reinyeccion	Energía reinyectada en campos de petróleo
Ct Cen Ter	Suma: Energía eléctrica consumida de la energía térmica; Resta: Combustibles usados en generación
No Aprovechados	Energía quemada en teas, no aprovechada
Transferencias	Energía Transferida
Ct Cen Plabio	Producción (+) y consumo (-) de energéticos en centros de transformación plantas biodiesel
Ct Plan Des	Producción (+) y consumo (-) de energéticos en centros de transformación plantas destilación
Oferta Interna Bruta	Oferta de energía después de exportaciones y autoconsumos
Ext Primaria Prod Trans	Extracción primaria o producción del energético
Cf No Identi	Consumo no identificado
Canales Informales	Combustibles que ingresan al mercado local por contrabando
Anio	Año de los datos
Ct Coquerias	Suma: Coque y Gas Industrial; Resta: Carbón

Al aplicar el análisis factorial exploratorio, se genera el índice KMO que se presenta en la Tabla 2.

TABLA 2.
Resultados de la prueba KMO y Bartlett

Prueba de KMO y Bartlett	
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo	0,768
Prueba de esfericidad de Aprox. Chi-cuadrado	45156,7
Bartlett	Gl
	Sig.
	0,000

Se identifica un valor de KMO superior a 0,7 con lo cual se cataloga como un valor bueno [8] con un valor de significancia inferior a 0,001.

Respecto a la agrupación por factores, es posible identificar la posibilidad de consolidación de 9 factores, según el análisis del gráfico de sedimentación de la Figura 2.

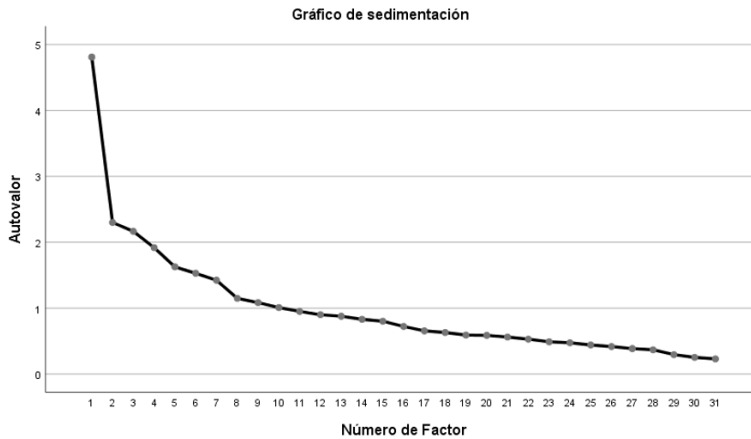


Fig. 2. Gráfico de sedimentación para la correspondencia entre autovalores y número de factores

El gráfico de sedimentación de la Figura 2 da cuenta de la existencia de 9 factores para los cuales se tienen valores propios diferenciados y superiores o iguales a 1. Los resultados de los Factores se puede observar en la Figura 2.

Los resultados se presentan en la Tabla 3.



TABLA 3.
Matriz de patrón de cargas factoriales

	Factor									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Con Final	0,902		-0,102					-0,144		
Oferta Int Con Final	0,839									
Oferta Interna Bruta	0,711						-0,102	0,368		
Ext Primaria Prod Trans	0,579				-0,102		0,140	0,376		
CF Industrial	0,569							-0,168	0,224	-0,131
Fluvial		0,805	-0,105	-0,106						0,105
Total Carretero		0,762	0,220	-0,158						
Ferroviano		0,390		0,248	0,272	-0,106			0,106	-0,194
Importacion	0,145	0,268		-0,190		-0,157			0,252	
Con Pro Hid Extr			0,706			0,166		-0,126		
Con Pro Hid Mer			0,621			0,106				
Con No Ener			0,220							
Con Pro Hidro			0,212							
Canales Informales		0,208	-0,158	-0,701	-0,104					
Cf No Identi			0,142	-0,575	0,141					
Anio			0,220	-0,318		-0,142				
Ct Cen Elo					0,600		0,162	-0,127		
Con Pro Elec					0,583			0,120		
Ct Cen Sol					0,227					
Reinyeccion			0,335			0,555				
No Aprovechados	0,153		0,149			0,508				
Ct Cen Ter		-0,143	-0,411		0,235	0,486		0,106		
Transferencias	0,104			-0,251	0,109		-0,679	-0,139		
Ct Cen Plabio							0,505			
Ct Plan Des							0,474			
CF Comercial & Publico				0,120		0,149			0,620	
Coq Rf		-0,130	0,111			-0,112			0,599	
Perdidas				-0,192	0,108					-0,482
CF Construcciones		0,374		0,221					0,285	-0,383
Ct Coquerias										0,378
Exportaciones	0,200		0,125	-0,141		-0,179			0,134	-0,215
Método de extracción: máxima verosimilitud.										
Método de rotación: Oblimin con normalización Kaiser.										
a. La rotación ha convergido en 19 iteraciones.										

De esta forma se obtienen las descripciones de factores que se presentan en la Tabla 4.

TABLA 4.
Descripciones de los factores obtenidos

Nº	Variables	Descripción
1	Con Final Oferta Int Con Final Oferta Interna Bruta Ext Primaria Prod Trans CF Industrial	Factor relacionado con el consumo de todos los sectores, la oferta de energía disponible para sectores de consumo final, consumo del energético para usos diferentes a generar energía, extracción primaria o producción del energético y la oferta disponible después de exportaciones y autoconsumos
2	Fluvial Total Carretero Ferroviario Importación	Consumo energético por parte del transporte fluvial, ferroviario, subsector carretero del sector transporte, así como niveles de importación del energético
3	Con Pro Hid Extr Con Pro Hid Mer Con No Ener	Consumo propio del sector de hidrocarburos en términos generales y en actividades del mercado y consumo el energético para diferentes a generar energía
4	Canales Informales Cf No Identi Año	Combustibles que ingresan al mercado local por contrabando, Consumo no identificado y año del registro
5	Ct Cen Elo Con Pro Elec Ct Cen Sol	Energía eléctrica consumida por la energía eólica, consumo propio de energía del sector eléctrico, energía eléctrica consumida en energía solar
6	Reinyección No Aprovechados Ct Cen Ter	Energía reinyectada en campos de petróleo, Energía quemada en teas, no aprovechada, Energía eléctrica consumida de la energía térmica
7	Transferencias Ct Cen Plabio Ct Plan Des	Energía Transferida, Producción y consumo de energéticos en centros de transformación plantas biodiesel y en centros de transformación de plantas de destilación
8	CF Comercial & Publico Coq Rf	Consumo del sector terciario, servicios comercial y público Refinación de coque
9	Perdidas CF Construcciones Ct Coquerias Exportaciones	Energía que se pierde en el proceso de transmisión, Consumo del sector de las construcciones, Suma: Coque y Gas Industrial; Resta: Carbón, Exportaciones del energético.

Con base en los factores encontrados, se realizó el cálculo de correlaciones entre los factores y variables de interés en relación con el consumo agropecuario, obteniendo la Tabla 5.

Con base en la Tabla 4 se puede observar correlaciones significativas para todas las variables relacionadas excepto los factores 3 y 6, sin embargo, los factores 1, 2, 9 y los consumos de construcciones fueron los más correlacionados con los valores del consumo energético del sector agropecuario. En ese sentido, se identifican componentes de consumo del energético para usos diferentes a generar energía, extracción primaria y oferta disponible después de autoconsumos.



TABLA 5.

Correlaciones entre factores y consumo energético del sector agropecuario

Factor/Variable	CF Agropecuario	
	Correlación de Pearson	Sig. (bilateral)
Factor 1	0,320**	0,000
Factor 2	0,434**	0,000
Factor 3	-0,013	0,324
Factor 4	0,069**	0,000
Factor 5	0,091**	0,000
Factor 6	-0,025	0,059
Factor 7	-0,031*	0,018
Factor 8	0,098**	0,000
Factor 9	0,260**	0,000
CF Comercial y Público	0,197**	0,000
CF Construcciones	0,364**	0,000
CF Industrial	0,215**	0,000

Otros componentes que se correlacionan con el consumo energético del sector agropecuario son el consumo de energía por parte del transporte fluvial, ferroviario y subsector carretero del sector transporte.

La energía que se pierde en el proceso de transmisión energética, el consumo del sector de las construcciones y el consumo en la producción de coque y gas industrial también tiene correlación con el consumo del sector agropecuario.

V. CONCLUSIONES

El trabajo realizado sugiere que la transformación de la matriz energética de Colombia aportaría significativamente al desarrollo agropecuario en Colombia en tanto al incluir energías limpias y renovables, se está generando un nivel de ahorro en consumo energético superior o igual al consumo energético asociado al sector agropecuario con lo cual se puede generar una mayor competitividad del sector tanto a nivel regional como mundial, lo cual también es referido en IEA [9].

La inclusión de energías limpias y renovables para el posicionamiento del sector agropecuario debería enfocarse en los medios de transporte fluvial, ferroviario y subsector carretero del sector transporte, adicionalmente se requiere

la implementación de procesos que generen energía de forma más eficiente, con un proceso óptimo en este sentido se podría aportar a una mayor capacidad de producción en el sector agropecuario.

Se observa cómo el crecimiento del sector de la construcción jalona los requerimientos hacia el sector agropecuario. En ese sentido, la introducción de métodos eficientes, limpios y renovables de producción energética conllevarán al balance de las ecuaciones en términos de sustentabilidad del país.



REFERENCIAS

- [1] Corporación Alemana para la Cooperación Internacional - GIZ, «Lineamientos metodológicos para la elaboración de una Hoja de Ruta de Eficiencia Energética, particularizada para el sector industrial en México,» GIZ, Eschborn, 2016.
- [2] United Nations Economic Commission for Europe, «Best policy practices for promoting energy efficiency. A structured framework of best practices in policies to promote energy efficiency for climate change mitigation and sustainable development,» United Nations, New York and Geneva, 2015.
- [3] Grupo de Políticas y Reglamentación - Dirección de Energía Eléctrica, «Análisis de impacto normativo - Reglamento Técnico de Etiquetado,» Minenergía, Bogotá, 2019.
- [4] OLADE/CEPAL/GTZ, «Energía y desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe: guía para la formulación de políticas energéticas,» CEPAL, Santiago de Chile, 2003.
- [5] Y. Lu, Z. A. Khan, M. S. Álvarez-Alvarado, Y. Zhang, Z. Huang y M. Imran, «A Critical Review of Sustainable Energy Policies for the Promotion of Renewable Energy Sources,» *Sustainability*, pp. 1-30, 2020.
- [6] A. Valencia-Arias, D. A. García Arango, J. Sepúlveda-Aguirre y C. Ocampo Osorio, «Research trends in household energy management systems: a bibliometric review,» *P-ESEM*, pp. 565-574, 2021.
- [7] IBM, «Guía de aplicaciones de IBM SPSS Modeler 18.3,» IBM, 2021.
- [8] S. Lloret-Segura, A. Ferreres-Traver, A. Hernández-Baeza y I. Tomás-Marco, «El análisis factorial exploratorio de los ítems: una guía práctica, revisada y actualizada,» *Anales de psicología*, vol. 30, n° 3, pp. 1151-1169, 2014.
- [9] IEA (International Energy Agency), «Promoting Energy Efficiency Best Practice in Cities - A pilot study,» IEA, París, 2008.



CAPÍTULO 2 Retos y Obstáculos para la Transición Energética en Latinoamérica y Colombia

Ana Myriam Pinto Blanco

Magíster en Educación, Institución Universitaria de Envigado,
ana.pinto@iue.edu.co.

Cesar Felipe Henao Villa

Magíster en Entornos Virtuales de Aprendizaje, Institución
Universitaria Americana, chenao@coruniamericana.edu.co.

David Alberto García Arango

Licenciado en Matemáticas y Física, Institución Universitaria
Americana, dagarcia@coruniamericana.edu.co.

Federico Henao Villa

Magíster en Entornos Virtuales de Aprendizaje, Corporación
Universitaria Digital de Antioquia, federico.henao@iudigital.edu.co



Si bien la mayoría de los países cuentan con un marco normativo y regulatorio para las energías identificadas como renovables y, en parte, para las soluciones orientadas a la búsqueda de brindar eficiencia energética, aún existen barreras significativas para la adopción acelerada de estas tecnologías en la región. En la presente investigación se detallan los problemas y obstáculos políticos, financieros, técnicos y sociales de los países de la región. Una de las principales características de la infraestructura energética y de suministro de energía en los países de la región es un sistema centralizado [1].

La participación de la población y los debates públicos amplios son los factores más importantes para cambiar las actitudes hacia los problemas climáticos en el entorno político y contribuyen al desarrollo de fuentes de energía renovable en los países que inician la transición hacia la energía verde. Debido a esto, se forma el nivel necesario de confianza en la sociedad y la conciencia de la realidad.

La región bajo consideración, América Latina y el Caribe (ALC), tiene un enorme potencial para la introducción de tecnologías de energía renovable y medidas de eficiencia energética, y la transición energética ya es técnicamente factible [2]. Sin embargo, evaluaciones cuidadosas del potencial técnico y la factibilidad en la región, y beneficios socioeconómicos de las transiciones en países específicos hasta ahora solo están disponibles de forma limitada y ciertamente necesitan expandirse. La presente investigación se focaliza en identificar las posibilidades de la energía verde en América Latina y el Caribe (ALC), sus retos y obstáculos.

Brinda una descripción general de las tendencias de energía renovable y eficiencia energética, políticas relacionadas e inversiones en energía renovable y examina las oportunidades y barreras para la transición de energía renovable en la región.

II. MARCO TEÓRICO

Se realizó una exploración del uso de las diferentes energías en la región, a través de la base de datos de IEEE, internet y bibliografía correspondiente.

Al mismo tiempo para la sustentación de las gráficas en el presente entorno energético, se utilizaron fuentes de información confiables, tales como Olade - Organización Latinoamericana de Energía, las cuales están construidas por medio de conjunto de datos que proceden de entidades nacionales e internacionales, donde la principal característica es brindar una significativa cobertura de información de los

países. Respecto, las fuentes de información global, las utilizadas para la construcción de esta investigación, orientada en una indagación del Panorama Energético de la región, fueron data set del Banco Mundial[3].

A. Política y Energía

Una de las principales características de la infraestructura energética y de suministro de energía en los países de la región considerada es un sistema centralizado, con monopolios y grandes empresas generadoras [4]. Especialmente en aquellos países que dependen en gran medida de los combustibles fósiles, las grandes empresas de suministro de energía son propiedad del Estado o cuentan con el apoyo directo de este y tienen poco interés en cambiar la situación actual.

El propósito del presente documento es informar y contribuir a los debates sobre cómo superar los desafíos y aprovechar las oportunidades para acelerar la transición energética y la descarbonización en los países de ALC.

Los países de ALC, difieren significativamente entre sí en su ubicación geográfica, territorio y población, así como en su desarrollo político y socioeconómico. Sin embargo, la estructura y las características del desarrollo de sus sistemas de energía tienen una serie de similitudes [5]. Por lo tanto, los países de estas regiones a menudo enfrentan desafíos similares en la implementación de tecnologías de energía renovable y eficiencia energética.

En general, la región de ALC sigue dependiendo en gran medida de los combustibles fósiles como el petróleo y sus derivados, para el suministro de energía primaria (ver Figura 1).

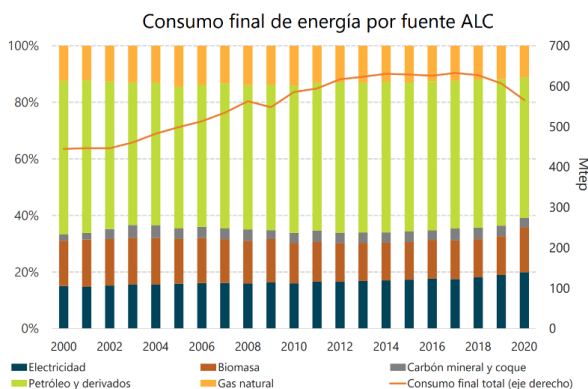


Fig. 1. Consumo final de energía por fuente ALC.

Fuente Organización Latinoamericana de Energía (<https://www.olade.org/publicaciones/panorama-energetico-de-america-latina-y-el-caribe-2021/>)



Los subsidios a los combustibles fósiles están presentes en toda la región, tanto en países exportadores como importadores de energía [6]. La participación de los subsidios a los combustibles fósiles en el PIB total de la región es una de las más altas del mundo.

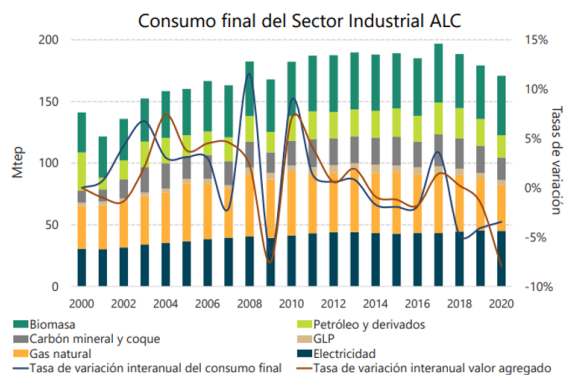


Fig. 2. Consumo final del Sector Industrial en ALC.

Nota: fuente Organización Latinoamericana de Energía

(<https://www.olade.org/publicaciones/panorama-energetico-de-america-latina-y-el-caribe-2021/>)

En términos de consumo final del Sector Industrial el Gas natural en conjunto con la Biomasa son los más utilizados (ver Figura 2).

Mientras que en el Sector Comercial, es la Electricidad (Ver Figura 3)

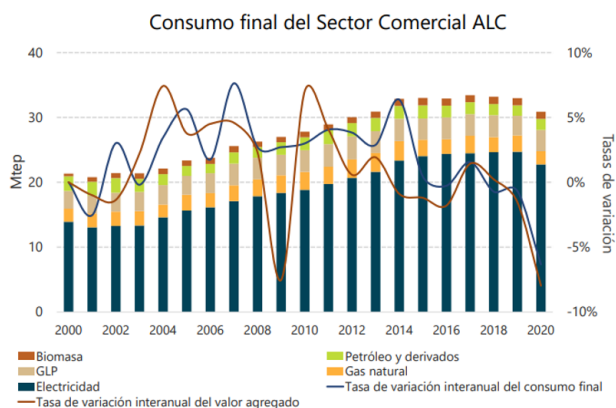


Fig. 3. Consumo final del Sector Comercial en ALC.

Nota: fuente Organización Latinoamericana de Energía

(<https://www.olade.org/publicaciones/panorama-energetico-de-america-latina-y-el-caribe-2021/>)

Por regla general, el mercado está dominado por unos pocos grandes proveedores de energía (gas, carbón y petróleo) y empresas energéticas [7]. Debido a los estrechos vínculos con el gobierno, las empresas de larga data en el mercado de la energía pueden dificultar la entrada de nuevos jugadores al mercado y dificultar la competencia. Como resultado, los países de la región a menudo carecen de mercados eléctricos abiertos, separación de propiedad en la generación y operación de las redes. Dentro del propio sector energético, la ausencia de una política, constituyen elementos de contorno que condicionan las decisiones de los actores vinculados a las fuentes renovables de energía [8].

En los países desarrollados, las fuentes de energía renovables (RES) en los últimos diez años ha sido rápido. Las políticas favorables y los mecanismos de apoyo han llevado a inversiones y avances tecnológicos, reducciones drásticas de costos y un crecimiento exponencial de las energías renovables en todo el mundo [9].

El aumento de la demanda de energía y las economías de escala, así como el deterioro de la calidad del aire y la salud pública, brindan incentivos cada vez mayores para que el sector energético cambie a fuentes renovables.[10].

Además, el aumento de la conciencia y la acción para combatir el cambio climático y proteger el medio ambiente, en relación con los compromisos en virtud del Acuerdo de París, ha provocado una tendencia mundial hacia la reducción del uso de los combustibles fósiles, motivando al cambio hacia las energías renovables y la eficiencia energéticas en muchas regiones del mundo.

La pandemia de COVID-19 ha vuelto a exponer las deficiencias del actual sistema energético mundial y enormes problemas con el acceso a la energía, que afectan negativamente la atención médica, el suministro de agua, la información y otros servicios vitales [11].

Si bien la industria de los combustibles fósiles se ha visto muy afectada por la crisis, el sector de las energías renovables ha demostrado ser más resistente.

En este sentido, numerosas organizaciones internacionales, incluida la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), la Agencia Internacional de Energía (AIE) y el Fondo Monetario Internacional (FMI) han recomendado que los funcionarios gubernamentales y empresas para hacer de la descarbonización y la transición a la energía verde un elemento clave de la recuperación económica



y los programas de apoyo financiero, incluida la eliminación gradual de los subsidios a los combustibles fósiles y el aumento de la inversión en fuentes de energía renovable [12].

Respecto a Colombia, para brindar el correcto desarrollo de la deducción relacionada con el impuesto de la renta como iniciativa a la investigación, se desarrolla una ley donde los contribuyentes declarantes que realicen directamente inversiones orientadas al uso de energías renovables tendrán la posibilidad de deducir de su renta, el valor total de la inversión, correspondiente a la mitad [13].

Colombia aprobó, por medio de la vía legislativa, la autorización al gobierno, con el objetivo de financiar con los diferentes aportes del el Sistema General de Regalías y el Presupuesto General de la Nación la participación de las entidades territoriales en los diferentes proyectos que llevaran como principal objetivo la generación de diferentes energías alternativas identificadas como renovables [14].

La mencionada autorización está dirigida a sembrar el interés de la participación territorial en proyectos de comercialización, repartición, y en la medida de lo posible a pequeña escala la generación distribuida por medio de Fuentes No Convencionales orientadas a la Energía Renovable [15]. La ley prevalece la realización de propósitos orientados al desarrollo de proyectos en áreas rurales.

Conforme a los pronósticos del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), si se desea mantener el rango de 1.5°C al 2.0 °C, de acuerdo a las condiciones preindustriales, este objetivo solo es posible si se logra un nivel de cero emisiones netas antropogénicas de CO₂ en el mundo, entre los años 2050 y 2070 [16].

III. MÉTODO O METODOLOGÍA

El enfoque del estudio va orientado de manera exploratoria, mediante la indagación de diferentes documentos científicos confiables y plataformas como la del Banco Mundial, la Organización Latinoamericana de Energía, de donde se obtuvo gran parte de la información, centrado en que la región bajo consideración tiene un enorme potencial para la introducción de tecnologías de energía renovable y medidas de eficiencia energética, y la transición energética ya es técnicamente factible.

Sin embargo, evaluaciones cuidadosas del potencial técnico y la factibilidad

en la región, los beneficios socioeconómicos de las transiciones en países específicos, hasta ahora solo están disponibles de forma limitada y ciertamente necesitan expandirse. Esta investigación pretende aportar a la iniciativa de continuar con la transición energética, dando a conocer que los países de la región deben planificar la integración de las fuentes de energía renovable y la capacidad existente.

En la actualidad, los operadores de redes y sistemas de distribución de la región carecen de experiencia en la gestión y medición de la electricidad producida por fuentes renovables variables. Las habilidades técnicas y de ingeniería adecuadas pueden contribuir a la creación y el desarrollo de un mercado interior para equipos de energía renovable, así como a la transferencia de conocimientos [17].

Además, la presente investigación, pretende brindar una descripción general de las tendencias de energía renovable y eficiencia energética, políticas relacionadas e inversiones en energía, transporte, y examina las oportunidades y barreras para la transición de energía renovable en la región.

B. Desde lo Global

Desde el punto de vista global, en la práctica, el uso de mecanismos e incentivos políticos y financieros, incluidas garantías de acceso a redes eléctricas, tarifas introductorias fijas para el suministro de electricidad a la red (FIT) e incentivos fiscales para operadores de fuentes de energía renovable, permiten introducir y activar el uso de nuevas tecnologías en aquellos mercados donde aún no están desarrolladas [18].

En las primeras etapas del desarrollo del mercado, estos mecanismos pueden ser desacertados, ya que limitan la competencia a las grandes empresas y excluyen la inversión de actores descentralizados como cooperativas, pymes y comunidades [19].

Las licitaciones conllevan mayores riesgos para los inversores que las tarifas de entrada garantizadas, que proporcionan un rendimiento predecible para los inversores y son un mecanismo de apoyo más transparente.

Desde un punto de vista, con tendencia negativa, el alto potencial de las energías renovables en la región considerada prácticamente no se aprovecha, a excepción de las controvertidas grandes centrales hidroeléctricas [20].

La centralización histórica a menudo implica la toma de decisiones de arriba hacia abajo, la falta de negocios privados en el sector energético y la falta de interés en la conservación de la energía.



Algunos políticos presentan el mantenimiento y la expansión de la industria local de combustibles fósiles como la única forma de garantizar la seguridad energética [21].

Las tarifas bajas reducen significativamente la competitividad de las fuentes de energía renovable y desalientan la inversión en nuevas tecnologías. Los subsidios no reducen el costo de la energía, sino que solo trasladan estos costos a la población de una manera diferente.

Quizás esto sirva a ciertos intereses políticos a corto plazo, pero no a objetivos a largo plazo. Los costos se pagan de todos modos, pero esto se produce a expensas de los impuestos, los costos no cubiertos, la falta de inversión en infraestructura energética y la calidad del servicio [22]. Debido a que los subsidios en gran medida no están focalizados y son desiguales, tienden a beneficiar a las poblaciones de mayores ingresos y consumidores de energía, lo que involuntariamente conduce a una mayor desigualdad social [23]. Solo una pequeña proporción de tales subsidios llega a los segmentos más pobres de la población, lo que indica la ineficiencia de este sistema.

Por otro lado, la reforma y el aumento de tarifas son temas bastante sensibles, especialmente para los grupos más vulnerables de la población.

Los hogares de ingresos más bajos en ALC gastan un promedio de su presupuesto en facturas de energía, aproximadamente el doble del promedio mundial [24].

Esto los hace particularmente susceptibles al aumento de los precios de la energía. De hecho, los aumentos de tarifas amenazan con exacerbar la pobreza energética en la región y, por lo tanto, deberían combinarse con asistencia social específica y mecanismos de compensación para los más pobres [25].

La eliminación de los subsidios a los combustibles fósiles puede liberar recursos financieros para dirigirse a las poblaciones vulnerables, mejorar la atención médica y apoyar las medidas de eficiencia energética [26].

Se podría hablar de una falta de inversión y un alto costo de capital, la estructura de costos de las tecnologías de energía renovable difiere de la de los combustibles fósiles: su intensidad de capital inicial posteriormente se convierte en ningún costo de combustible.

El costo del capital en inversiones renovables refleja directamente cómo los inversores perciben el riesgo. Los riesgos relacionados con los contratos, los factores regulatorios (estabilidad política, oportunidad de los permisos y acceso a la tier-

ra y las redes eléctricas) y las condiciones del mercado (tasas de interés, inflación, competencia) pueden afectar significativamente el costo del capital para las fuentes de energía renovable[27].

La estabilidad política y un marco regulatorio sólido reducen los riesgos y conducen a menores costos para los desarrolladores de proyectos, lo que aumenta el retorno de la inversión [28].

La falta de seguridad de las inversiones conduce a la aparición de primas sobre el costo de las inversiones que no están relacionadas con riesgos tecnológicos o climáticos. Por ejemplo, al costo actual del capital, la inversión en energía renovable en los Balcanes Occidentales cuesta el doble que en Alemania o Francia [29].

Los países que hacen parte de América Latina y el Caribe (ACL), están simplificando las políticas y el apoyo normativo para las energías renovables mucho más rápido debido a su compromiso con las normas energéticas de la UE. Pero incluso en estos países, la perspectiva a largo plazo a menudo no se tiene en cuenta, ya que solo se guían por los objetivos de la UE para 2020, y la planificación de objetivos para 2030 ha comenzado.

Los marcos regulatorios y los esquemas de apoyo cambian con frecuencia en muchos países de la región, lo que genera cierta volatilidad en el mercado. Los cambios abruptos y parcialmente retroactivos en los sistemas de apoyo a las energías renovables en el mundo en los últimos años han provocado incertidumbre [30].

En la mayoría de los países de la región, bajo consideración, los riesgos también se perciben como altos debido a los numerosos problemas a nivel de regulación, procedimientos administrativos y disposiciones para la emisión de permisos y licencias, lo que genera largos tiempos de implementación de proyectos y costos de transacción adicionales para las empresas [31].

El proceso de desarrollo y aprobación de Acuerdos de Compra de Electricidad también suele ser problemático [32].

Como resultado, casi todos los proyectos recientes de energía renovable en el sector de los servicios públicos, en particular, la construcción de parques solares y eólicos en Latinoamérica, así como parques eólicos, solo fueron posibles con asistencia financiera y garantías de fundaciones o gobiernos. En el caso de instalaciones aisladas de energía renovable, las opciones para obtener capital asequible para inversores privados, agricultores y comunidades son generalmente limitadas [33].



Los municipios individuales a menudo muestran un mayor interés en los proyectos locales de eficiencia energética, pero por lo general tienen fondos muy limitados o ninguno para modernizar edificios y medidas de eficiencia energética en sus presupuestos. Varios países de la región han comenzado a abordar este problema a través de fondos específicos respaldados por donantes internacionales.

Por otro lado, existe el aspecto de la falta de capacidad técnica y conocimiento, como resultado de los problemas anteriores y el bajo número de proyectos exitosos de energía renovable y eficiencia energética, el conocimiento técnico y la experiencia en la región aún son muy limitados. No existen especialistas locales, trabajadores calificados y proveedores de tecnología en este sector en la región.

Las agencias gubernamentales dedicadas y los fondos que coordinan las políticas de energía renovable y eficiencia energética y el desarrollo de proyectos gubernamentales aún les hace falta apropiarse de la situación. Sin embargo, hay centros de investigación en energía en varios países de Latinoamérica, pero son parte de las academias de ciencias o universidades técnicas y prácticamente y que por medio de convocatorias tienen financiamiento para nuevas investigaciones y desarrollos tecnológicos [34].

Por otro lado, existen pocos programas de formación en el área de gestión energética sostenible y diseño ambiental en la región. Esto impide el surgimiento de una nueva generación de científicos e investigadores y dificulta aún más el desarrollo científico y tecnológico [35].

La participación de la población y los debates públicos amplios son los factores más importantes para cambiar las actitudes hacia los problemas climáticos en el entorno político y contribuyen al desarrollo de fuentes de energía renovable en los países que inician la transición hacia la energía verde.

Debido a esto, se forma el nivel necesario de confianza en la sociedad y la conciencia de la realidad. energía renovable y conservación de la energía [36].

En toda la región bajo consideración, la conciencia pública sobre los beneficios socioeconómicos y la viabilidad de las tecnologías de energía renovable y la eficiencia energética se encuentra en un nivel bastante bajo. En los medios de comunicación de los países en estudio, son poco frecuentes los reportajes sobre el impacto negativo de los combustibles fósiles en la calidad del aire y la salud humana. Rara vez se discuten temas como las tendencias mundiales en energías renovables y tecnologías de ahorro de energía; la “burbuja de carbono” que amenaza activos de

billones de dólares con falta de liquidez y una nueva crisis financiera; retirada de los inversores del sector de los combustibles fósiles [37].

La seguridad energética se puede dar mediante la diversificación, un suministro de energía seguro y suficiente es un factor importante en el desarrollo de las energías renovables y la eficiencia energética para cualquier país, ya sea exportador o importador neto de energía. Al diversificar los suministros de energía, aquellas naciones cuyas economías dependen de los ingresos de los combustibles fósiles pueden aumentar su resiliencia ante los impactos externos, como las fluctuaciones en el precio del petróleo.

Numerosos estudios muestran que la inversión en medidas contra el cambio climático y la introducción de fuentes de energía renovables y tecnologías energéticamente eficientes estimulan el crecimiento económico, crean nuevos puestos de trabajo y mejoran el bienestar de la sociedad.

Esto también puede ayudar a reducir la tala ilegal de leña, fomenta la innovación técnica, mejora el clima de inversión y estimula el desarrollo empresarial local [38]. A finales de 2018, el sector de las energías renovables empleaba a 11 millones de personas. El desarrollo acelerado de las fuentes de energía renovable, el número de puestos de trabajo en este sector podría aumentar hasta los 42 millones para 2050 [39].

La actividad económica resultante y los nuevos puestos de trabajo pueden ayudar a prevenir la salida de población y el declive rural que impulsan la migración laboral.

El crecimiento del empleo también puede contrarrestar la “fuga de cerebros”: la emigración de jóvenes educados de la región.

Según el nivel de desarrollo de las energías renovables, se pueden crear puestos de trabajo a lo largo de toda la cadena de valor, incluida la planificación de proyectos, producción, instalación, conexión a la red, operación, mantenimiento y desmantelamiento.

La instalación, la operación y el mantenimiento generalmente los llevan a cabo principalmente empresas locales de ingeniería, adquisición y construcción, y pueden generar empleo local y valor agregado.

Las oportunidades adicionales para crear valor dentro de la región provienen



de procesos administrativos como el establecimiento de normas, los servicios financieros, la capacitación, la investigación y el desarrollo y la consultoría [40].

El desarrollo de la energía renovable distribuida es el factor más importante para fortalecer los procesos generales de democratización y descentralización. Invertir y apoyar fuentes de energía renovable organizadas por cooperativas de energía, comunidades e individuos puede ayudar a reducir los niveles de corrupción y control oligopólico que caracterizan a las grandes centrales eléctricas tradicionales [41].

Además, también contribuye al desarrollo de un sentido de responsabilidad y participación de los ciudadanos en el desarrollo del país, y también aumenta la aceptación pública de la infraestructura de energía renovable.

Por ejemplo, la energía generada y propiedad de los ciudadanos ha sido un factor decisivo en la “transición energética”, Energiewende, en Alemania: casi la mitad de la capacidad total de energía renovable instalada ha sido propiedad de particulares y granjas, y el desarrollo de energía renovable en los últimos años se ha producido principalmente a través de la implementación de proyectos de parques eólicos terrestres y marinos por parte de los ciudadanos [42].

Finalmente, la introducción de fuentes de energía renovable puede promover la cooperación regional al conectarse a las redes de los países vecinos y realizar el comercio internacional, reduciendo los conflictos entre países y regiones por los recursos hídricos y los combustibles fósiles limitados y desigualmente distribuidos.

Según las estadísticas de la Organización Mundial de la Salud (OMS), siete millones de muertes prematuras cada año son causadas por la contaminación del aire, lo que conduce a un aumento de las muertes por accidentes cerebrovasculares, enfermedades cardíacas, cáncer de pulmón e infecciones respiratorias agudas [43].

Solo en Europa, más de 420.000 muertes prematuras al año se deben a la exposición prolongada al aire contaminado [44]. La minería del carbón se encuentra entre las fuentes más peligrosas de contaminación del aire, causando efectos agudos y crónicos en la salud. Son cada vez más pruebas de que la contaminación del aire juega un papel en la propagación y el impacto del COVID-19, cuando se registran picos extremadamente tóxicos de contaminación del aire que pueden desencadenar enfermedades y causar graves daños económicos y sociales implicaciones regionales [45].

Además de lo anterior, la extracción y quema de carbón y otros combustibles fósiles conduce a consecuencias ambientales peligrosas, conduciendo a la degra-

dación y desaparición de aguas subterráneas y ríos, la destrucción de bosques y ecosistemas vitales.

El desarrollo de fuentes de energía renovables y la mejora de la eficiencia energética pueden mejorar significativamente la calidad del aire y reducir la mortalidad debidas a la contaminación del aire.

También ayudará a proporcionar una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente a los combustibles fósiles.

En la actualidad, los temas ambientales y de salud no tiene el nivel de importancia que se les da en la región para el desarrollo de las energías renovables y la eficiencia energética. Sin embargo, observado en otros continentes, como es el europeo, el cumplimiento de los compromisos en el marco de la Comunidad de la Energía y, en menor medida, los compromisos en virtud del Acuerdo de París, está obligando cada vez más a algunos países de Europa a tomar medidas hacia el desarrollo energético sostenible y la acción climática. A través de la participación en proyectos internacionales y de la actividad de la sociedad civil, sensibilizando a la población en materia medioambiental y las consecuencias para la salud de los combustibles fósiles son temas que los medios locales cubren cada vez más, en estas regiones de la Unión Europea y que sirven de ejemplo para regiones como América Latina y el Caribe.

IV.CONCLUSIÓN

Actualmente, la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) y sus programas son los mayores y más importantes motores y fuentes de apoyo para la transición energética en los países en América Latina y el Caribe (ALC). OLADE debe utilizar su influencia, vasta experiencia y conocimientos para ayudar a los países de la región a cosechar los beneficios socioeconómicos del desarrollo energético sostenible y ayudar a superar importantes barreras políticas, regulatorias, económicas, financieras y sociales.

La estabilidad, claridad y credibilidad de los marcos regulatorios y de políticas son fundamentales para generar confianza en los inversores e introducir medidas de energía renovable y eficiencia energética.

La reducción de los riesgos de inversión, la eliminación de las barreras regulatorias y administrativas conducen a costos más bajos para los desarrolladores de



proyectos y un retorno de la inversión más rápido.

Por lo tanto, los siguientes temas deben convertirse en áreas estratégicas clave de cooperación con los países de esta región: identificación de obstáculos y riesgos, intercambio de información sobre esquemas legales y regulatorios exitosos (leyes, normas, reglas, etc.), así como políticas y apoyo financiero e incentivos sin complejos procedimientos administrativos para acelerar la introducción de energías renovables y eficiencia energética.

Dicho intercambio de información debe incluir consultas bilaterales y multilaterales con funcionarios gubernamentales y parlamentarios, viajes y programas de intercambio.

También serán importantes las consultas, las recomendaciones y la cooperación para fortalecer el estado de derecho y mejorar el clima y la seguridad de las inversiones.

Cada país de la región debe adoptar una estrategia baja en carbono.

El apoyo integral de otras organizaciones como los con la Unión Europea (UE), donde existen experiencias de expertos alemanes, deben abrir posibilidades de un debate organizado sobre las mejores prácticas técnicas y socioeconómicas para el desarrollo bajo en carbono y una organización justa de la transición energética pueden desempeñar un papel decisivo en el desarrollo de tales estrategias.

Además, existe la necesidad de compartir conocimientos y debatir sobre las implicaciones críticas de la burbuja de carbono y el próximo pico en la demanda de combustibles fósiles para la economía.

La colaboración y el desarrollo de capacidades en el campo de la gestión de la eficiencia energética, la recopilación de datos, la certificación, los estándares y la concesión de licencias de edificios públicos, así como el apoyo de expertos en la creación de agencias de eficiencia energética, pueden tener un efecto positivo.

Se ha descubierto que el alto costo del capital y la falta de financiamiento disponible son barreras significativas para la inversión en proyectos de desarrollo de energía sostenible.

Por lo tanto, es necesario desarrollar conjuntamente herramientas para reducir el riesgo y reducir los costos.

Después de la crisis por la pandemia de COVID-19, se espera que las instituciones financieras, los bancos y las organizaciones internacionales destinen importantes fondos para medidas urgentes para restaurar la economía.

Esta es una oportunidad histórica para acelerar la transición energética al redirigir las finanzas públicas de los combustibles fósiles y otras actividades contaminantes hacia la energía limpia y desarrollar la resiliencia al cambio climático.

La conciencia pública de los beneficios sociales y económicos de las fuentes de energía renovables y la conservación de la energía, así como la conciencia de las consecuencias negativas de la producción de energía basada en combustibles fósiles, son absolutamente necesarias para comprender la importancia de este tema y la participación activa del público en la energía desarrollo.



REFERENCIAS

- [1] G. Bridge, B. Özkaynak, y E. Turhan, “Energy infrastructure and the fate of the nation: Introduction to special issue”, *Energy Res Soc Sci*, vol. 41, pp. 1–11, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.04.029>.
- [2] A. R. López et al., “Solar PV generation in Colombia - A qualitative and quantitative approach to analyze the potential of solar energy market”, *Renew Energy*, vol. 148, pp. 1266–1279, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.066>.
- [3] Banco Mundial. “Perspectivas Económicas Mundiales”. [En línea]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/publication/global-economic-prospects>
- [4] M. J. Burke y J. C. Stephens, “Political power and renewable energy futures: A critical review”, *Energy Res Soc Sci*, vol. 35, pp. 78–93, 2018, [En línea]. Disponible en: doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.10.018>.
- [5] S. Simon, T. Naegler, y H. Gils, “Transformation towards a Renewable Energy System in Brazil and Mexico—Technological and Structural Options for Latin America”, *Energies (Basel)*, vol. 11, p. 907, abr. 2018, [En línea]. Disponible en: doi: [10.3390/en11040907](https://doi.org/10.3390/en11040907).
- [6] “Energy subsidies – Topics - IEA”. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/topics/energy-subsidies>
- [7] “IRENA – International Renewable Energy Agency”. [En línea]. Disponible en: <https://www.irena.org/> (consultado sep. 28, 2022).
- [8] M. Y. Recalde, D. H. Bouille, y L. O. Girardin, “LIMITACIO PARA EL DESARROLLO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ARGENTINA”, Problemas del Desarrollo. *Revista Latinoamericana de Economía*, vol. 46, núm. 183, pp. 89–115, 2015, [En línea]. Disponible en: doi: [10.1016/j.rpd.2015.10.005](https://doi.org/10.1016/j.rpd.2015.10.005).
- [9] Naciones Unidas. “Reducing emissions from the energy sector for a more resilient and low-carbon post-pandemic recovery in Latin America and the Caribbean | Publicación | Comisión Económica para América Latina y el Caribe”. [En línea]. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/node/56102>

- [10] W.-Y. Lin, M.-C. Hsiao, P.-C. Wu, J. S. Fu, L.-W. Lai, y H.-C. Lai, “Analysis of air quality and health co-benefits regarding electric vehicle promotion coupled with power plant emissions”, *J Clean Prod*, vol. 247, p. 119152, 2020, [En línea]. Disponible en: doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119152>.
- [11] “The Territorial Impact of COVID-19: Managing the Crisis across Levels of Government - OECD”. [En línea]. Disponible en: https://read.oecd-ilibrary.org/view/?ref=128_128287-5agkkojaaa&title=The-territorial-impact-of-covid-19-managing-the-crisis-across-levels-of-government
- [12] G. Mundaca, “Energy subsidies, public investment and endogenous growth”, *Energy Policy*, vol. 110, pp. 693–709, 2017, [En línea]. Disponible en: doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.08.049>.
- [13] Ministerio de Minas y Energía. “Deducción especial sobre el impuesto de renta y complementarios”. [En línea]. Disponible en: <https://minenergia.gov.co/es/repositorio-normativo/normativa/deduci%C3%B3n-especial-sobre-el-impuesto-de-renta-y-complementarios/>
- [14] Congreso de Colombia. “Ley 2056 de 2020 - Gestor Normativo - Función Pública”. [En línea]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=142858> (consultado oct. 02, 2022).
- [15] Ministeria de Minas y Energía. “Fuentes No Convencionales de Energía Renovable - FNCER”. [En línea]. Disponible en: <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/fuentes-no-convencionales-de-energ%C3%ADa-renovable-fncer/> (consultado oct. 02, 2022).
- [16] V. Masson-Delmotte et al., “Resumen para responsables de políticas Editado por”, 2019, Consultado: oct. 01, 2022. [En línea]. Disponible: www.ipcc.ch
- [17] I. Renewable Energy Agency, “RENEWABLE CAPACITY STATISTICS 2020 STATISTIQUES DE CAPACITÉ RENOUVELABLE 2020 ESTADÍSTICAS DE CAPACIDAD RENOVABLE 2020”, 2020, Consultado: oct. 01, 2022. [En línea]. Disponible: www.irena.org
- [18] MGp, “Design features of support schemes for renewable electricity”, 2013, Consultado: sep. 28, 2022. [En línea]. Disponible: www.ecofys.com
- [19] M. C. Mera-Bastidas, Á. T. Terán-López, D. M. Barrera-Ojeda, H. A. Gomajoa,



- y J. F. Rojas-Navarro, “Importancia de los enfoques cooperativos en el desarrollo empresarial de algunas compañías hispanoamericanas exitosas”, *Revista Escuela de Administración de Negocios*, núm. 86, pp. 169–184, sep. 2019, doi: 10.21158/01208160.N86.2019.2300.
- [20] J. Kirchherr y N. Matthews, “Technology transfer in the hydropower industry: An analysis of Chinese dam developers’ undertakings in Europe and Latin America”, *Energy Policy*, vol. 113, pp. 546–558, 2018, [En línea]. Disponible en: doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.043>.
- [21] G. L. Coutinho, J. N. Vianna, y M. A. Dias, “Alternatives for improving energy security in Cape Verde”, *Util Policy*, vol. 67, p. 101112, 2020, [En línea]. Disponible en: doi: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2020.101112>.
- [22] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. “Archivos 2018 - OECD”. [En línea]. Disponible en: <https://www.oecd.org/centrodemexico/medios/archivos-2018.htm>
- [23] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Informe sobre Desarrollo Humano 2014 | [En línea]. Disponible en: <https://www.undp.org/es/publications/informe-sobre-desarrollo-humano-2014> (consultado sep. 28, 2022).
- [24] Comisión Económica para América Latina y el Caribe. [En línea]. Disponible en: <https://www.cepal.org/es> (consultado oct. 01, 2022).
- [25] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. “Plan estratégico 2022-2025 | PNUD”. [En línea]. Disponible en: <https://strategicplan.undp.org/es/>
- [26] “Proyección mundial - OECD”. [En línea]. Disponible en: <https://www.oecd.org/acerca/miembros-y-socios/>
- [27] F. Egli, “Renewable energy investment risk: An investigation of changes over time and the underlying drivers”, *Energy Policy*, vol. 140, p. 111428, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111428>.
- [28] F. Polzin, F. Egli, B. Steffen, y T. S. Schmidt, “How do policies mobilize private finance for renewable energy?—A systematic review with an investor perspective”, *Appl Energy*, vol. 236, pp. 1249–1268, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.098>.

- [29] A. Verkehrswende y A. Energiewende, “The Future Cost of Electricity-Based Synthetic Fuels STUDY”, Consultado: oct. 01, 2022. [En línea]. Disponible en: www.agora-verkehrswende.de
- [30] “Renewable Capacity Statistics 2019”, /publications/2019/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2019, Consultado: oct. 01, 2022. [En línea]. Disponible en: /publications/2019/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2019
- [31] F. M. Ortiz y D. A. y García Arango, “Sistema de evaluación de proyectos integradores (sepi): análisis para su implementación en la corporación universitaria americana”, *Revista InGente*, vol. 1, n.º 1, pp. 67–71, dic. 2021.
- [32] “Perspectivas económicas de América Latina 2018 Repensando las instituciones paRa el desaRRollo”, doi: 10.1787/leo-2018-es.
- [33] V. Foster y A. Rana, “Rethinking Power Sector Reform in the Developing World”.
- [34] T. Kober et al., “A multi-model study of energy supply investments in Latin America under climate control policy”, *Energy Econ*, vol. 56, pp. 543–551, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.01.005>.
- [35] J. Schot y W. E. Steinmueller, “Three frames for innovation policy: R&D, systems of innovation and transformative change”, *Res Policy*, vol. 47, núm. 9, pp. 1554–1567, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.08.011>.
- [36] “Energía sostenible para los países en desarrollo”. [En línea]. Disponible en: <https://journals.openedition.org/sapiens/823>
- [37] “Climate change and global finance: Is the financial sector reaching a tipping point? | Heinrich Böll Stiftung”. [En línea]. Disponible en: <https://www.boell.de/en/2020/12/17/climate-change-and-global-finance-financial-sector-reaching-tipping-point>
- [38] “The sustainability of development in Latin America and the Caribbean: challenges and opportunities”, Consultado: oct. 01, 2022. [En línea]. Disponible en: <http://www.rolac.unep.mx>
- [39] I. Renewable Energy Agency y the International Labour Organization, “SPECIAL EDITION Labour and Policy Perspectives



ACKNOWLEDGEMENTS”, 2021, [En línea]. Disponible en: www.irena.org

- [40] J. A. Ocampo y J. Ojeda-Joya, “Supply shocks and monetary policy responses in emerging economies”, *Latin American Journal of Central Banking*, vol. 3, núm. 4, p. 100071, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.latcb.2022.100071>.
- [41] A. Burgio, A. Violi, D. Borge-Diez, D. Kostecka-Jurczyk, K. Marak, y M. S. Stru’s, “Economic Conditions for the Development of Energy Cooperatives in Poland”, *Energies 2022, Vol. 15*, Page 6831, vol. 15, núm. 18, p. 6831, sep. 2022, doi: [10.3390/EN15186831](https://doi.org/10.3390/EN15186831).
- [42] L. Schwarz, “Empowered but powerless? Reassessing the citizens’ power dynamics of the German energy transition”, *Energy Res Soc Sci*, vol. 63, p. 101405, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101405>.
- [43] I. Manisalidis, E. Stavropoulou, A. Stavropoulos, y E. Bezirtzoglou, “Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review”, *Front Public Health*, vol. 8, p. 14, feb. 2020, doi: [10.3389/FPUBH.2020.00014](https://doi.org/10.3389/FPUBH.2020.00014).
- [44] K. Vohra, A. Vodonos, J. Schwartz, E. A. Marais, M. P. Sulprizio, y L. J. Mickley, “Global mortality from outdoor fine particle pollution generated by fossil fuel combustion: Results from GEOS-Chem”, *Environ Res*, vol. 195, abr. 2021, doi: [10.1016/J.ENVRES.2021.110754](https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2021.110754).
- [45] H. Riojas-Rodríguez, A. S. da Silva, J. L. Texcalac-Sangrador, y G. L. Moreno-Banda, “Air pollution management and control in Latin America and the Caribbean: implications for climate change”, *Rev Panam Salud Publica*;40(3), sept. 2016, vol. 46, núm. 3, p. 2016, 2016, doi: [10.26633/RPSP.2022.15](https://doi.org/10.26633/RPSP.2022.15).



CAPÍTULO 3 Estrategia integral de I + D + i para la utilización de energías renovables en el sector ganadero orientada a la disminución de costos de producción y la huella de Carbono en el departamento del Atlántico

José Vicente Rueda Galofre

Zootecnista, Grupo de Investigación GIINTAG
silosdelatlantico@gmail.com

Jonathan Adie Villafañe

Ing., Magister en Desarrollo Social, Grupo de Investigación GIINTAG
ing.jonathan.adie@gmail.com

Rene Ramírez Fernandez

Ingeniero de Sistemas, Magister en Educación
rramirez@coruniamericana.edu.co



Históricamente, en la mayoría de las sociedades occidentales el consumo de la carne ha representado prestigio social y económico. La carne en general tiene una gran bondad porque es rica en proteínas de alto valor biológico, por tanto, contribuye en el organismo del individuo para la formación de huesos, dientes, músculos y además contiene factores que van a coadyuvar en el aumento del índice de hemoglobina. Si la población no consume carne en la proporción adecuada, es propensa a tener la hemoglobina baja, y eso se traduce en anemia, el individuo rinde menos y puede tener complicaciones de salud [1].

En la medida en que los países mejoran sus economías, el consumo de carnes se favorece, lo que conlleva, que la demanda de carne, específicamente la de res, exija a los productores una ganancia diaria de peso y, por ende, a hacer “intensivo” este proceso, así mismo se debe contar con un plan de reproducción necesaria para cubrir la demanda. Sin embargo, uno de los principales problemas que se le señalan a la producción de carne es la cantidad de gases de efecto invernadero que generan, además de la dependencia, para la alimentación del ganado, de las condiciones atmosféricas (estacionales). De ahí la importancia de buscar soluciones tecnológicas que transformen ese elemento negativo en un aporte positivo para la sociedad (energía calórica en el caso de los gases) y permitan menores costos de producción.

En este sentido, una investigación desarrollada por la SOCIEDAD RUEDA GALOFRE E HIJOS SAS, en I + D + i acerca del uso de energías renovables en el sector ganadero de empresas con mentalidad exportadora de carne de res en municipios del Atlántico Colombiano tuvo, en su primera fase de estudio, el análisis de la situación actual en los municipios del departamento del Atlántico, evidenciando un uso muy limitado de energía no convencional y bajos índices de penetración tecnológica, lo que encarece o hace poco competitivos los productos agrícolas, y en especial, la ganadería.

Para una segunda fase, se plantean acciones orientadas a los objetivos de desarrollo, apuntando directamente al tema energético: utilización de energía eólica y solar, producción de gas como fuente de energía calórica y reducción de la huella de carbono, a saber:

ODS 7. Energía sostenible y no contaminante.

ODS 9. Industria, Innovación e Infraestructura.

ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.

ODS 12. Producción y consumos responsables.

De esta manera, como plantea la Resolución no. 0225 de 2022 [2] “contribuir con la mejora de las capacidades y condiciones para innovar y emprender, la transferencia de conocimiento y tecnología hacia el sector productivo y la sociedad en general, así como las condiciones para favorecer la adopción de tecnologías e incrementar los niveles de innovación y productividad del país”.

Con esta investigación se pretende promover la generación de energía en zonas rurales a partir de:

- Paneles solares para la producción de energía eléctrica, tanto en la parte productiva (motobombas para regadío) como en el Ambiente de aprendizaje que se va a crear, en la Cooperativa de Manatí (ASOPAGAMA).
- Molinos de viento (energía eólica) en las fincas que tengan las condiciones adecuadas, para la extracción, uso y almacenaje de agua.
- Biodigestores que transforman las heces de los animales en gas para ser utilizado de forma doméstica, a la vez que se obtiene, como subproducto, fertilizante natural y de calidad.

Con estas estrategias se pretende contribuir al sector ganadero, en especial a empresas con capacidad exportadora, en lo que respecta a:

- Disminución de los costos de producción de la carne.
- Independizar la producción de alimento para el ganado de la estacionalidad (sequía-lluvia).
- Disminución de la producción de gases de efecto invernadero, acorde con los compromisos de Colombia a nivel internacional.
- Obtención de fertilizante para los sembrados de alimentos para las reses (maíz, forraje)

La principal novedad de esta estrategia consiste en la integración de varias tecnologías limpias, su incorporación a empresas pecuarias, a las que, hasta el momento no han podido acceder, lo que, en su conjunto, puede lograr ahorros significativos de energía para una disminución de costos de producción y posibilitar el desarrollo de productos exportables (carne) de mayor calidad. Al mismo tiempo, contribuir con la reducción de la huella de carbono (generación de gases efecto invernadero), en muni-



cipios donde el uso actual de estas tecnologías es prácticamente cero. Las tecnologías vinculadas han demostrado en otros escenarios, su idoneidad, lo mismo que las empresas asociadas que desarrollan el proceso de montaje.

MARCO TEÓRICO

En la Universidad de Cartagena [3] analizan los “avances y retos de Colombia frente a la implementación de medidas de uso racional y eficiente en la utilización de la energía”. En su estudio establecen que “Colombia ha sido tímido en la implementación real de las fuentes de energía no convencionales como medidas de eficiencia energética”. La investigación abarca los proyectos de generación de energía con fuentes no convencionales de energía o renovables, tales como fotovoltaica, hidroeléctrica, mareomotriz, eólica, geotérmica y biomasa, interconectados a la red.

Si bien se han logrado determinados avances en la utilización de energía solar y eólica, estas se concentran en zonas muy específicas del país, y generalmente no están asociadas al desarrollo de proyectos productivos, sino a la generación de electricidad para empresas y hogares, siendo prácticamente cero su uso en el agro.

En los últimos 50 años la demanda por proteínas de origen animal en Latinoamérica y el Caribe (LAC) se ha incrementado como consecuencia del crecimiento de la población, la mejora en el nivel de ingreso per cápita y la movilización de parte de la población rural a las ciudades, y se sabe que estos dos últimos factores inciden en el incremento del consumo per cápita de leche, carne y otros alimentos de origen pecuario [4].

Adicionalmente, plantea “LAC es un exportador de productos pecuarios, y el crecimiento económico especialmente en los países emergentes ha tenido impacto en el incremento de las exportaciones a esos mercados. En el caso de la carne, LAC aporta un 30% de la demanda global, con los países suramericanos contribuyendo en un 80%, y el 20% restante proviene de México y Centroamérica” [4].

Aliyu [5] en su Tesis de Maestría de la Universidad de Los Andes hace un análisis del estado del arte de este tema, que constituye un referente para este proyecto. Evidencia que el bombeo por medio de energía solar y eólica constituye una de las alternativas que, internacionalmente, se utilizan con el propósito de proveer agua potable. Cita: “El sistema de recolección de energía involucra principalmente los paneles fotovoltaicos que recolectan energía solar y la convierten en energía eléctrica”.

Con relación al bombeo por medio de energía eólica, la autora hace referencia a los diferentes tipos existentes, según su tecnología. En nuestro proyecto planteamos la utilización de los molinos de viento tradicionales, que durante años han formado parte del paisaje del campo colombiano y que constituyen producción nacional. Entre los que hemos analizado en el estado del arte se encuentra la empresa [6], que muestra alternativas para diferentes capacidades de bombeo.

En diversas investigaciones, igualmente encontramos referencia al uso de biodigestores “los cuales están conformados por un reactor cerrado, hermético e impermeable, dentro del cual se deposita materia orgánica como: aguas residuales domésticas o agroindustriales, estiércol animal, desechos vegetales y frutales, entre otras. Esta mezcla mediante la fermentación anaerobia por acción de microorganismos es degradada obteniendo como producto el biogás y un subproducto líquido. El biogás puede ser utilizado directamente como combustible para alimentar estufas y calderas, o puede ser convertido a energía eléctrica. Después de un tratamiento adicional (remoción de CO₂) también puede ser inyectado a la red de gas natural o utilizado como combustible vehicular. Por otro lado, el subproducto líquido se convierte en un excelente fertilizante orgánico, que se utiliza para abonar los suelos o enriquecer el compost”. [7]

Estos biodigestores contribuyen a la reducción de la huella de carbono por la emisión de gases de efecto invernadero, además de los beneficios anteriormente mencionados.

Recientemente planteaba “en Colombia fue inaugurado el Parque San Fernando solar, el que ahora es el complejo de autogeneración de energía más grande del territorio nacional, fue inaugurado el viernes 22 de octubre con la presencia del presidente Iván Duque, el ministro de Minas y Energía, Diego Mesa, y las empresas AES Colombia, Grupo Ecopetrol y Cenit. El megaproyecto invirtió 10 meses de trabajo, está ubicado en 57 hectáreas del municipio de Castilla La Nueva en el Meta y cuenta con 61 MW de potencia para abastecer operaciones de Ecopetrol y Cenit”. [8]

El 21 de enero de 2022 [9] publicaba: “el Gobierno Nacional en cabeza del presidente Iván Duque y el Ministerio de Minas y Energía, inauguró el parque eólico más grande del país, Guajira 1, el cual espera tener una generación equivalente a 20 MW (megavatios), lo que es igual al consumo de 33.295 familias”. El proyecto contó con una inversión total de \$75.000 millones, y es el primero de 16 parques eólicos que estarán ubicados en La Guajira, que cuenta con condiciones climáticas especialmente favorables para la utilización de este tipo de energía.

En el mes de septiembre de 2015 se llevó a cabo en las Naciones Unidas (ONU)



la Agenda de Desarrollo Post 2015 en la cual se establecen 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que son de carácter voluntario a nivel mundial, con el fin de cumplir con los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Estos abarcan objetivos de carácter social, político, económico y ambiental que deben llevar al principio de la sostenibilidad.

Para Colombia, se promueve la búsqueda para determinar la fuente de energía renovable que mejor se adapte a las realidades del país. Las fuentes primarias de energía que se transforman en energía eléctrica se clasifican en renovables y no renovables. Las primeras se entienden las que se renuevan de manera continua a través de procesos naturales. Entre ellas tenemos, fundamentalmente la energía geotérmica, la energía eólica, la hidroeléctrica y la energía solar. “Las fuentes de energía no renovables son aquellas que se obtienen a partir de los combustibles fósiles que se encuentran presentes en la superficie terrestre tales como el petróleo, el gas natural y el carbón” [10].

La llamada energía solar es aquella que se obtiene del aprovechamiento de los rayos del sol. Requiere la instalación de los llamados paneles solares los cuales contienen células fotovoltaicas que acumulan la energía que reciben para uso posterior. Es una de las fuentes más utilizadas en la actualidad y de gran importancia en regiones donde la luz solar está presente la mayor parte del año. Resulta una de las fuentes de energía renovable más conocida y utilizada en la actualidad, lo que ha reducido de forma significativa los costos de instalación.

En el caso de la energía eólica, el principal referente se tiene al apreciar las gigantescas torres que se ubican en muchos países de alto desarrollo. Si bien esta técnica requiere de una altísima inversión, en nuestro proyecto se retoma la tradicional energía eólica que era parte del paisaje, los molinos de viento para extracción de agua.

Otras fuentes de generación de energía como la hidroeléctrica, que cuenta con una amplia difusión, requieren de unas inversiones de muy alto costo (billones de pesos), como el caso de la planta hidroeléctrica de Hidroituango, y la existencia de recursos hidráulicos y orográficos bastante complejos. Lo mismo sucede con otras fuentes como la geotérmica y la utilización de las mareas, muy utilizada en algunos países de Europa.

La ganadería, en el contexto ambiental global, es responsable de aproximadamente del 14,5 % de las emisiones globales de Gases de Efecto Invernadero, según los reportes de Gerber para la FAO [11]. Lograr la utilización de tecnologías que reduzcan esas emisiones, a la vez que se genera combustible (gas) es un desafío que se ha enfrentado, en los últimos años, con los biodigestores, aunque aún en una escala muy

pequeña. Como subproducto del proceso se obtiene fertilizante de alta calidad.

METODOLOGÍA

Para los aspectos metodológicos, se establecieron los siguientes objetivos:

Objetivo general:

Utilizar fuentes no convencionales de energía (eólica, solar y calórica) para disminuir los costos de producción en el sector ganadero de municipios seleccionados del Departamento del Atlántico, garantizar la alimentación del ganado de manera independiente a las condiciones climáticas, disminuir la huella de carbono y lograr una mejora significativa de las condiciones de vida de la población beneficiada.

Objetivos específicos

1. Objetivo específico 1. Utilizar fuentes renovables (eólica y solar) en la producción de la energía eléctrica necesaria para la ejecución y sostenibilidad del proyecto en los municipios y unidades productivas seleccionadas.
2. Objetivo específico 2. Garantizar que la alimentación permita un aumento de peso del ganado más rápido que el tradicional, a partir de la utilización de alimento local (maíz) que se obtendrá, con el uso de las técnicas adecuadas (selección de semillas, creación de un banco de semillas y riego permanente de los sembrados), con independencia de las variables climáticas tradicionales.
3. Objetivo específico 3. Mejorar las condiciones de vida de la población beneficiada en los municipios del proyecto, al tiempo que se reduce la huella de carbono producto de la ganadería, convirtiendo los desechos (heces) de los animales en energía (gas), mediante el uso de biodigestores.
4. Objetivo específico 4. Establecer una alianza estratégica con el SENA para la vinculación de aprendices y la construcción de un ambiente de aprendizaje para la oferta de Cursos y capacitaciones a la población participante en el proyecto. En este punto, la propuesta valora la instalación de paneles solares en un Centro de Capacitación comunitario, con instructores SENA, que beneficie toda la población de la zona.



A través de estas acciones, se busca identificar tanto potenciales actores aliados como potenciales beneficiarios que desarrollen de forma tradicional (procesos escasamente tecnificados) actividades de producción bovina para socializar las características del proyecto para acercar tanto pequeños ganaderos y/o campesinos como actores estratégicos del sector público o privado. Los pequeños ganaderos y/o campesinos que pasan por este componente se caracterizan por poseer pequeñas o medianas unidades productivas con baja tecnificación de sus procesos, inscritas en una cooperativa agropecuaria del municipio, la cual este legalmente constituida.

Los pequeños ganaderos seleccionados implementan buenas prácticas agropecuarias en las unidades productivas donde reciben la intervención, en la cual son monitoreados regularmente, junto con los bovinos existentes, el estado de las tierras y cultivos.

Se garantiza que la alimentación permita un aumento de peso del ganado más rápido que el tradicional, a partir de la utilización de alimento local (maíz) que se obtendrá, con el uso de las técnicas adecuadas de selección de semillas y riego permanente de los sembrados), con independencia de las variables climáticas tradicionales [12]. Cuya meta final es la selección de carne para exportación, conservando en el proceso la salud y el bienestar del hato. Se retoma la extracción de agua a partir de la utilización de energía eólica utilizando molinos de vientos tradicionales.

Así también, la estrategia, considera la implementación de “Las Buenas Prácticas Ganaderas (BPG), referidas a todas las acciones involucradas en el eslabón primario de la ganadería bovina, encaminadas al aseguramiento de la inocuidad de los alimentos carne y leche, la protección del medio ambiente y de las personas que trabajan en la explotación.” [13]. De allí que capacitar el capital humano en estas prácticas es clave para garantizar los resultados a largo plazo y la réplica de los procesos que se puedan implementar en distintos escenarios.

Como consecuencia del proyecto, se busca la mejora en las condiciones de vida de la población beneficiada en los municipios del departamento del Atlántico, donde la estrategia se ha desarrollado, al tiempo que se reduce la huella de carbono producto de la ganadería, convirtiendo los desechos (heces) de los animales en energía (gas), mediante el uso de biodigestores que servirán para la preparación de los alimentos en los hogares beneficiados.

De igual manera, se pretende la instalación de los biodigestores y tubería necesaria en los hogares, beneficiarios, garantizando la formación en los beneficios, operación y mantenimiento de estos equipos; así como la dotación de tecnología necesaria

(computadores, acceso a internet), sustentada por el suministro de electricidad a través de la instalación de paneles solares con la capacidad necesaria, en los Espacios de Aprendizaje instaurados.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los siguientes resultados parciales:

Software: Se ha desarrollado un software, en etapa de prueba y que se encuentra en etapa TRL 4, tiene validación de componentes/subsistemas en pruebas de laboratorio, el cual se describe a continuación: El software está dividido en dos partes: una que es el software de recolección de datos locales con los sensores y el otro es el software que se ejecuta en un explorador web y trabaja en la nube para recolectar los Datos locales.

El sistema actualmente tiene desarrollado en versión beta, la aplicación web de monitoreo y control de variables críticas de proceso en programas de eficiencia reproductiva y bienestar bovino, además permite llevar un seguimiento.

Riego por goteo: El riego por goteo es muy utilizado, sobre todo, en zonas áridas o semiáridas, donde las precipitaciones oscilan entre 200 mm y 1000 mm al año. Por tanto, el terreno suele estar bastante seco debido a las condiciones meteorológicas. El recurso agua es imprescindible para la producción de cultivos, de su disponibilidad depende la formación de nueva biomasa vegetal. El agua es un recurso cada vez más escaso para producir alimentos.

Afortunadamente la mejora y aumento en la producción vegetal es compatible con la economía del agua, requiere conocimientos y tecnologías para hacer más sostenible la producción de alimentos. Estas tecnologías ayudan a incrementar la eficiencia del uso del agua en la agricultura, logrando que las plantas produzcan más por cada unidad de agua consumida. El incremento de cultivos bajo riego por goteo ha permitido reducir la cantidad de agua utilizada por la agricultura. Al igual que las personas, las plantas prefieren recibir el agua y los nutrientes de una forma balanceada. El riego por goteo aplica agua y nutrientes de manera frecuente y en dosis pequeñas, asegurando las condiciones óptimas que ayudan a conseguir los mayores rendimientos posibles. El reto, distribuir homogéneamente el agua en una parcela de cultivo. La solución a este problema la han brindado el sistema de riego por goteo. “Tienen el objetivo de poner a disposición de las plantas el agua necesaria para su desarrollo y producción,



que estas no sufran déficit hídrico en ningún momento, que pudiera significar pérdidas en rendimiento y calidad. Encontrar el sistema necesario puede resultar complicado, si se desconoce en profundidad sus características” [14]

CONCLUSIÓN

La estrategia que planteamos en el proyecto cuenta con aliados estratégicos para el cumplimiento de los resultados propuestos:

- Disminución de los costos de producción por kg de carne obtenida para exportación o consumo interno, a partir de la instalación de todos los medios tecnológicos descritos para la producción de energía eléctrica. Se espera alcanzar una disminución de costos de un 30%, fundamentalmente en energía y compra de alimentos y fertilizantes.
- Disminución de la dependencia estacional a partir del bombeo de agua y su almacenamiento en épocas de sequía, utilizando motobombas solares y molinos de viento tradicionales. Se planea disponer de unos 30.000 litros almacenados por unidad productiva para épocas de sequía, los que se bombearían permanentemente sin costos adicionales. Tiempo estimado:
- Disminución estimada de un 30% en la generación de gases de efecto invernadero, acorde con los beneficios descritos internacionalmente a través del uso de los biodigestores. Tiempo estimado:
- Creación de una asociación que se dedique a la exportación de carne a mercados objetivo (internacionales). El objetivo esperado es la vinculación de, al menos, dos unidades productivas con destino exterior de su producción.
- Vinculación a prácticas tipo pasantías de jóvenes de las cooperativas beneficiadas gracias a su formación en cursos y capacitaciones SENA. Beneficiados: al menos 1 joven de cada una de las unidades beneficiadas.
- Mayor utilización de buenas prácticas de producción. Incremento promedio del 50%.
- Mejora de las condiciones de vida de familias que podrán cocinar con mayor comodidad y eficiencia utilizando gas natural obtenido de los biodigestores.

- Utilización de fertilizante natural, subproducto del uso de los biodigestores.
- Se capacitarán, en cursos Técnicos o Tecnológicos del SENA, 25 jóvenes de las unidades productivas beneficiadas en los diferentes programas de formación relacionados con Energía o Desarrollo agropecuario.

Con referente a los impactos ambientales, con todas las tecnologías propuestas, señalar que el medio ambiente se verá beneficiado al disminuir la generación de gases de efecto invernadero (disminución de la huella de carbono) lo que, adicionalmente, contribuye al objetivo internacionalmente aprobado y del cual Colombia es signatario. En Colombia fue aprobada la Ley 1931 de 2018 (Ley de cambio climático), que plantea las acciones que se deben desarrollar para el desarrollo de acciones de cambio climático en el país, las regiones y territorios.

Adicionalmente, en el proyecto se plantea la utilización de energías limpias, lo que constituye una apuesta positiva con el medio ambiente, recude la dependencia de combustibles fósiles de precio alto y voluble en los mercados. Al disminuir los costos por concepto energético se logran mejores beneficios para los productores de carne y ganancia en las ventas.



REFERENCIAS

- [1] G. G. León, y A. Carrasco, La carne de calidad: cuestión de bienestar. *La ciencia y el hombre*. 8(25):2-14. 2012.
- [2] Resolución no. 0225 de 2022, Convocatoria para el apoyo a proyectos de I+D+I que contribuyan a resolver los desafíos establecidos en la misión “Colombia hacia un nuevo modelo productivo, sostenible y competitivo” – área estratégica energía”. 2022
- [3] M. Pereira, y L. Turizo, Medidas para la implementación del uso racional y eficiente de la energía. Caso de las energías renovables en Colombia: Estado del Arte, avances y retos. *Revista Jurídica*, 17. 43-72. 2020.
- [4] D. Pezo, (2018). Estado del arte de la investigación e innovación para la intensificación sostenible de los sistemas ganaderos y de la adaptación / mitigación ante el cambio climático en América Latina y el Caribe. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/10042>
- [5] Aliyu, A.K., Renewable and Sustainable Energy Reviews, [Tesis de maestría]. Universidad de los Andes, Bogotá, 2017, [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.055>
- [6] Empresa Jober, [En línea]. Disponible en: <https://www.molinosjober.com/>
- [7] Empresa Novatio, [En línea]. Disponible en: <https://www.novatio.com.co/tecnologia>.
- [8] Diario La República, Se inauguró el parque solar San Fernando, el autogenerador más grande del país. edición del lunes 25 de octubre del 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.larepublica.co/economia/se-inauguro-el-parque-solar-san-fernando-el-autogenerador-mas-grande-del-pais-3251895>
- [9] Diario La República, Gobierno inauguró Guajira 1, el primer parque eólico que aportará 20 MW de energía. edición del lunes 21 de enero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.larepublica.co/economia/gobierno-inaugurara-hoy-el-parque-eolico-guajira-1-el-mas-grande-de-colombia-3289884>
- [10] Ingeniería ambiental, 2da Edición.

Glynn J. Henry, Heinke, Gary W 1999.

- [11] Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- [12] C. A. Quintero Serna, "Importancia de la alimentación animal en el sector agroindustrial", Revista InGente, vol. 2, n.º 2, pp. 49–56, dic. 2022.
- [13] Buenas prácticas ganaderas, [En línea]. Disponible en: <https://www.fedegan.org.co/programas/buenas-practicas-ganaderas>
- [14] B. J.M. Lecaros, (2011). El Riego por Goteo. Seminario Internacional de Riego y Fertirrigación. 23 y 24 de junio, Chiclayo, Perú.





CAPÍTULO 4 Biodigestores en el agro colombiano y la reducción de la huella de carbono

René Ramírez Fernández

Ingeniero de Sistemas, Magister en Educación, Docente Investigador
Institución Universitaria Americana
rramirez@coruniamericana.edu.co

Harold A. Pérez Olivera

Ingeniero Industrial. Magister en ingeniería industrial. Decano
Facultad Ingenierías Institución Universitaria Americana
hperez@coruniamericana.edu.co

Uno de los problemas más angustiosos y urgentes que tiene la humanidad hoy en día es la referente al cambio climático, con las nefastas consecuencias que puede tener para la vida del ser humano en nuestro planeta. El uso y abuso de los combustibles fósiles, la generación de gases de efecto invernadero, entre otros factores, han llevado un mensaje de urgencia, no siempre bien recibido por los gobiernos, acerca de la necesidad de sustituir la energía contaminante por energías limpias, derivadas de fuentes renovables.

Nuestro estudio analiza estas fuentes, de manera muy general, pero profundiza en el uso de los biodigestores, como una alternativa económica y con impacto favorable en el medio ambiente, la producción de energía y la generación de abono natural. “Cada año se estima que la biodegradación natural de la materia orgánica bajo condiciones anaeróbicas libera entre 590 y 800 millones de toneladas de metano a la atmósfera” [1].

Colombia es firmante del Acuerdo de París sobre cambio climático, y se ha trazado la política de alcanzar la llamada “carbono neutralidad” para el año 2050. Para lograr este objetivo, todas las naciones del mundo dedican investigaciones y proyectos que involucran el uso de energías “limpias”, que contribuyan a reducir o eliminar por completo, la emisión de gases contaminantes a la atmósfera.

VII. MARCO DE REFERENCIA

A partir de Pereira y Turizo [2], el planteamiento del problema que se sostiene como tesis central, Colombia ha sido tímido en la implementación real de las fuentes de energía no convencionales como medidas de eficiencia energética. Y mucho de lo que se ha hecho ha sido en zonas de mayor densidad de población.

Una fuente de energía renovable, conocida desde hace muchos años (1973), pero desafortunadamente no empleada suficientemente, la obtenemos a partir de los llamados biodigestores, los cuales se diseñan a partir de un contenedor de diferentes materiales (llamado reactor), cerrado de manera hermética, en el cual se deposita materia orgánica como: aguas residuales (que pueden ser domésticas o agroindustriales), estiércol, desechos de alimentos, frutas, verduras, entre otras.

El funcionamiento de los biodigestores se explica mediante un proceso conocido como fermentación anaerobia mediante la acción de microorganismos, estos desechos son transformados en biogás y un subproducto, normalmente líquido, que



se utiliza como fertilizante. Los biodigestores contribuyen a la reducción de la huella de carbono por la emisión de gases de efecto invernadero (hasta un 30% menos según estudios internacionales) y son una de las formas más eficientes de transformar desechos en energía.

“El biogás puede ser utilizado directamente como combustible para alimentar estufas y calderas, o puede ser convertido a energía eléctrica. Después de un tratamiento adicional (remoción de CO₂) también puede ser inyectado a la red de gas natural o utilizado como combustible vehicular”. El desecho líquido del proceso forma un fertilizante orgánico, que se utiliza para abonar los suelos o enriquecer el compost [3].

En Colombia alrededor del 93% de los residuos sólidos se disponen en rellenos sanitarios adecuados, mientras que unas 150 ton/día se vierten de forma descontrolada en botaderos satélite y cuerpos de agua. En las zonas rurales, la cobertura alcanza apenas el 0,5%. La digestión anaerobia de estos residuos para obtener biogás es ampliamente empleada en países de Europa y Asia. Sin embargo, en Latinoamérica, la producción de biogás tanto doméstica como industrial es escasa [4].

Según Sukendra [5], “el biogás puede ser empleado en diferentes aplicaciones que cubren los usos a nivel doméstico, comunitario e industrial. A escala doméstica, se pueden emplear biodigestores de 2-16 m³ de capacidad, generalmente para aplicaciones de cocción, calefacción e iluminación, como autoabastecimiento en zonas rurales o aisladas en las cuales se generan cantidades considerables de residuos orgánicos”. Esto sería ideal para zonas rurales donde resulta complicado llevar gas natural a través de tuberías, y resultaría en un nivel alto de satisfacción para los beneficiarios.

Conil [6] describe una experiencia en Colombia utilizando biodigestores que funcionan a partir del lodo de palma. Los autores señalan que encontraron muy pocas referencias a la utilización del lodo de palma a nivel mundial, a pesar de que se reconoce como una excelente materia prima para los biodigestores. Esta fuente alternativa de energía, y el abono obtenido como subproducto, en las condiciones actuales de sustitución de cultivos ilícitos por palma de aceite, sería un importante beneficio a los cultivadores y una mejor condición de vida. Un dato muy interesante del estudio [5] es el siguiente:

Producción de biogás: 20 m³/m³ de lodo, o sea, 800 a 1.200 m³/día.

Equivalencia energética: 150 a 200 galones de ACPM/día. Sin dudas un ahorro considerable.

Si analizamos la situación a nivel mundial, Arguello de Fernández [7] señala que “aproximadamente alrededor de tres mil millones de personas en el mundo emplean todavía la leña como fuente de energía para calentar agua y cocinar, provocando junto a otros efectos, que anualmente se pierdan en el mundo entre 16 y 20 millones de hectáreas de bosques tropicales y zonas arboladas”. Colombia no es ajena a esta situación, por lo que encontrar soluciones de bajo costo como los biodigestores puede generar, como efecto secundario, un descenso en la tala de árboles para ser utilizados como combustible.

En este sentido, Aguirre Ossa [8] señala que “Hablando puntualmente de Colombia, sólo cuenta con suministro de gas natural en su casco urbano, apenas se están instalando las redes de gas natural en los municipios y corregimientos. En la zona rural es común ver fogones a base de combustión vegetal conocidos popularmente como fogones de leña”. A esto debemos sumar la deforestación que se hace para convertir los bosques en campos de cultivo, tanto lícitos como ilícitos, o para la ganadería.

En la zona del eje cafetero colombiano, específicamente en Tolima, [9] señala que “En las fuentes hídricas del departamento del Tolima se estima un vertimiento de aguas mieles producto del beneficio del café, de 4000 toneladas/año de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de carga orgánica. Una alternativa para la mitigación de esta contaminación hídrica es la co-digestión anaerobia (estiércol de cerdo y aguas mieles), en biodigestores tipo Taiwán”. Según datos de la Federación Nacional de cafeteros de 2021, el 68% de la población de las zonas rurales se dedican al cultivo del café, generando unas 12.000 toneladas de residuos [8]. Las potencialidades no explotadas de estos residuos son realmente muy importantes.

Por su parte, en Duarte, Loaiza y Majano [10] encontramos un análisis de las potencialidades y barreras que se presentan actualmente en Colombia para lograr una mayor explotación del Biogás. Se parte de un acuerdo país de lograr, para el año 2050, la meta de carbono neutralidad. El estudio publicado en el 2016 por la UPME (Unidad de Producción Minero-Energética), se enfocó en la producción de etanol y biodiesel y no exploró el potencial de producción de biogás derivado de la producción de etanol ni de los demás sectores agroindustriales, pero se convirtió, junto con la Ley 1715 de 2014, en la puerta para el desarrollo del aprovechamiento de las biomásas residuales en el país.

Dicho estudio concluye que “si la biomasa palmera, tanto la sólida como el biogás, se utilizara para la producción de energía térmica y eléctrica, se podría producir aproximadamente 300 MW para entrega a la red, los cuales, sumados a lo co-



generado por el sector de caña de azúcar, pondría el aporte de los dos sectores a la producción de electricidad en 500 MW en el año 2018” [11].

La Ley 142 de 1994 [12] establece, en su artículo 74, la regulación que deben ejercer las CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas) para asegurar un suministro energético suficiente, que incluyen al biogás.

Al analizar la definición del biogás como una alternativa para producción de energía utilizando materia orgánica, multipropósito y que favorece la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero [13], menciona a su vez “La matriz energética colombiana (energía primaria) tiene una participación del 76% de energía fósil, 12% hídrica, 11% biomasa (leña y bagazo) y una participación mínima de otras energías renovables (biomasa y eólica) según el Balance Energético Colombiano a 2019”.

En cuanto a las Empresas más reconocidas en Colombia, que ya han desarrollado proyectos de instalación de biodigestores en diferentes zonas del país, destacamos las siguientes:

- Empresa mexicana Sistema Biobolsa. Inició operaciones en Colombia con la instalación de 3 biodigestores piloto en una finca de la Sabana de Bogotá. Se trata de un sistema de 40 m³ que va a servir para que esta finca pueda procesar el estiércol de vaca, y producir un fertilizante muy potente y también biogás para sus necesidades bioenergéticas [14].



Fig. 1. Biodigestores en la Sabana de Bogotá.

Nota: Contexto Ganadero. <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/biodigestores-comienzan-tomar-fuerza-en-colombia>

- Novatio [3] empresa franco-colombiana de ingeniería en bioenergía y soluciones ambientales creada en el 2017, ofrece soluciones en materia de biodigestores, de los que plantea como “el biogás puede ser utilizado directamente como combustible para alimentar estufas y calderas, o puede ser convertido a energía eléctrica. Después de un tratamiento adicional (remoción de CO₂) también puede ser inyectado a la red de gas natural o utilizado como combustible vehicular”.

En su página se puede obtener información y precios. Igualmente, de proyectos desarrollados por la empresa en diversos sectores y territorios de Colombia.

La Figura 2 ilustra el proceso de obtención de biogás.

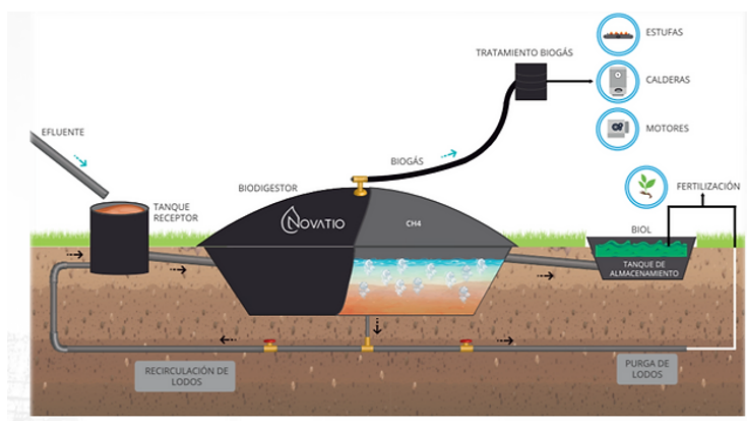


Fig. 2: Funcionamiento de un biodigestor.

Nota: Contexto Ganadero. <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/biodigestores-comienzan-tomar-fuerza-en-colombia>

- RedBioCOL se define como “una estrategia metodológica impulsada por personas y organizaciones convencidas de la capacidad de las tecnologías de la biomasa para responder a los desafíos medioambientales de hoy”. Ofrece un amplio portafolio y, entre sus objetivos cuentan “Promover en el público colombiano tecnologías apropiadas de generación de energía a partir de la biomasa” [15]. Se refieren al aprovechamiento energético del biogás: aprovechamiento del biogás, por combustión directa o mediante su utilización en motores para la generación de energía eléctrica. RedBioCOL “diseña e instala sistemas de biodigestion a pequeña, mediana y gran escala teniendo como base diseños, materiales, variables económicas, ambientales y sociales” [14].





Fig. 3. SEPS Proyecto de gasificación y biodigestión de fincas cafeteras.
Nota: Red colombiana de energía de la biomasa.

- Para Sistema bio [16] el biogás resulta una magnífica oportunidad para la agroindustria, que permite aprovechar la mayor cantidad de recursos y transformar los residuos de los animales, que tienen un alto contenido de metano y dióxido de carbono (gases de efecto invernadero), desechos como el lodo de los depuradores de agua e incluso desechos domésticos. Con el uso de biodigestores, la basura se convierte en una fuente limpia de energía, al tiempo que se reduce la huella de carbono.

Con una amplia gama de productos en el mercado, la empresa ha incursionado en la producción y montaje de biodigestores, como el que se muestra en la figura 4, tomada de su página web [15].



Fig. 4. Biodigestor instalado, empresa Rotoplast.

- En la página de [16] encontramos amplia información acerca de la utilización de biodigestores en diferentes países del mundo, entre ellos proyectos desarrollados por el equipo de la compañía en Colombia. Explican que “Sistema.bio es un paquete de biodigestor prefabricado y modular, que incluye conexiones y accesorios. Fácil de instalar y usar, nuestro patentado biodigestor transforma desecho orgánico en biogás y un potente fertilizante orgánico”.

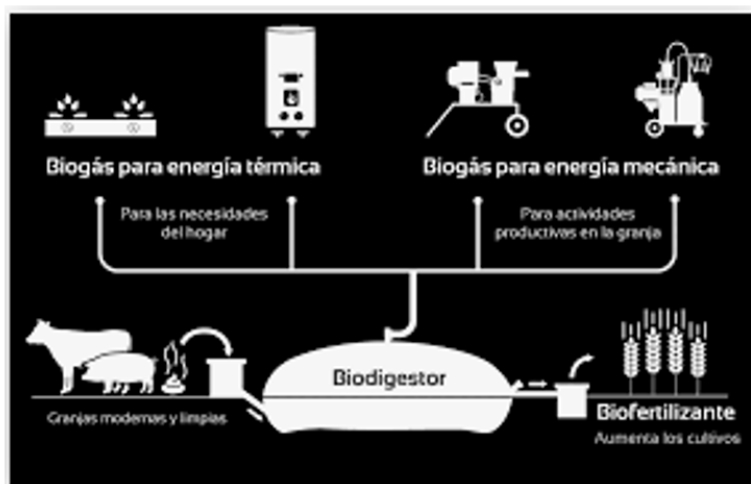


Fig. 5. Biodigestor
Nota: Empresa Sistema bio.

VIII. MÉTODO O METODOLOGÍA

El presente trabajo se ha desarrollado con un enfoque cualitativo, partiendo de una técnica de revisión bibliográfica de la literatura relacionada con el tema, ahondando en aspectos importantes abordados por los autores consultados, de manera que se constituye en un material de consulta para los interesados en el tema, estudiantes y empresarios que busquen la sustitución de energías convencionales por energías limpias (renovables). Hemos incluido en la revisión las empresas más reconocidas en Colombia que ofrecen el servicio de fabricación e instalación de Biodigestores, a la fecha, de manera que puedan ser tomadas como referentes en el desarrollo de proyectos energéticos.

En nuestro concepto, entre las diferentes fuentes de energías alternativas que se exploran y desarrollan actualmente, el uso de biodigestores presenta cierta analogía con el mito del Rey Midas, donde el toque tecnológico de materiales de desecho se transforma en el oro, en forma de energía. Conclusión a la que arribamos



a través del análisis documental y de las diferentes experiencias referenciadas.

En el análisis de la información que hemos desarrollado para el presente documento, se aprecia claramente que la implementación de los biodigestores en Colombia permitirá una correcta disposición de residuos orgánicos, reduciendo la contaminación y posibilitando la conservación de recursos naturales al hacer un uso provechoso de los desechos.

De la misma forma se han presentado experiencias de empresas en el sector de los biodigestores en Colombia, así como las bases legales que sirven de apoyo al tema. Esto permite afirmar que la investigación tiene un alcance no solamente descriptivo, sino exploratorio y que permitirá a los lectores la recopilación de información útil para el desarrollo de aplicaciones con biodigestores en el agro, no solamente en Colombia, sino en cualquier país.

IX. CONCLUSIÓN

La utilización de energías limpias, o renovables, que surgen a partir del incremento de las afectaciones que, durante años, ha provocado el hombre con la utilización, a veces irracional, de los combustibles fósiles, es un imperativo para la humanidad.

En este contexto, son múltiples las aplicaciones que se han desarrollado para sustituir el uso de combustibles fósiles, entre las que encontramos la energía solar, la eólica, la energía de las mareas y las olas, la hidroeléctrica, entre otras. Todas ellas van encaminadas a un mismo objetivo.

En nuestro estudio, hemos seleccionado una forma de generación de energía que lleva aparejados varios efectos altamente beneficiosos:

- Correcta deposición de residuos orgánicos en zonas donde el tratamiento de residuos es escasa o nula, y su conversión en biogás utilizable directamente en cocinas o generación de energía eléctrica.
- Recolección del “residuo de los residuos”, que es posible utilizar como fertilizante.
- Reducción de la huella de carbono producida por la ganadería, la porcicultura y otras actividades generadoras de desechos.

- Transferencia de tecnología a sectores poblacionales que lo requieren para mejorar sus niveles de vida y la satisfacción de necesidades básicas como el acceso a la electricidad, el uso de gas para cocinar y fertilizantes naturales sin costo.

Consideramos que el trabajo desarrollado permite, a las empresas y personas interesadas, contar con información oportuna para el desarrollo de proyectos en las zonas rurales, con unos costos realmente asequibles, al tiempo que las instancias de gobierno pueden apoyar estos proyectos sin incurrir en gastos extremadamente altos, beneficiando muchas familias de zonas apartadas.



REFERENCIAS

- [1] Bond, T., Templeton, M., 2011. History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy Sustain. Dev.* 15(4), 347-354. DOI: 10.1016/j.esd.2011.09.003
- [2] Pereira, M., Turizo, L. (2020). Medidas para la implementación del uso racional y eficiente de la energía. Caso de las energías renovables en Colombia : Estado del Arte, avances y retos. *Revista Jurídica*, 17. 43-72.
- [3] Empresa Novatio, desarrolladora de biodigestores. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.novatio.com.co/>
- [4] M. Acosta Pabuena y J. Pasqualino, «Potencial de uso de biogás en Colombia», *Tek. rev. cient.*, vol. 14, n.º 2, pp. 27-33, dic. 2014.
- [5] K.C. Surendra, D. Takara, A.G. Hashimoto, & S.K. Khanal. Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 846–859. 2014.
- [6] P. Conil, «Biodigestores para lodos de palma: la experiencia colombiana», *RevPalm*, vol. 10, n.º 2, pp. 31-35, ene. 1989.
- [7] V. Arguello De Fernández. [Traductor]. Especies para leña: arbustos y árboles para la producción de energía. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza – CATIE. Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía. *Turrialba, Costa Rica*, 344p. 1984.
- [8] F. J. Aguirre Ossa, Estado actual de la obtención de gas metano a partir de biodigestores en el eje cafetero colombiano. Tesis de Grado, Fundación universitaria San Mateo. 2018.
- [9] M. Hernández Sarabia, J. Sierra, y L. Delgadillo, «Aprovechamiento energético de residuos orgánicos de fincas cafeteras en el departamento del Tolima, Colombia », *RevRedBioLAC*, vol. 5, n.º 1, pp. 29–34, jul. 2022.
- [10] S. Duarte, B. Loaiza y A. Majano. De la práctica a la política: análisis de las barreras a la inversión en biogás en Colombia y las medidas para abordarlas, a partir de la experiencia de los desarrolladores y otros actores relevantes, LEDS-LAC. 2021.

- [11] Ley 142 de 1974, Congreso de la República de Colombia. Bogotá.
- [12] N. Rincón, y C. Castiblanco-Rozo. Políticas y normas sobre energías renovables para el desarrollo de biogás en Colombia. Una revisión. 2021.
- [13] Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), Balance energético colombiano – BECO. Database, con corte a 2019, 2021a. [En línea]. Disponible en: <https://www1.upme.gov.co>
- [14] Contexto Ganadero. Biodigestores comienzan a tomar fuerza en Colombia. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/biodigestores-comienzan-tomar-fuerza-en-colombia>
- [15] RedBioCOL, Red colombiana de energía de la biomasa. [En línea]. Disponible en: <https://redbiocol.org/>
- [16] Empresa Sistema bio [En línea]. Disponible en: <https://sistema.bio/co/>

