

Biogás: una prospectiva energética para la transición en pequeña y mediana escala

William Quiceno Ocampo

Asesor

Joan Sebastián Bustos Miranda

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Ingeniería Electrónica

2024

Resumen

En el marco del calentamiento global y la transición hacia energías alternativas, el biogás se destaca como una solución crucial. La actual dependencia del petróleo y el carbón ha provocado una considerable contaminación y ha contribuido al cambio climático, haciendo evidente la necesidad urgente de sustituir o eliminar estos combustibles. La biomasa y el biogás ofrecen una oportunidad para enfrentar estos desafíos, utilizando la fermentación de materiales orgánicos para generar energía en forma de calor, vapor o electricidad. Las energías renovables, especialmente la biomasa, son fundamentales en la lucha contra el cambio climático. Diversos informes muestran el éxito de los productores de biomasa en satisfacer las necesidades de múltiples industrias. La biomasa no solo contribuye a la producción de biogás, sino que también tiene un impacto positivo en la tierra y ayuda a mitigar el cambio climático. En resumen, la biomasa se presenta como una opción óptima para diversos sectores, incluyendo la industria, la agricultura y la sociedad en general. Su capacidad para proporcionar energía de manera sostenible la convierte en una alternativa valiosa en la transición hacia fuentes de energía más limpias y renovables, esencial para proteger el planeta y asegurar un futuro más sostenible.

Palabras Clave: Alternativa, Biogás, Energética, Generación de energía, Producción.

Abstract

In the context of global warming and the transition towards alternative energies, biogas stands out as a crucial solution. The current dependence on oil and coal has caused significant pollution and contributed to climate change, highlighting the urgent need to replace or eliminate these fuels. Biomass and biogas offer an opportunity to address these challenges by using the fermentation of organic materials to generate energy in the form of heat, steam, or electricity. Renewable energies, especially biomass, are fundamental in the fight against climate change. Various reports show the success of biomass producers in meeting the needs of multiple industries. Biomass not only contributes to the production of biogas but also has a positive impact on the land and helps mitigate climate change. In summary, biomass emerges as an optimal option for various sectors, including industry, agriculture, and society in general. Its ability to provide energy sustainably makes it a valuable alternative in the transition towards cleaner and renewable energy sources, essential for protecting the planet and ensuring a more sustainable future.

Keywords: Alternative, Biogas, Energy, Energy generation, Production.

Tabla de Contenido

Introducción.....	11
Planteamiento del problema	13
Objetivos	15
Objetivo general	15
Objetivos específicos	15
Metodología Empleada Para La Ejecución De Los Objetivos.....	16
Metodología Empleada en el Objetivo “Examinar las Políticas y Regulaciones Vigentes en diversos Países que Promueven o Dificultan la Adopción de Tecnologías de Generación de Biogás”	16
Método	16
Metodología Empleada en el Objetivo Específico “Cuantificar el Potencial de los Residuos Orgánicos Disponibles Para la Producción de Biogás, Enfocándose en Fuentes Como Desechos Agrícolas, Residuos Sólidos Urbanos y Subproductos Industriales”	17
Método	17
Impacto Ambiental y Económico	18
Metodología Empleada en el Objetivo “Evaluar el Estado Actual de la Generación de Energía a Nivel Global, Identificando Tendencias y Desafíos en la Transición Hacia Fuentes de Energía más Sostenibles”	18
Método	19
Metodología Empleada en el Objetivo Específico “Analizar Sistemas de Generación de Energía Basados en Biogás, Teniendo en Cuenta la Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y la Viabilidad Financiera”	20
Tipos de Sistemas de Almacenamiento de Biogás.....	20

Costos y Beneficios de Implementación	21
Método	21
Metodología Empleada en el Objetivo Específico “Analizar la Eficacia y Eficiencia de las Tecnologías Actuales de Generación de Biogás, Considerando su Aplicabilidad en Diferentes Contextos Geográficos y Socioeconómicos”	22
Potencial y Aplicabilidad del Biogás en Diferentes Regiones	22
Fuentes y Metodología	23
Políticas y Regulaciones	24
El Biogás	28
La Biomasa	28
Potencial de Residuos Orgánicos	29
Tipos de Digestores.....	29
Producción de biogás a pequeña escala	33
Distribución de la Mezcla diaria.....	37
Figura 5	39
Tipo de Animal Relación Estiércol	42
Tabla 5.....	44
Producción de Biogás a Mediana Escala.....	45
Tipos de Biocombustibles	48
El Biogás a Nivel Global.....	50
Latinoamérica y el Uso del Biogás	52

El Biogás en Colombia.....	53
Análisis de Sistemas de Generación de Energía Basados en Biogás.....	58
Eficiencia del Biogás Socioeconómica Y Geográfica	63
Figura 13	67
Figura 14	68
Aporte Desde El Campo Disciplinar Ingeniería Electrónica	70
Sistema de Control y Monitoreo.....	70
Automatización	79
Biodigestor Principal	79
Tecnología de Conversión.....	80
Gestión de Energía.....	80
Investigación y Desarrollo.....	80
Resultados.....	82
VT=120 litros×0.75=90 litros.	83
CD=VT/TR=90 litros/30 días=3 litros/día.....	83
3 litros/día×25%=0.8 kgAgua. 3 litros/día×75%=2.2 litros	83
Producción de Biogás estimada de 0.3 m ³ de biogás	84
Generación de Electricidad1 m ³ de metano puede generar 10 kWh de electricidad.	84
Biogás a Mediana Escala.....	84
Dependencia Energética Global.....	86
Producción en Europa.....	87

Situación en América Latina	87
El Biogás en Colombia.....	88
Iniciativas Clave.....	88
Impacto Ambiental.....	88
Biodigestores de Bajo Costo	89
Sistemas de Almacenamiento de Biogás	90
Sistema de Limpieza y Compresión.....	90
Evaluación de Métodos de Almacenamiento	90
Análisis Económico.....	91
Transición Energética Sostenible	91
Uso de Fuentes Renovables	92
Producción de Biogás en Brasil	92
Emisiones de CO2 en Colombia	92
Matrices Energéticas y Energías Renovables no Convencionales (ERNCS).....	93
Aumento de Participación de ERNCs	93
Discusiones y Limitaciones.....	94
Conclusiones	98
Referencias Bibliográficas	103

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Instancias de Normativas y Políticas en la Producción de Biogás</i>	24
Tabla 2 <i>Carga de Materia Prima</i>	38
Tabla 3 <i>Carga de Estiercol</i>	39
Tabla 4 <i>Mezcla Para Pequeños Biodigestores</i>	40
Tabla 5 <i>Producción de Estiércol y Agua por Tipo de Animal</i>	42
Tabla 6 <i>Proyección en la Implementación a Mediana Escala con Cerdos</i>	45

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Biodigestor tipo Globo</i>	26
Figura 2 <i>Biodigestor de domo fijo</i>	29
Figura 3 <i>Biodigestor tipo hindú</i>	30
Figura 4 <i>Muestra del Porcentaje de Residuos Orgánicos Obtenidos</i>	33
Figura 5 <i>Biodigestor a pequeña escala</i>	37
Figura 6 <i>Consumo de energía global</i>	48
Figura 7 <i>Planta De Biometano</i>	53
Figura 8 <i>Planta de Biogás Doña Juana</i>	55
Figura 9 <i>Sistema de un Biodigestor Familiar</i>	56
Figura 10 <i>Tanques de Metano</i>	57
Figura 11 <i>Mochila para transporte de biogás</i>	59
Figura 12 <i>Producción de energía primaria</i>	64
Figura 13 <i>Potencial de Biomasa en Colombia</i>	66
Figura 14 <i>TES por Región</i>	67
Figura 15 <i>Software para el Diseño de Biodigestores</i>	71
Figura 16 <i>Software para Ingreso de Datos al Diseño</i>	72
Figura 17 <i>Software para introducir datos del biodigestor y obtener estadísticas</i>	73
Figura 18 <i>Software muestra como está quedando el diseño del biodigestor</i>	74
Figura 19 <i>Calculo de la Producción de biogás y energía</i>	75
Figura 20 <i>Esquema Resultante del Biodigestor</i>	76

Figura 21 <i>Proceso de un Biodigestor</i>	77
Figura 22 <i>Biodigestor a pequeña escala</i>	83
Figura 23 <i>Planta de tratamiento de estiércol Bovino</i>	85
Figura 24 <i>Potencial de Energías Renovables en Colombia</i>	95

Introducción

En la actualidad, la cooperación entre países demuestra un creciente interés y compromiso en abordar el cambio climático y sus consecuencias para la humanidad. Las discusiones se centran en el calentamiento global, el cambio climático, las energías alternativas no convencionales y la transición energética. En este contexto, se analizan diversas estrategias para reducir las emisiones de gases en la atmósfera, aprovechando al máximo las oportunidades que ofrece la transición energética y la protección del medio ambiente. Proponemos una prospectiva que puede beneficiar a muchos: la generación de energía a través del biogás, una alternativa energética transicional.

La materia orgánica, ya sea de origen animal o vegetal, juega un papel esencial en esta transformación. La producción de energía mediante biogás se presenta como una opción integral y eficaz en la lucha contra el cambio climático y sus efectos ambientales, como el efecto invernadero, la contaminación de ríos y la calidad del aire. La fermentación de materia orgánica, proveniente de la industria y otras fuentes, mediante la implementación de sistemas biodigestores, se posiciona como un paso clave hacia la transición energética.

Este enfoque no solo atiende las preocupaciones ambientales, sino que también promete llevar electricidad y gas a áreas remotas y a las familias más necesitadas en zonas urbanas. Esta monografía examina la presencia global y local de plantas de biogás y el uso de biomasa, evaluando su impacto ambiental y los beneficios potenciales para un futuro con menos contaminación y mayores ventajas para la humanidad.

Para profundizar en los objetivos específicos del estudio, los primeros cinco capítulos se estructuran de la siguiente manera:

El Capítulo 1 aborda las políticas y regulaciones actuales de diversos países que pueden influir tanto positiva como negativamente en la adopción de tecnologías para la generación de biogás. En el Capítulo 2, se investiga la capacidad de los residuos orgánicos disponibles, como desechos agrícolas, residuos sólidos urbanos y subproductos industriales, para la producción de biogás. El Capítulo 3 realiza una evaluación sobre la situación actual de la generación de energía a nivel mundial.

Los Capítulos 4 y 5 se centran en analizar y estudiar los sistemas de generación de energía mediante biogás, con un enfoque particular en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la viabilidad financiera de estas tecnologías. Además, se examina la eficacia y eficiencia de las tecnologías actuales de biogás, evaluando cómo se aplican en diferentes contextos geográficos y socioeconómicos.

El capítulo 6 expone la capacidad e imaginación que pretende realizar un trabajo de ingenio en la construcción de biodigestores a pequeña y mediana escala, con instrumentos de potencia y control que permitan dar un servicio eficaz a la distribución de biogás.

Planteamiento del Problema

Las energías renovables, provenientes de recursos naturales que se regeneran más rápido de lo que se consumen, son conocidas como energías alternativas. Históricamente, su desarrollo ha enfrentado obstáculos tecnológicos y económicos. Sin embargo, muchos de estos obstáculos han sido superados y ahora solo falta una política global que promueva y estimule la transición en el sistema energético. Estas políticas ya están tomando forma gracias a los acuerdos entre países comprometidos con la reducción de dióxido de carbono para el año 2030. Las energías renovables tienen el potencial de contribuir a la seguridad energética de un país mediante la diversificación de sus fuentes de energía y de prevenir la contaminación local y global.

En un mundo cada vez más orientado hacia la transición energética y las fuentes de energías renovables, es importante comprender la relación entre el cambio climático y la implementación de sistemas o plantas de energía basadas en biomasa. El objetivo es reducir la contaminación y aprovechar una gran variedad de elementos orgánicos, fundamentales para el funcionamiento de un sistema biodigestor que beneficie a una gran parte de la población, especialmente en el campo y la industria. A partir de residuos orgánicos, mediante un proceso de digestión anaeróbica, se puede obtener biogás. Su alto contenido de metano nos proporciona energía y, durante su proceso, genera residuos que generalmente pueden ser utilizados como fertilizantes en el sector agrícola.

La energía térmica o eléctrica se puede generar a partir del biogás, lo que implica que se deben cumplir ciertas características técnicas, económicas y productivas para

implementar estos sistemas. Es relevante destacar que, hasta el momento, la implementación de sistemas de biomasa ha quedado en ideas sin materializar, debido a la falta de políticas que incentiven su desarrollo tanto en las industrias porcinas y ganaderas como en la industria de la caña y otras que pueden beneficiarse de los residuos orgánicos producidos.

El impacto medioambiental positivo del uso de energías alternativas, como los biodigestores, es significativo en esta transición energética. Estos sistemas permiten generar energía que puede reemplazar a los combustibles fósiles y beneficiar al campo, la industria, la sociedad en general y, especialmente, al medio ambiente. Mirando hacia el futuro, los sistemas de biogás representan una solución viable para mitigar el cambio climático. En Colombia, la implementación de estos sistemas es prometedora debido a la amplia producción ganadera, porcina y vegetal. Por ello, es necesario estudiar a fondo esta implementación para que las industrias y el campo aprovechen oportunamente sus residuos y se construyan más sistemas de biogás.

Objetivos

Objetivo General

Identificar el potencial y la viabilidad de la generación de energía mediante biogás como alternativa energética transicional en pequeña y mediana escala, evaluando los beneficios y desafíos asociados para proporcionar una perspectiva integral y fundamentada que contribuya a la transición hacia fuentes de energía más sostenibles y limpias en el contexto actual.

Objetivos Específicos

Examinar las políticas y regulaciones vigentes que promueven o dificultan la adopción de tecnologías de generación de biogás.

Cuantificar el potencial de los residuos orgánicos disponibles para la producción de biogás, enfocándose en fuentes como desechos agrícolas, residuos sólidos urbanos y subproductos industriales.

Evaluar el estado actual de la generación de energía a nivel global, identificando tendencias y desafíos en la transición hacia fuentes de energía más sostenibles.

Analizar los sistemas de generación de energía basados en biogás, teniendo en cuenta la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la viabilidad financiera.

Analizar la eficacia y eficiencia de las tecnologías actuales de generación de biogás, considerando su aplicabilidad en diferentes contextos geográficos y socioeconómicos.

Metodología Empleada para la Ejecución de los Objetivos

El desarrollo metodológico de la presente monografía está basado en el objetivo general “Identificar el potencial y la viabilidad de la generación de energía mediante biogás como alternativa energética transicional en pequeña y mediana escala, evaluando los beneficios y desafíos asociados para proporcionar una perspectiva integral y fundamentada que contribuya a la transición hacia fuentes de energía más sostenibles y limpias en el contexto actual”. El documento cuenta con 6 capítulos de los cuales los 5 primeros hacen una relación a los objetivos específicos. A continuación, se describe la metodología empleada para el desarrollo de cada objetivo.

Metodología Empleada en el Objetivo “Examinar las Políticas y Regulaciones Vigentes en diversos Países que Promueven o Dificultan la Adopción de Tecnologías de Generación de Biogás”

Método

Revisión Documental. Se realiza una revisión exhaustiva de literatura y documentos oficiales que detallan las políticas y regulaciones relacionadas con el biogás. Esto incluye leyes, decretos, políticas sectoriales, y documentos estratégicos como planes nacionales de energía o medio ambiente.

Análisis Comparativo. Se comparan las políticas y regulaciones, identificando similitudes y diferencias en términos de enfoques regulatorios, incentivos financieros, programas de apoyo, y requisitos para la implementación de proyectos de biogás.

Análisis de Impacto. Se evalúa el impacto de las políticas y regulaciones en la adopción de tecnologías de biogás, considerando indicadores como la capacidad instalada,

la penetración en el mercado, la sostenibilidad de los proyectos y los beneficios ambientales y económicos obtenidos.

Instrumentos. Bases de datos académicas (Google Scholar, Google Académico), Informes gubernamentales y publicaciones

Metodología Empleada en el Objetivo Específico “Cuantificar el Potencial de los Residuos Orgánicos Disponibles Para la Producción de Biogás, Enfocándose en Fuentes Como Desechos Agrícolas, Residuos Sólidos Urbanos y Subproductos Industriales”

Método

Identificación y Caracterización de Fuentes de Residuos Orgánicos

Desechos Agrícolas. Se recopilan datos sobre la cantidad y tipo de residuos agrícolas disponibles, como restos de cultivos, estiércol animal, y subproductos agrícolas.

Residuos Sólidos Urbanos. Se analiza la composición de los residuos sólidos urbanos para determinar la fracción orgánica y su potencial para biogás.

Subproductos Industriales. Se investigan los subproductos de industrias locales que contienen materia orgánica, como desechos de alimentos, residuos de procesos industriales, etc.

Modelado. Se utilizarán modelos gráficos y numéricos para estimar el potencial de producción de biogás a partir de estos residuos.

Potencial de Biogás. Estimación del potencial de producción de biogás para cada tipo de residuo mediante pruebas de digestión anaeróbica de datos disponibles en literatura científica.

Tipos de Biodigestores. Evaluación y selección adecuado de biodigestor según los tipos y cantidades de residuos disponibles. Se consideran biodigestores semi-continuos o discontinuos según la disponibilidad de residuos.

Capacidad y Eficiencia. Se determina la capacidad de los biodigestores necesarios para manejar los flujos de residuos identificados y maximizar la producción de biogás.

Impacto Ambiental y Económico

Análisis de Ciclo de Vida. Se realiza un análisis de ciclo de vida para evaluar el impacto ambiental de la conversión de residuos en biogás, incluyendo la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y otros impactos ambientales.

Viabilidad Económica. Se evalúa la viabilidad económica del proyecto, considerando costos de inversión, operativos y beneficios económicos derivados del biogás producido.

Instrumentos. Bases de Datos de Diferentes documentos Científicos

Metodología Empleada en el Objetivo “Evaluar el Estado Actual de la Generación de Energía a Nivel Global, Identificando Tendencias y Desafíos en la Transición Hacia Fuentes de Energía más Sostenibles”

Analizar el papel del biogás en la transición hacia un sistema energético más sostenible y eficiente a nivel global, explorando su adopción, desarrollo y potencial futuro en diferentes regiones del mundo.

Analizar la distribución actual de fuentes energéticas a nivel global, Incluyendo el predominio de los combustibles fósiles, las energías renovables y la posición del biogás dentro de este panorama.

Explorar las ventajas ambientales del biogás, Evaluando su contribución a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la huella de carbono en comparación con otras fuentes energéticas.

Estudiar casos destacados de adopción del biogás en diferentes regiones, Con un enfoque en China, India, Europa, Estados Unidos y América Latina, destacando políticas, tecnologías y datos específicos de implementación.

Proyectar el potencial futuro del biogás en la matriz energética global, Considerando las metas de des carbonización para 2050 y las estrategias para sustituir el gas natural por biogás o biometano.

Analizar desafíos y barreras para la expansión del biogás, Incluyendo aspectos regulatorios, económicos y tecnológicos que podrían limitar su adopción a mayor escala.

Método

Revisión de Literatura y Datos. Se llevó a cabo una revisión como fuente primaria de literatura y datos sobre la generación de energía a nivel global, enfocándose en fuentes de energía sostenibles. Se realizó una revisión exhaustiva de estudios, e informes relevantes sobre la generación de energía global, con un enfoque específico en biogás.

Análisis de Datos Secundarios. Recopilación y análisis de datos secundarios provenientes de organizaciones como la Agencia Internacional de Energía (IEA), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), entre otros, para comprender la participación y crecimiento del biogás a nivel mundial.

Estudios de Caso. Se estudian casos específicos de países líderes en biogás, como China, Alemania, Estados Unidos, Brasil y México, para entender las políticas, tecnologías y desafíos enfrentados en cada contexto.

Instrumentos. Informes científicos y de organismos internacionales.

Metodología Empleada en el Objetivo Específico “Analizar Sistemas de Generación de Energía Basados en Biogás, Teniendo en Cuenta la Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y la Viabilidad Financiera”

Contextualización sobre la importancia del biogás como fuente energética renovable y sostenible,

Justificación del estudio enfocado en la reducción de emisiones y la viabilidad económica de los sistemas.

Tipos de Sistemas de Almacenamiento de Biogás

Almacenamiento a Presión. Descripción del proceso de almacenamiento utilizando cilindros adecuados y compresores. Discusión sobre aplicaciones domésticas y automotrices.

Almacenamiento Volumétrico. Explicación del almacenamiento en bolsas o neumáticos, detallando los materiales y las condiciones necesarias para su implementación.

Metodología de Análisis Económico

Indicadores Financieros. Uso de la tasa interna de retorno (TIR) como medida de rentabilidad y el período de recuperación de la inversión (PRI) para evaluar la viabilidad económica a lo largo de la vida del proyecto.

Costos y Beneficios de Implementación

Beneficios Económicos. Estimación del ahorro anual por la sustitución de otros combustibles como el GLP.

Costos De Operación Y Mantenimiento. Incluye el reemplazo de filtros, consumo eléctrico y mantenimiento de equipos.

Inversión Inicial. Detalle de los costos de adquisición de equipos como compresores, manómetros, y materiales para cada tecnología evaluada.

Depreciación y Valor de Rescate. Cálculo de la depreciación anual de equipos y el valor estimado de reventa al final de la vida útil del proyecto.

Método

Estudio de Casos. Se seleccionarán y analizarán estudios de casos exitosos de implementación de sistemas de generación de biogás en diversas regiones.

Presentación de un estudio de caso aplicado a cada tipo de sistema de almacenamiento de biogás evaluado.

Análisis comparativo de los resultados económicos y ambientales obtenidos.

Fuentes Primarias. Datos de estudios de caso específicos, informes técnicos de fabricantes de equipos.

Fuentes Secundarias. Revisión de literatura científica y técnica sobre tecnologías de almacenamiento de biogás, estudios de impacto ambiental y económico relacionados.

Instrumentos. Documentación de Estudios de Caso

Metodología Empleada en el Objetivo Específico “Analizar la Eficacia y Eficiencia de las Tecnologías Actuales de Generación de Biogás, Considerando su Aplicabilidad en Diferentes Contextos Geográficos y Socioeconómicos”

Contextualización sobre la transición hacia fuentes energéticas más sostenibles y la importancia del biogás como una alternativa viable.

Discusión sobre la responsabilidad empresarial y estatal en la protección de derechos humanos y el medio ambiente durante la implementación de proyectos de biogás.

Importancia de la participación ciudadana en la planificación y evaluación de impactos.

Potencial y Aplicabilidad del Biogás en Diferentes Regiones

Estudio de caso Brasil. Análisis del uso de biogás en la producción de etanol y su contribución a la generación eléctrica.

Estudio de caso Colombia. Evaluación del potencial de biomasa disponible y su impacto en la matriz energética nacional.

Comparación de eficiencia entre distintas tecnologías de biodigestores y métodos de purificación de biogás (biometano).

Evaluación de costos de implementación y mantenimiento en diferentes contextos geográficos y socioeconómicos.

Impacto del biogás en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con combustibles fósiles.

Consideraciones sobre la sostenibilidad a largo plazo y el uso responsable de recursos naturales.

Interpretación de los resultados obtenidos en términos de viabilidad económica, efectividad ambiental y adaptabilidad a diferentes contextos geográficos.

Recomendaciones para políticas públicas y estrategias empresariales orientadas a la promoción del biogás como fuente energética renovable.

Fuentes y Metodología

Fuentes Primarias. Datos recientes de estudios de caso específicos en Brasil y Colombia, análisis de informes gubernamentales sobre matrices energéticas y emisiones.

Fuentes Secundarias. Revisión de literatura académica y técnica sobre eficiencia de tecnologías de generación de biogás, impactos socioeconómicos y ambientales, y políticas energéticas globales.

Políticas y Regulaciones

Para llevar a cabo proyectos de biodigestores de manera efectiva, es esencial contar con un marco de políticas públicas que esté bien alineado entre los sectores energético, ambiental, de salud pública y agrícola. Estas políticas son esenciales tanto para la planificación como para la implementación de los proyectos.

Los actores del sector privado, como ONG, empresas, bancos, entidades financieras y agencias de cooperación, juegan un papel decisivo en la realización de proyectos de biodigestores al gestionar y dirigir el financiamiento, además de proporcionar la tecnología y los servicios financieros necesarios. La colaboración de universidades, tanto públicas como privadas, es fundamental, ya que brindan investigación, monitoreo y formación especializada en el ámbito de las energías renovables.

La coordinación entre todos estos actores es indispensable, debido a los numerosos aspectos que se deben considerar en los proyectos de biodigestores. Esto incluye regulaciones ambientales, controles de calidad, costos económicos y ambientales de la energía, financiamiento, proveedores de tecnología, capacitación y soporte técnico (S.A, 2014).

La Ley 697 de 2001, promulgada el 3 de octubre, tiene como objetivo promover el uso eficiente y racional de la energía, así como fomentar la utilización de energías alternativas. Además de estas disposiciones, la ley puede incluir otras medidas relacionadas con la gestión energética y ambiental en Colombia. El Artículo 3° de esta ley define el Uso Racional de la Energía (URE) como la optimización de la energía en todas las etapas de su cadena, desde la selección de la fuente energética hasta su consumo, incluyendo su

reutilización cuando sea posible, con el fin de promover el desarrollo sostenible en todas las actividades relacionadas con la energía. El mismo artículo define una Fuente Energética como cualquier elemento físico del cual se puede obtener energía para su aprovechamiento, clasificándolas en fuentes convencionales y no convencionales (*LEGUIZAMÓN, 2020*).

En el ámbito político, la firma de la declaración de crecimiento verde, aprobada por la presidencia de la república en 2015 a través del Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2014-2018 mediante la Ley 1753, y el proceso de adhesión a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), han establecido en el artículo 170 de dicha ley que, bajo la coordinación del PND y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), y con la participación de los demás ministerios, se debe formular una política de crecimiento verde para 2030 (*Nidia Yaneth Rincón-Velásquez, 2021*).

Aunque el biogás no presenta tanta variabilidad como otras fuentes de energía, puede almacenarse y generar energía según la demanda, tanto a pequeña como a gran escala. El biogás permite combinar el rol de productor y consumidor, facilitando así un proceso de autogestión energética. Su producción puede realizarse con diversos costos y ser gestionada tanto por agricultores como por complejos agropecuarios. Según la UPME, el país tiene un gran potencial para aprovechar el biogás, lo que podría impulsar transformaciones en la producción agropecuaria, la disposición de residuos y el uso de lodos de PTAR, mediante incentivos directos o indirectos. Sin embargo, la complejidad de la producción energética a partir de esta fuente renovable sugiere que la promoción desde la política energética no es suficiente por sí sola (*Nidia Yaneth Rincón-Velásquez, 2021*).

Los mecanismos de incentivo establecidos en el artículo 5 de la Ley 1715/14 enfatizan la generación de energía eléctrica a partir de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), las cuales son ambientalmente sostenibles, pero no están ampliamente utilizadas en el país, o se emplean de manera marginal y no se comercializan extensivamente. Dentro de estas fuentes se incluye la producción de gas mediante biomasa, y muchos han optado por la producción de biogás gracias a esta legislación (*Nidia Yaneth Rincón-Velásquez, 2021*).

Tabla 1

Instancias de Normativas y Políticas en la Producción de Biogás

Fase	Categorías		Instancia de Política, Normativa	
Biogás	Generación de Energía	Usos	MM	
		d térmicos	E	
		fuera de red	CRE	
		de transporte	G	
			SSP	
			D	
Consumo	Biometano	Domestico.	UPME	
			MME	
		Distribuci	Industrial,	CREG
		ón Urbana	Vehicular,	SSPD
		en red	generación	
				UPME
	Biofertilizante Abono Orgánico MADR,ICA			

Nota. Fase de consumo, categoría e instancias para el biogás. Tomado de: (*Nidia Yaneth Rincón-Velásquez, 2021*)

Las instancias de política y normatividad están dadas a muchos requerimientos que dependen de su aplicabilidad o su deserción por falta de gestión o la mala promoción que se le debe dar a esta oportunidad de generar electricidad a partir del biogás, tenemos como ejemplo en las categorías de producción, transporte, consumo y distribución del Biogás, la instancia política y normativa MME (Sostenible, 2014), CREG (CREG, 2022), SSPD (Domiciliarios, 2022), UPME (UPME, 2020), que en su Plan de acción sectorial PAS en cumplimiento con la estrategia colombiana para el desarrollo de bajas emisiones de carbono (Sostenible., 2021), debe cumplir el PAS de energía eléctrica, en la línea de fuentes no convencionales de energía renovable en el sistema energético nacional a cargo del ministerio de minas y energía (Energía, 2014),

La única regulación específica sobre Biogás que existe en Colombia es de la CREG y solo considera proyectos de gran escala, con lo cual se deja en el limbo a los proyectos existentes de pequeña y mediana escala (Nidia Yaneth Rincón-Velásquez, 2021).

El Biogás

La Biomasa

Son compuestos orgánicos que provienen de sustancias carbonadas producidas durante la fotosíntesis. Antes de su uso, estos compuestos pueden haber pasado por diversos procesos, tanto naturales como artificiales, que pueden variar en su grado de simplicidad o complejidad (*Fernando Sebastian Nogues, 2010*).

Los materiales orgánicos y residuos de origen vegetal o animal tienen el potencial de ser utilizados en la producción de combustibles mediante un proceso meticuloso y técnico que puede ser implementado en diversos lugares. Es esencial prestar atención al problema de la contaminación diaria en hogares, campos e industrias debido a la cantidad de desechos generados. En lugar de ser un problema ambiental, estos residuos podrían transformarse en una solución valiosa para la generación de energía o calor (*Hernandez, 2015*).

En el sector energético, el concepto de biomasa se utiliza para describir una fuente de energía que es renovable que incluye una amplia gama de productos derivados, conocidos como biocombustibles, en diversas formas (sólidos, líquidos o gaseosos). Estos biocombustibles pueden aplicarse en todos los sectores que tradicionalmente utilizan combustibles convencionales, como electricidad, transporte, usos térmicos y como materias primas en la industria química. La notable diversidad de opciones es una característica fundamental de la biomasa en comparación con otras energías renovables, que se enfocan principalmente en la producción de electricidad o calor (*Perdices, 2008*).

Potencial de Residuos Orgánicos

El biogás se genera a partir de residuos orgánicos que atraviesan un proceso de digestión anaeróbica, el cual tiene lugar en compartimentos cerrados conocidos como biodigestores, donde la ausencia de oxígeno es fundamental. Es crucial estabilizar los residuos orgánicos derivados de animales o vegetales mediante un sistema de tratamiento para reducir su potencial contaminante. Además de estabilizar los residuos, la digestión anaeróbica facilita la producción de biogás, proporcionando una solución integral que aborda tanto el tratamiento de desechos como la obtención de un recurso energético valioso (Hernandez, 2015).

Los residuos orgánicos derivados de animales o plantas necesitan ser estabilizados mediante un proceso de tratamiento para reducir su impacto contaminante. Uno de estos métodos efectivos es la digestión anaeróbica, que no solo permite tratar los residuos, sino que también conduce a la producción de biogás. El biogás, un subproducto de procesos bioquímicos, está compuesto principalmente por metano (40-80%), dióxido de carbono (18-44%), y en proporciones menores, menos del 4%, otros gases como hidrógeno (H₂), sulfuro de hidrógeno (H₂S) y nitrógeno (N₂). El metano, destacando por su alta concentración, es especialmente valioso como recurso energético, subrayando su potencial como una fuente sostenible y renovable (Hernandez, 2015).

Tipos de Digestores

Discontinuos. Los digestores discontinuos, también conocidos como Batch, son tanques herméticos que se llenan por completo con los desechos orgánicos. El gas se

acumula en un colector flotante conectado en la parte superior del tanque. Estos biodigestores se utilizan cuando la disponibilidad de desechos orgánicos es intermitente

Semi-continuos. La carga y descarga de estos biodigestores se lleva a cabo en intervalos específicos durante el proceso de producción de biogás. Existen tres tipos básicos de biodigestores.

Biodigestor de tipo globo. El biodigestor llamado también taiwanés tiene una estructura que consiste en una fosa plana revestida de concreto, dentro de la cual se coloca un cilindro de polietileno. Se deben instalar conexiones para la entrada de los desechos orgánicos y la salida del biogás. Se llena de agua y aire, y luego se van añadiendo los desechos orgánicos. Este tipo de biodigestor es de bajo costo, fácil de transportar, tiene una alta temperatura de digestión, es fácil de limpiar, mantener y vaciar. Sin embargo, tiene una gran desventaja, ya que tiene una vida útil corta, es susceptible a daños, y tiene un potencial limitado de autosuficiencia.

Figura 1

Biodigestor Tipo Globo



Nota. La figura es un biodigestor de tipo globo sobre una fosa plana. Fuente: (Mannise, 2019).

Biodigestor de Domo Fijo. El biodigestor chino, también llamado tanque subterráneo, se construye generalmente con ladrillo o concreto y tiene una forma cilíndrica vertical con extremos convexos y redondeados, además de un sistema de carga y descarga integrado. El biogás se acumula debajo de la cúpula superior y su presión varía según la producción. Su costo de construcción es relativamente bajo, tiene una vida útil prolongada y ahorra espacio al estar enterrado. Sin embargo, presenta desventajas en términos de permeabilidad, ya que una fractura puede resultar en pérdidas de gas.

Figura 2

Biodigestor de Domo Fijo

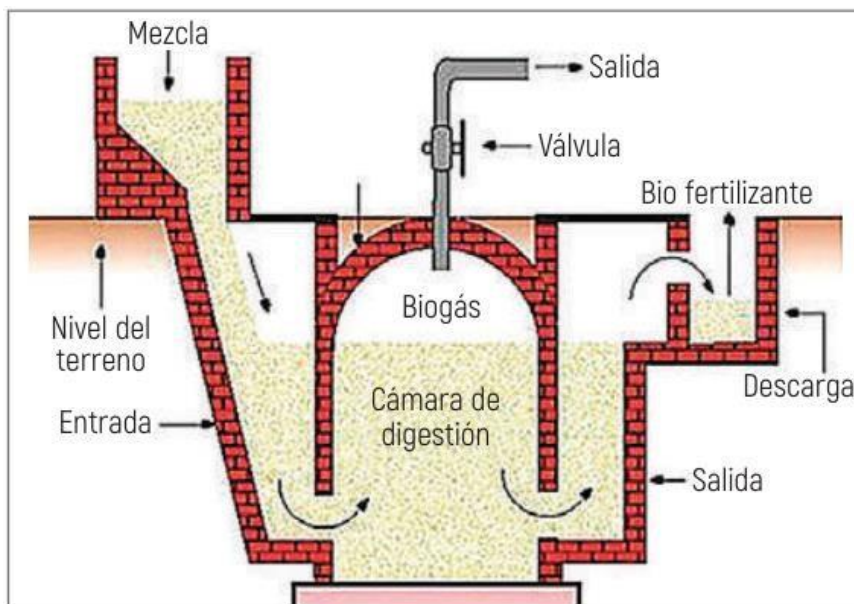


Nota. Biodigestor de ladrillo y concreto cilíndrica y vertical. Fuente: (SICA Sistema de Integración Centroamericana, 2014)

Biodigestor de Domo Flotante. El biodigestor hindú, también conocido como tanque cilíndrico subterráneo, se construye comúnmente con ladrillo o concreto y está equipado con un sistema de carga y descarga. En la parte superior, tiene un gasómetro donde se almacena el biogás. Este gasómetro está fabricado con fibra de vidrio recubierta de acero inoxidable y flota sobre la mezcla de gas acumulado. Su función es mantener constante la presión del gas, y su posición varía según el nivel de la mezcla y la cantidad de biogás presente. (Zuñiga, 2007).

Figura 3

Biodigestor Tipo Hindú



Nota. Estructura de un biodigestor tipo hindú enterrado en un pozo *Fuente:* (Zania Sidartha Roa, 2020).

Producción de Biogás a Pequeña Escala

La producción de biogás es un proceso complejo que implica la colaboración de una comunidad de microorganismos especializados en la descomposición de diversos materiales orgánicos. Estos materiales incluyen restos de alimentos, desechos industriales orgánicos, subproductos de bajo valor comercial, cultivos energéticos, aguas residuales y estiércol animal, entre otros. La descomposición de estos residuos, ya sea en ambientes naturales o en reactores especializados bajo condiciones anóxicas (sin oxígeno), crea las condiciones ideales para el proceso. El biogás resultante está compuesto principalmente por dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄), con una pequeña cantidad de otros gases como el sulfuro de hidrógeno (H₂S). Este último gas, conocido por su olor fuerte y desagradable, es altamente tóxico y se detecta en entornos naturales donde se produce biogás debido a la descomposición anaeróbica de la materia orgánica (FAO, 2019).

El biogás se produce mediante la digestión anaeróbica de materia orgánica en un ambiente sin oxígeno, y consiste en una mezcla de metano, dióxido de carbono (CO₂) y pequeñas cantidades de otros gases. La composición específica del biogás varía según el tipo de materia prima utilizada y las tecnologías empleadas, como biodigestores, sistemas de captura de gases de vertederos y plantas de tratamiento de aguas residuales. La proporción de metano en el biogás generalmente oscila entre el 45% y el 75% en volumen, siendo el CO₂ la mayor parte de los otros componentes. Esta variabilidad afecta directamente el contenido energético del biogás, que tiene un poder calorífico inferior (PCI) que varía entre 16 mega julios por metro cúbico (MJ/m³) y 28 MJ/m³. El biogás puede ser utilizado directamente para la generación de electricidad y calor, así como una fuente de

energía para cocinar (IEA, 2020).

Un biodigestor pequeño generalmente se clasifica como tal si tiene un volumen de entre 1 a 10 metros cúbicos (m³). Este tamaño es adecuado para satisfacer las necesidades energéticas básicas de una pequeña familia o una pequeña granja.

Aplicaciones. Este tipo de biodigestor es ideal para hogares que producen una cantidad limitada de estiércol y/o desechos orgánicos, como una pequeña granja con unos pocos animales.

Ventajas. Los biodigestores pequeños son más económicos, fáciles de construir y mantener. Son ideales para proyectos piloto o para comunidades rurales que buscan una solución accesible para la gestión de residuos y producción de biogás.

La figura 4 muestra un gráfico de pastel que representa la distribución porcentual de diferentes tipos de productos agrícolas recolectados en una pequeña granja que sirven para demostrar la viabilidad de construir un biodigestor a pequeña escala con estos productos vegetales. Cada segmento del gráfico corresponde a un tipo específico de producto, y su tamaño refleja su proporción relativa en comparación con los demás productos.

Tomate (28%). Representa el mayor porcentaje en la distribución, indicando que es el producto más abundante o más representativo dentro de la muestra o contexto presentado.

Plátano (14%). Es el segundo producto más representado en la gráfica, con un 14% del total.

Cebolla (9%). Ocupa el tercer lugar en la distribución, con un 9%.

Papa pastusa (7%). Representa un 7%, mostrando su importancia relativa en el contexto.

Papa criolla (6%). Con un 6%, la papa criolla también tiene una presencia notable.

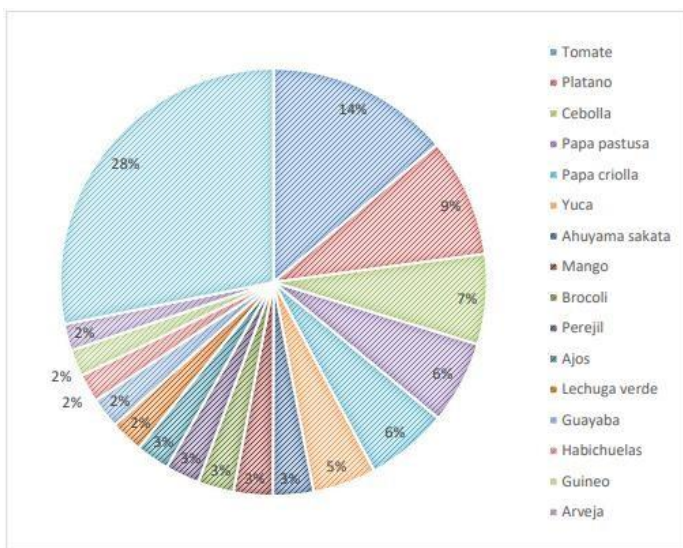
Yuca (5%). Es otro producto significativo, con un 5% de la distribución.

Auyama sakata, Mango, Brócoli, Perejil, Ajos, Lechuga verde, Guayaba, Habichuelas, Guineo, Arveja (2-4%). Estos productos tienen porcentajes más bajos, cada uno ocupando entre el 2% y el 4% de la distribución total.

Este gráfico analiza la producción, consumo, o distribución de diferentes productos agrícolas en una región específica. El tomate, que tiene la mayor porción del gráfico, podría ser el producto más cultivado o más consumido, mientras que los productos con porcentajes menores tienen una participación más reducida.

Figura 4

Muestra del Porcentaje de Residuos Orgánicos Obtenidos



Nota. Figura pastel que muestra al tomate como el mayor porcentaje de residuo orgánico.

Fuente: (RANGEL, 2021).

En el trabajo realizado por (RANGEL, 2021), se analiza la cantidad de residuos domésticos recolectados para un biodigestor de 120 litros, esta investigación demuestra cómo, a una escala pequeña, se puede determinar el porcentaje de material obtenido y algunas variables para definir la capacidad de digestión, así como la producción de metano y otros gases que son cruciales en la generación de energía.

El tanque de trabajo tiene una capacidad del 75% de su volumen total, reservando el 25% restante para la fase gaseosa.

Tenemos que:

VT será el Volumen de Trabajo.

CTT será la capacidad total del tanque en litros.

CD será la Capacidad diaria de Mezcla. TR

será el tiempo de retención en días.

Entonces:

$$VT = CTT * 0.75$$

$$VT = 120 * 0.75 = 90 \text{litros}$$

La capacidad diaria de mezcla se define por la siguiente ecuación:

$$CD = \frac{VT}{TR}$$

Donde:

VT= 90 litros

TR=30 días

$$CD = \frac{90 \text{ Litros}}{30 \text{ dias}} = 3 \text{ Lit/dia}$$

Distribución de la Mezcla diaria

Materia Orgánica:

$$\frac{3 \text{ litros}}{\text{dia}} * 25\% = 0.8 \text{ Kg} = 800 \text{ g}$$

Agua:

$$\frac{3 \text{ litros}}{\text{dia}} * 75\% = 2.2 \text{ litros}$$

Dependiendo de la cantidad y tipo de materia adicionada al sistema de biodegradación anaeróbica se genera metano y otros gases, a continuación, un balance de masas de entradas y salidas de productos el cual indica la cantidad de gas producido.

$$800 \text{ g materia Org} + 2.2 \text{ litros Agua} * 30 \text{ dias} = 90 \text{ litros}$$

Temperatura : 15°C

Densidad del metano. 0,737Kg/m³

$$\frac{1}{3} = 0,3 \text{ m}^3 \text{ de Biogas}$$

$$0,737 \text{ Kg/m}^3 * 0,3 \text{ m}^3 = 0,2211 \text{ Kg de Biogas.}$$

El resultado según (RANGEL, 2021), fue de 0,3m³de biogases en el proceso de biodigestion al mezclar 800 gramos de residuos orgánicos 2200 g de agua con un tiempo de retención de 30 días.

Recordemos que.

1m³ de metano puede generar 10 Kwh de electricidad

Diseño del Biodigestor. El biodigestor está hecho a partir de un barril de plástico de 120 litros, que ha sido modificado para recolectar residuos orgánicos como restos de alimentos.

La tapa del biodigestor tiene una abertura donde se pueden introducir los residuos orgánicos, como se muestra en la figura 5.

Proceso. Los residuos orgánicos depositados en el interior del barril son descompuestos por bacterias anaerobias (que no necesitan oxígeno), produciendo biogás (principalmente metano) y un residuo líquido que puede ser utilizado como fertilizante. Recordemos que La carga de composición diaria de material orgánico con agua que se introduce al biodigestor será digerida por las bacterias y se generará biogás, pero además quedará un líquido ya digerido, que ha generado toda la composición de biogás que podía y que se convierte en un excelente fertilizante llamado de forma general Biol.

El biogás generado se puede utilizar para cocinar o para generar energía, dependiendo del diseño y del sistema de recolección de gas.

Uso Práctico. Este biodigestor es parte de un sistema doméstico de manejo de residuos y producción de energía.

El diseño es simple y económico, haciéndolo accesible para comunidades rurales o personas con recursos limitados.

Salida de Gas. En la parte superior del barril hay una válvula o tubo (visible en la figura) que probablemente sirve para la recolección del biogás. Este gas puede ser canalizado hacia una cocina o lámpara de biogás. Este tipo de biodigestor es común en regiones donde se busca aprovechar los residuos orgánicos para producir energía de manera sostenible, utilizando tecnología accesible y de bajo costo (RANGEL, 2021).

Figura 5

Biodigestor a Pequeña Escala



Nota. Esta figura muestra el diseño de un biodigestor casero hecho con un barril de plástico. *Fuente:* (RANGEL, 2021).

El diseño de una planta de biogás depende de la cantidad y el tipo de residuos disponibles, de las condiciones del clima, las necesidades que se requieren, la ubicación, materiales y técnicas de construcción de cada sitio.

A pequeña escala se evidencia el cálculo en función de materias primas y el esquema operativo de un biodigestor para una familia de 5 personas, para verificar el potencial que se tiene y los manejos adecuados para la producción de biogás con un determinado número de animales (*Moreno, 2011*).

Una familia de 5 personas puede tener un consumo de energía con las siguientes necesidades diarias:

Cocinar: 1.50 m³/día

Iluminación (3 horas de lámparas encendidas): 1.35 m³/día

Refrigeración: 2.20 m³/día

Consumo total de energía de 5,05 m³/día

Tabla 2

Carga de Materia Prima

Número de Animales	Kg Estiércol/día	Biogás m ³ /día
2 Bovinos	20	0.80
20 Porcinos	45	2.40
250 Aves	45	2.50
Total	110 Kg/día	5.70 m ³ /día

Nota. Tabla que muestra el cálculo en Kg, en función de materia prima. Adaptado de (*Moreno, 2011*)

La tabla 3 muestra el cálculo de cargas de estiércol generadas diariamente por diferentes tipos de animales en función de la cantidad de animales. Es útil en contextos donde se desea estimar la cantidad de estiércol disponible para procesos como la producción de biogás o compostaje.

Cantidad de Animales. Número total de animales considerados.

Tipo de Animal. Categoría del animal (Bovinos, Porcinos, Aves).

Producción de Estiércol por Animal (Kg/día). Cantidad de estiércol que un solo animal produce por día.

Producción Total de Estiércol (Kg/día). Total de estiércol producido por la cantidad total de animales en un día.

Tabla 3

Carga de Estiércol

Cantidad de Animales	Tipo de Animal	Producción de Estiércol Por Animal (Kg/día)	Producción Total de Estiércol (Kg/día)
13	Bovino	127	1.651
39	Porcino	85	3.315
365	Aves	65	23.725

Nota. La tabla indica el cálculo de cargas de estiércol por cantidad de animales, y su producción total. Adaptado de (Moreno, 2011).

Para hacer el cálculo de la planta es necesario saber su potencial de generación, y la necesidad que se requiere, teniendo en cuenta la cantidad de líquido que se debe incorporar y la cantidad de excreta al tipo de carga, siendo semi- continuo una operación diaria, o discontinuo o batch en sistemas estacionarios (Moreno, 2011).

Tabla 4

Mezcla para Pequeños Biodigestores

Tipo de Animal	Relación Estiércol
Bovino	1:1
Porcino	1:3
Aves	1:3

Nota. La tabla indica la relación entre la mezcla de estiércol y agua. Adaptado de (Moreno, 2011).

La tabla 4 muestra la relación óptima de mezcla entre estiércol y agua para tres tipos de animales: bovinos, porcinos, y aves. Esta relación es crucial en el proceso de digestión anaerobia dentro de un biodigestor a pequeña escala, donde el equilibrio adecuado entre estiércol y agua asegura que las bacterias anaerobias puedan descomponer eficientemente la materia orgánica y producir biogás, un biodigestor a pequeña escala tiene una capacidad de 1 a 10 m^3 de biogás.

Bovinos (1:1). Aquí, la relación es de 1:1, lo que significa que por cada unidad de estiércol de bovino se debe agregar una unidad de agua. Esta proporción es típicamente utilizada debido a la consistencia más líquida del estiércol de bovino, que permite una mezcla equilibrada sin requerir mucha agua adicional.

Porcinos (1:3). La relación es de 1:3, lo que indica que se necesita más agua para mezclar con el estiércol de porcino. El estiércol de porcino tiende a ser más espeso y requiere más agua para lograr una consistencia adecuada para la digestión anaerobia.

Aves (1:3). Similar al caso de los porcinos, la relación para las aves es de 1:3. El estiércol de aves es también más denso y requiere una mayor cantidad de agua para facilitar el proceso de digestión.

Para un potencial de $5,70m^3/dia$ generado por la combinación de estiércol para un total de 120 kg/día, se debe hacer el siguiente cálculo de volumen de mezcla para agua/estiércol, teniendo en cuenta que un biodigestor a mediana escala tiene una capacidad de 10 a $50 m^3$ de biogás.

Tabla 5*Producción de Estiércol y Agua por Tipo de Animal*

Animal	Kg Estiércol + Litro de Agua	Mezcla(Litros/días)
Bovinos	20 kg estiércol + 20 Litros agua	40 Litros
Porcinos	45 Kg estiércol + 135 Litros agua	180 Litros
Aves	45 Kg estiércol + 135 Litros agua	180 Litros

Nota. Esta tabla indica la mezcla de estiércol y agua por día de diferente tipo de animal.

Fuente (Moreno, 2011).

Bovinos. Producen una mezcla diaria de 40 litros, compuesta por 20 kg de estiércol y 20 litros de agua.

Porcinos. Requieren una mayor cantidad de agua debido a la densidad del estiércol, produciendo 180 litros de mezcla al día con 45 kg de estiércol y 135 litros de agua.

Aves. Similar a los porcinos, las aves producen 180 litros de mezcla diaria a partir de 45 kg de estiércol y 135 litros de agua.

Total, Mezcla por Día. La suma de las mezclas diarias de los tres tipos de animales es 400 litros, lo que indica la cantidad total de mezcla que se podría procesar en un biodigestor en un día.

Este tipo de tabla es útil para planificar el diseño y operación de un biodigestor, asegurando que se mantenga un equilibrio adecuado entre la producción de estiércol y la cantidad de agua necesaria para optimizar la producción de biogás

Para 400 litros de volumen diario de mezcla con un tiempo de residencia de la mezcla de 35 días se tiene:

$$\text{Mezcla en litros} * \text{Tiempo de residencia} = \text{Volumen del digestor}$$

$$400\text{l}/\text{dia} * 35 \text{ dias} = 1400 \text{ litros}$$

$$\text{Volumen Digestor} = 14 \text{ m}^3$$

Producción de Biogás a Mediana Escala

La implementación de biodigestores debe ser complementada con capacitación, garantizando que su adopción sea una necesidad sentida y no una imposición externa. En Colombia, se ha implementado un proceso local que fomenta la transferencia de conocimientos y la ayuda recíproca, fortaleciendo así la soberanía de los productores rurales. Además, se han incorporado en programas de asistencia técnica para aumentar la rentabilidad de las explotaciones agrícolas y prevenir problemas legales por el manejo inapropiado de desechos (Agustín Torroba, 2023).

La gestión eficiente de residuos que transforma estos en biogás juega un papel importante para reducir los efectos del cambio climático. La adopción de tecnologías para capturar y almacenar carbono se presenta como una estrategia crucial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20 % en el sector energético. Este enfoque, centrado en la captura y retención del carbono generado por la producción de biogás, se

posiciona como una herramienta esencial para contrarrestar el impacto ambiental del uso convencional de combustibles fósiles.

El biogás, como fuente de energía renovable y limpia, se destaca como una opción valiosa dentro del espectro de energías sostenibles. Su utilización no solo disminuye la dependencia de los combustibles fósiles, sino que también reduce las emisiones contaminantes al convertir los residuos en una fuente efectiva de energía. La implementación de tecnologías avanzadas garantiza una gestión más eficiente de los residuos y optimiza la producción de biogás, maximizando los beneficios ambientales y energéticos. En última instancia, la combinación de una gestión eficiente de residuos y tecnologías innovadoras no solo convierte los desafíos ambientales en oportunidades, sino que también allana el camino hacia un porvenir más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

El diseño de una planta de biogás varía según el tipo de residuo utilizado, las condiciones climáticas, la ubicación, los materiales y la técnica de construcción del biodigestor. Es fundamental estimar el potencial de producción, los materiales y la mano de obra local para garantizar el éxito del proyecto (*Moreno, 2011*).

Tabla 6*Proyección en la Implementación a Mediana Escala con Cerdos*

Concepto	Valor
Consumo de leña por familia	11 toneladas/año
Jornales dedicados a la recolección de leña	26 Jornales/año
22 biodigestores previenen	242 Toneladas/año
22 biodigestores ahorran	572 jornales/año
Producción de biogás por cerdo	0.25 – 0.33 m ³ /día
6 cerdos Producen	2 m ³ /día

Nota. Aspectos clave del proyecto de biodigestores desarrollado en la zona rural de El Pital, Huila, por aprendices del SENA.

Los biodigestores se utilizan para transformar residuos orgánicos, especialmente los desechos fecales de cerdos, en gas metano y fertilizante natural. Este sistema permite producir combustible doméstico, reduciendo la dependencia de la leña, de la cual una familia campesina consume 11 toneladas al año y dedica 26 jornales a su recolección.

La instalación de 22 biodigestores en la región podría evitar la quema de 242 toneladas de leña y ahorrar 572 jornales anuales. Además, cada cerdo puede generar entre 0.25 y 0.33 metros cúbicos de biogás diariamente, y se necesitarían entre 5 y 6 cerdos para satisfacer las necesidades energéticas de un hogar promedio. Este cuadro resalta la importancia de los biodigestores como una solución sostenible y eficiente para la producción de energía en áreas rurales. Recordemos que Las emisiones de gases de efecto

invernadero (GEI) de la ganadería representan el 14.5% de las emisiones humanas. Según la FAO, los generadores de biogás podrían reducirlas en un 30% (SENA, 2014).

La digestión anaerobia en sistemas de amplia escala se utiliza principalmente para gestionar residuos biodegradables y aguas residuales, lo que permite la recuperación de energía y nutrientes para los suelos agrícolas. Esto fomenta la adopción de un modelo innovador para la producción de alimentos y energía en áreas rurales, promoviendo así el desarrollo sostenible. En países con legislación adaptada sobre plantas de tratamiento de aguas residuales, se abre el camino para más proyectos con inversión privada. A pesar de que estas tecnologías están en aumento, algunos proyectos a gran escala han tenido fracasos que afectan su reputación. Los sistemas de digestión anaerobia con codigestión bien planificados y ejecutados son una estrategia eficaz para concienciar sobre la segregación de residuos y su manejo adecuado, tanto en áreas urbanas como rurales (*Agustín Torroba, 2023*).

Tipos de Biocombustibles

La biomasa se distingue como una alternativa energética excepcional por dos razones fundamentales. En primer lugar, permite obtener una amplia variedad de productos energéticos. En segundo lugar, se adapta a todas las áreas de utilización de los combustibles tradicionales

Biocombustibles Sólidos. Los biocombustibles sólidos están compuestos por materia lignocelulósica proveniente tanto del sector agrícola como del industrial. Esto incluye materiales como paja, leña, restos de poda y frutos, residuos de la industria del

corcho, madera de muebles, y el producto del tratamiento térmico del carbón vegetal. Los biocombustibles sólidos más comúnmente utilizados son astillas, serrín, pellets y briquetas.

Biocombustibles Líquidos. son de origen biológico utilizables como combustibles sustitutos derivados del petróleo.

Biocombustibles Gaseosos. Los biocombustibles se pueden obtener de la biomasa de diversas formas. El gas de gasógeno, por ejemplo, resulta de la pirolisis del cisco y la brea a altas temperaturas sin oxígeno presente. Estos gases se utilizan para fines térmicos, generando energía mecánica o eléctrica. El biogás, por otro lado, se genera de manera natural en pantanos, fondos de lagunas o lagos con depósitos de materia orgánica. Este biogás se emplea principalmente para la generación de electricidad. El hidrógeno, considerado un vector energético con gran potencial, se obtiene a partir de hidrocarburos o alcoholes mediante un proceso llamado reformado. Al producir una cantidad significativa de energía y agua, se utiliza ampliamente en la industria, el transporte y el hogar (Fernandez, 2003).

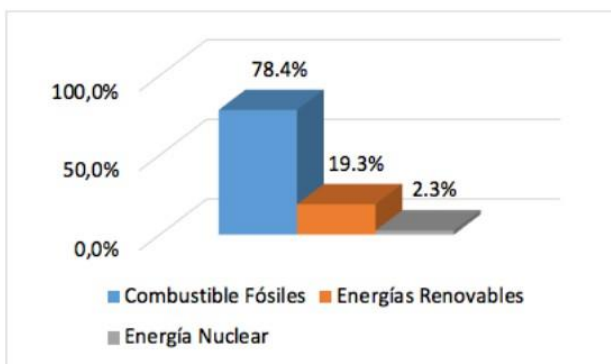
El Biogás a Nivel Global

En la actualidad, el suministro global de energía depende en un 66% de combustibles fósiles, siendo esta la principal fuente. Las hidroeléctricas representan un 16% de la matriz energética, seguidas por las fuentes nucleares que aportan un 10.6%. A pesar del crecimiento en importancia de las fuentes de energía convencionales y renovables, como la solar y la eólica, estas contribuyen conjuntamente con solo un 6% al panorama global de generación energética (IEA, 2016).

Esta distribución destaca la predominancia de los recursos tradicionales en la producción mundial de energía, enfatizando la necesidad de transitar hacia fuentes más sostenibles y limpias para abordar los desafíos ambientales y promover la seguridad energética a largo plazo (IEA W. E., 2016).

Figura 6

Consumo de Energía Global



Nota. La figura muestra que a nivel global el consumo de energía renovable es del 19.3%

Fuente: (Carlos ROBLES Algarin, 2018)

El biogás es clave para una transición energética sostenible y eficiente, tanto en países desarrollados como en desarrollo, ayudando a reducir la dependencia de combustibles fósiles y las emisiones de CO₂. Se busca reemplazar gradualmente los combustibles fósiles con biogás o biometano para 2050, promoviendo tecnologías más limpias, innovación, y empleo en energías renovables.

China lidera en biogás con 40 millones de biodigestores en granjas rurales y más de 50,000 biodigestores avanzados. India también tiene una gran cantidad de biodigestores en granjas rurales. En Europa, hay aproximadamente 14,000 plantas de biogás, con Alemania a la cabeza con 8,700 plantas y el uso de cultivos energéticos. En EE.UU hay unos 2,000 sistemas de biogás, la mayoría en tratamiento de aguas residuales y vertederos. América Latina está iniciando en biogás, con Brasil y México como líderes. El análisis muestra la necesidad de potenciar el desarrollo del biogás en regiones con menos implementación (IEA W. E., 2016).

Europa lidera la producción mundial de biogás, aportando dos tercios de la capacidad total de plantas de biogás en el continente. Otros países europeos, como Dinamarca, Francia, Italia y los Países Bajos, también desempeñan un papel activo en el desarrollo y promoción de esta industria. En China, las políticas gubernamentales apoyan la instalación de digestores domésticos en áreas rurales para mejorar el acceso a energía moderna y combustibles limpios para la cocina, representando estos digestores aproximadamente el 70% de la capacidad instalada de biogás en el país. En Estados Unidos, la principal fuente de producción de biogás es la recolección de gas de vertedero, que representa casi el 90% de la producción total. En Asia, países en desarrollo como

Tailandia e India tienen un impacto significativo en la producción mundial de biogás.

Tailandia utiliza residuos del sector del almidón de yuca, la industria de biocombustibles y granjas de cerdos para producir biogás, mientras que India planea desarrollar alrededor de 5,000 nuevas plantas de biogás comprimido en los próximos cinco años. En África, el consumo actual de biogás es limitado debido a la falta de datos precisos, aunque algunos países con programas específicos de apoyo están impulsando su implementación. La expansión y adopción del biogás a nivel global reflejan una creciente conciencia sobre la importancia de las energías renovables y sostenibles en el panorama energético mundial (IEA, 2020).

Actualmente, solo el 4% de las tierras agrícolas en Europa se destinan a cultivos para biomasa. Se estima que, para mediados de siglo, el biogás podría satisfacer hasta el 40% de la demanda de gas en la UE, que cuenta con unas 20,000 plantas de biogás. En EE.UU hay alrededor de 2,000 plantas, cifra similar a la de Tailandia, Malasia e Indonesia combinadas, y estas generan solo el 25% de las emisiones de CO₂ comparadas con las plantas de carbón. Alemania tiene cerca de 9,000 plantas de biogás en granjas, y Dinamarca cuenta con plantas a gran escala que abastecen al 40% del mercado y 20,000 hogares, siendo cruciales para la transición energética del país (IEA, 2020).

Latinoamérica y el Uso del Biogás

La FAO, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, indica que América Latina contribuye aproximadamente con el 40% de la producción mundial de biocombustibles. Estos biocombustibles representan una fuente renovable de energía que se puede implementar fácilmente, especialmente en las áreas

rurales de la región. Según Felipe Duarth, oficial de Bioenergía de la FAO, "El aprovechamiento de residuos orgánicos de actividades agropecuarias para la generación de biogás podría ser una excelente oportunidad para promover la sostenibilidad entre los pequeños productores de la región". Esta afirmación subraya la viabilidad y el potencial positivo de utilizar residuos orgánicos para producir biogás, no solo en términos de sostenibilidad ambiental, sino también como una fuente de ingresos y mejora económica para los agricultores locales.

Recientemente, los temas relacionados con la energía y los biocombustibles han ganado importancia significativa en los países de América Latina y el Caribe. Este interés ha aumentado debido a la volatilidad en los precios del petróleo, las preocupaciones sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y la creciente necesidad de alcanzar autonomía en el uso de fuentes energéticas (FAO, 2012).

En México, se generan unas 278 toneladas de residuos sólidos con un potencial energético de 2,980 PJ, principalmente de fuentes forestales (58%) y agrícolas (27%). Brasil, con 400 centrales de biogás y un crecimiento del 40%, proyecta producir 10 millones de m³ diarios para 2025 y 30 millones para 2030, representando el 1.5% de la capacidad global. En Chile, 31 empresas usan biogás, 5 para electricidad, con un potencial de 700 megavatios, el 4% del sector agrícola. Chile busca aumentar su capacidad instalada de 17,000 megavatios en un 15% para 2024 (FAO, 2012).

El Biogás en Colombia

Según la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) en 2015, Colombia ha avanzado considerablemente en el desarrollo de la biomasa como fuente de energía no

convencional, destacándose el uso del bagazo de caña de azúcar para la generación de energía. En 2013, de la producción total de electricidad en el sistema interconectado nacional, que alcanzó aproximadamente 62,200 GWh, 804 GWh, equivalente a 134 millones de metros cúbicos provino de fuentes de biomasa.

El país muestra un potencial significativo para aumentar la participación de la biomasa en su matriz energética, especialmente aprovechando el potencial energético de los residuos biomásicos, estimado en alrededor de 450 Pj/año. Esta cifra representa aproximadamente el 41% de la demanda nacional de energía, lo que constituye una valiosa oportunidad para diversificar y fortalecer la sostenibilidad del suministro energético en Colombia (Leonardo Guiza-Suarez, 2019).

Colombia sigue progresando en La disminución de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), con un caso destacado en las Empresas Públicas de Medellín. Según su boletín informativo, han puesto en funcionamiento la primera planta de biometano enriquecido con biogás en Colombia. Esta planta tiene la capacidad de inyectar biometano en la infraestructura de distribución de gas natural en Antioquia, produciendo hasta 720 metros cúbicos por hora. Este biometano contribuirá a satisfacer las necesidades energéticas de alrededor de 40,000 hogares en la región. La utilización de biogás se muestra como una opción relevante en el suministro de calor durante la transición energética del país (Medellin, 2023)

Capacidad de Producción. La planta puede producir 720 metros cúbicos de biometano por hora, lo que representa una cantidad significativa de energía renovable generada a partir de biogás.

Número de Hogares Satisfechos. La producción de biometano puede satisfacer las necesidades energéticas de aproximadamente 40,000 hogares en la región de Antioquia.

Contribución en la Transición Energética. La planta es una opción importante para el suministro de calor y ayuda en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), apoyando la transición hacia una energía más limpia.

Ubicación. La planta está ubicada en Antioquia, Colombia, destacando su importancia en la región para la generación de energía sostenible.

Figura 7

Planta De Biometano



Nota. La imagen muestra la planta de biometano ubicado en la ciudad de Medellín. Fuente: (BRAN, 2023).

En el eje cafetero, que engloba ciudades como Pereira, Armenia y Manizales, se está explorando el uso energético de los residuos del café para producir biogás y cubrir la

demanda de gas. Varios estudios se enfocan en Colombia, resaltando el potencial del país para generar productos con valor añadido gracias a su biodiversidad. En este contexto, la zona cafetera se vuelve fundamental como caso de estudio para analizar la biomasa residual del café. Según datos proporcionados por Cenicafe en 2010, la biomasa residual del café muestra una capacidad calorífica significativa, con la pulpa capaz de generar 0.54 MJ/Kg, o sea 0.025 m³ de biogás y el mucílago alcanzando los 200 MJ/Kg, 9.26 metros cúbicos de biogás.

Estos valores evidencian un gran potencial energético en los residuos del café en esta región. La implementación de tecnologías para aprovechar estos residuos no solo ayudaría a gestionar de manera sostenible los desechos del café, sino que también crearía nuevas oportunidades para generar energía renovable y sostenible en el eje cafetero, demostrando el compromiso del país con soluciones innovadoras y amigables con el medio ambiente (Villarreal, 2021).

Biogás Colombia SAS ESP se destaca como pionera en Colombia al producir electricidad limpia para el sistema interconectado nacional a partir del biogás generado en el relleno sanitario doña Juana en Bogotá. Este biogás se obtiene de la descomposición de residuos sólidos urbanos en el relleno, lo que no solo contribuye a la generación de energía eléctrica, sino también a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. El proceso implica la destrucción térmica y el aprovechamiento del metano contenido en los residuos. Hasta la fecha, la planta ha evitado la emisión de una notable cantidad de 800,000 toneladas equivalentes de CO₂ a la atmósfera, evidenciando su impacto positivo en la mitigación del cambio climático. Además, la capacidad de generación de la planta alcanza

hasta 32 megavatios de energía eléctrica, unos 5,33 metros cúbicos por hora, lo que subraya su significativa contribución a la matriz energética nacional y su compromiso con prácticas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente (ESP, 2009).

Figura 8

Planta de Biogás Doña Juana



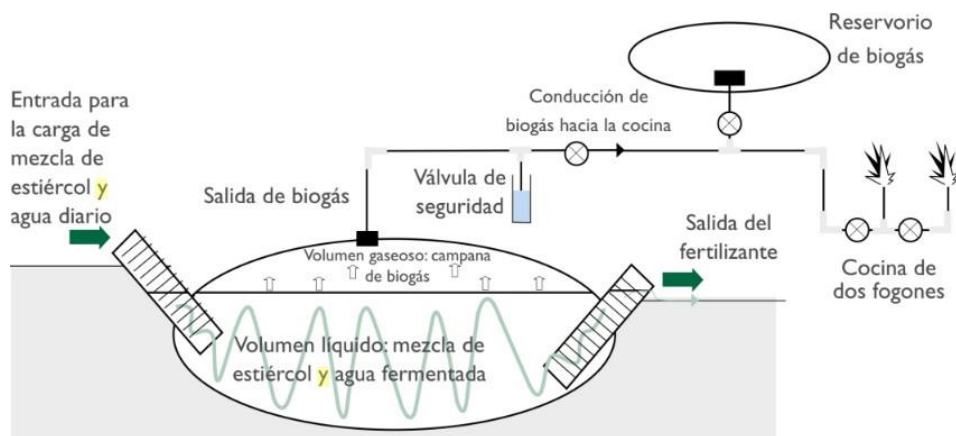
Nota. La imagen muestra la planta de generación de biogás en el relleno sanitario doña Juana en Bogotá. Fuente: (Cruz, 2021).

Análisis de Sistemas de Generación de Energía Basados en Biogás

Los biodigestores de bajo costo son bastante comunes en países del sureste asiático y también se han desarrollado en América Latina, como en Cuba, Colombia y Brasil. Estos biodigestores, contruidos con fundas de polietileno en forma de tubo, son conocidos por su costo accesible, facilidad de instalación y mantenimiento. Los precios de los materiales para un biodigestor pueden oscilar entre 135 y 220 dólares, lo que los hace bastante asequibles en comparación con otras tecnologías similares (Herrero, 2008).

Figura 9

Sistema de un Biodigestor Familiar



Nota. La figura muestra el sistema de un biodigestor con su entrada y salida de biogás, así como válvulas, conducción, el tanque de reserva para el gas, la salida del fertilizante y el destino final que son los fogones. Fuente: (Herrero, 2008).

El biogás, compuesto principalmente de metano (CH_4), también conocido como biometano, puede ser purificado mediante un proceso de limpieza adecuado para obtener biogás de mayor calidad y potencial calórico, según lo mencionado por (C. C. Carías, 2019). A continuación, se detallarán dos sistemas de almacenamiento de biogás y sus costos de producción a pequeña y mediana escala.

Almacenamiento a Presión. Consiste en introducir el biogás en un recipiente sellado utilizando un compresor, lo que permite alcanzar presiones de aproximadamente 20,000 kPa (200 bar). El Gas Natural Comprimido (CNG) es el método más ampliamente utilizado a nivel mundial para diversas aplicaciones, incluyendo el almacenamiento doméstico y automotriz.

Figura 10

Tanques de Metano



Nota. Tipo de tanque de almacenamiento de biogás a presión. Tomado de (es.dreamstime.com, 2000)

Almacenamiento Volumétrico. El almacenamiento volumétrico del biogás se produce cuando sus condiciones de presión y temperatura se acercan a los estándares de 101.35 kPa y 300 K respectivamente. Esto se logra utilizando bolsas diseñadas con geometría y materiales específicos, siendo una de las diversas formas de realizar este tipo de almacenamiento para el biogás.

En el estudio de factibilidad de (C. C. Carías, 2019), los autores diseñaron un sistema que incluye procesos de limpieza y compresión del biogás antes de su almacenamiento. El sistema de limpieza emplea cuatro filtros principales (CO_2 , H_2S , humedad y partículas finas) para eliminar gases no combustibles y otros elementos no deseados, incrementando así la concentración de metano y mejorando la calidad del biogás, obteniendo biometano. La compresión del biogás reduce su volumen, lo que facilita su almacenamiento y transporte.

Figura 11*Mochila Para Transporte de Biogás*

Nota. las mochilas de transporte de biogás son cómodas y fácil de llevar. Tomado de. (C. C. Carías, 2019).

Para el almacenamiento según (C. C. Carías, 2019) y su equipo, evaluaron dos métodos: almacenamiento a presión en cilindros y almacenamiento volumétrico en bolsas, proponiéndose el uso de neumáticos de camión y mochilas de biogás para este último. El diseño final del sistema se basó en la cantidad diaria de biogás a almacenar y la presión de almacenamiento, analizando dos niveles de presión (250 psi y 125 psi) y tres volúmenes de biogás (15 m³, 7.5 m³, y 3.25 m³), considerando la complejidad en la operación y mantenimiento (C. C. Carías, 2019).

C. C. Carías, A. A. Ibarra, S. G. Martínez, D. E. Reyes, I. A. Sánchez, realizaron un análisis económico para evaluar la viabilidad financiera del sistema, empleando la Tasa Interna de Retorno (TIR) como indicador clave de rentabilidad y el período de recuperación de la inversión. Este análisis se basó en los flujos de efectivo proyectados a lo largo de 10

años, considerando las tres tecnologías evaluadas: cilindros, neumáticos y mochilas. De esta manera, se determinó la relación costo-beneficio de cada opción, proporcionando una visión integral de la rentabilidad a lo largo del tiempo (C. C. Carías, 2019).

Este análisis lo determinaron en dos casos, inversión con financiamiento e inversión sin financiamiento.

Los resultados obtenidos por estos autores, fueron que en el caso sin financiamiento la mejor opción es el neumático de camión, Para el caso con financiamiento, la mejor opción son los cilindros que tiene una TIR del 5%, y los neumáticos que tiene una TIR del 6%, las mochilas no resultan económicamente atractivas por su costo de importación, Por ello, la mejor alternativa desde el punto de vista económico es el uso de neumáticos de camión y la inversión sin financiamiento (C. C. Carías, 2019).

Las tres tecnologías generan un ahorro anual de \$455.52 al evitar la compra de GLP.

Los costos anuales son idénticos para todas las tecnologías, de \$98.41.

Todas las tecnologías requieren una inversión de \$1,141.70 en compresores y equipo relacionado.

Inversión inicial Varía entre tecnologías, siendo \$1,063.12 para cilindros, \$979.12 para neumáticos, y \$1,679.12 para mochilas.

Los costos iniciales son iguales para las tres tecnologías, \$199.03.

Se estima una depreciación anual de \$228.34 para cada tecnología.

Depreciación de mobiliario y equipo también varía, siendo \$531.56 para cilindros, \$489.56 para neumáticos y \$839.56 para mochilas.

Al final de la vida útil, las tres tecnologías podrían venderse por \$469.00.

Los costos varían principalmente en la inversión inicial y depreciación del mobiliario y equipo, siendo las mochilas la tecnología más costosa.

Eficiencia del Biogás Socioeconómica y Geográfica

La transición hacia una energía más sostenible implica una serie de responsabilidades tanto para las empresas como para los estados, Sobre todo en lo que concierne a proteger los derechos humanos y el medio ambiente. Esto se relaciona directamente con el desarrollo sostenible y la urgencia de mitigar las emisiones de carbono.

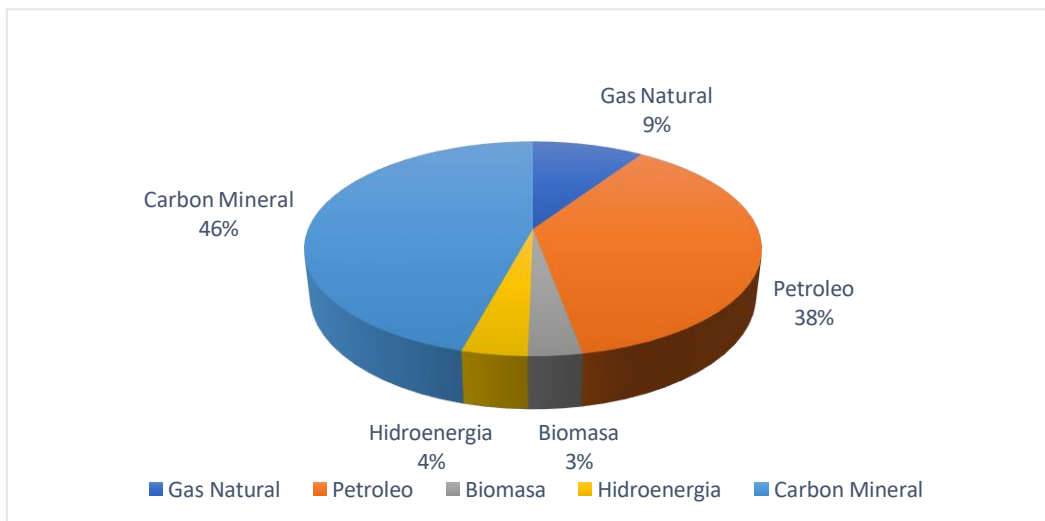
Es fundamental que esta transición se realice de manera respetuosa y responsable, evitando imposiciones que puedan tener un impacto negativo en los recursos naturales y los derechos de las comunidades locales donde se desarrollan proyectos de energía renovable, como los parques de biogás. La participación ciudadana juega una posición indispensable en este proceso, especialmente en términos de planificación, toma de decisiones y evaluación de posibles impactos ambientales y sociales.

Es esencial que las empresas y los estados consideren estos aspectos en todas las etapas del desarrollo de proyectos energéticos, garantizando que se cumplan los principios de desarrollo sostenible y se respeten los derechos de las personas y la naturaleza (HENRY JIMÉNEZ GUANIPA, 2023).

La utilización de fuentes renovables está en aumento a nivel mundial, aunque aún no ha alcanzado un nivel que permita eliminar por completo el uso de combustibles fósiles. El empleo de combustibles menos contaminantes, como el biogás, puede representar alternativas más efectivas y viables, especialmente debido a la posibilidad de aprovechar las infraestructuras existentes para su distribución.

Es importante destacar que el biogás puede ser producido a partir de la biomasa utilizada en la producción de etanol, lo cual también contribuye significativamente a la generación de electricidad, como es el caso de Brasil, donde se estima que puede cubrir hasta el 17% de la demanda eléctrica anual. Por otro lado, el biometano, obtenido mediante la purificación del biogás, tiene el potencial de reemplazar aproximadamente el 34% del consumo anual de diésel. En 2020, Brasil consumió 57,4 mil millones de litros de diésel, emitiendo alrededor de 1.229 mil g CO₂eq por kilómetro recorrido. En contraste, un camión propulsado por biometano emitiría solo 72 g CO₂eq por kilómetro, una disminución considerable en las emisiones (Barbosa, 2022).

En 2012, Colombia generó un total de 1.263.555 Tcal de energía primaria. El carbón mineral fue la principal fuente con un 45,8%, seguido por el petróleo con un 37,7%, el gas natural con un 9,4%, la hidroenergía con un 3,9%, y la biomasa con un 3,2% del total de la producción energética.

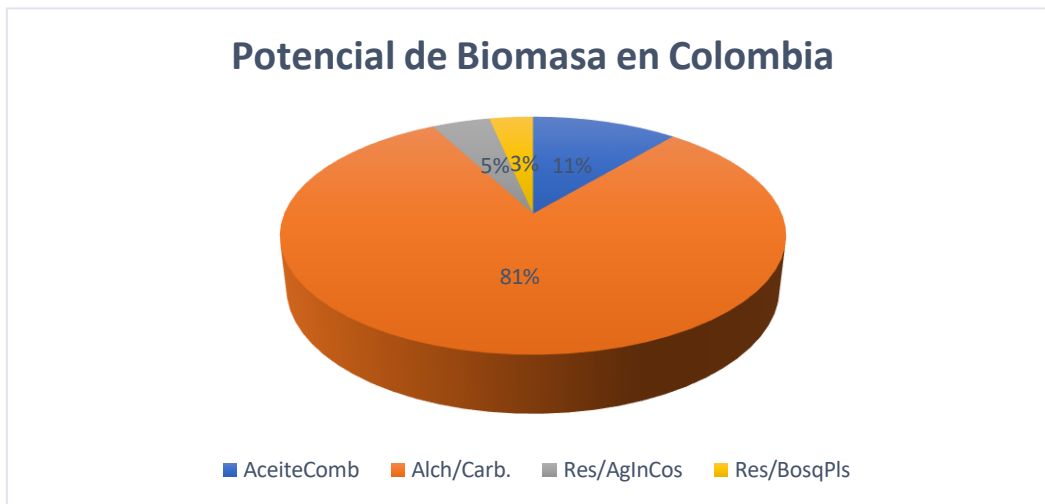
Figura 12*Producción de Energía Primaria*

Nota. La figura muestra que la generación de energía primaria en Colombia, el 3% fue generada por la biomasa. Fuente: (York Castillo, 2015).

El dióxido de carbono (CO₂) constituye la mayor proporción de las emisiones gaseosas en Colombia. Las actividades relacionadas con la energía, las actividades como la quema de combustibles, las fugas de emisiones y la combustión de biomasa son responsables del 37% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero en el país. El sector de generación eléctrica, vinculado al consumo de combustibles fósiles, contribuye solo con el 23.16% del total del sector energético, Colombia emite alrededor de 15.281,57 millones de toneladas de CO₂ equivalente (CO₂eq), lo que corresponde a aproximadamente el 0,4% de las emisiones globales de CO₂.

El sector agropecuario se destaca como una importante fuente de biomasa, proporcionando material aprovechable para la generación de energía. Según estudios de la UPME, se registran 29 millones de toneladas por año de biomasa residual agrícola en el país, con un potencial energético de alrededor de 12,00 MWh por año, o 2 millones de metros cúbicos de biogás. Además de esta biomasa agrícola, Colombia cuenta con otras posibles fuentes incluyen la producción de algas, sistemas de cría de animales que producen grandes cantidades de estiércol, y residuos sólidos urbanos, que contienen un 56% de materia orgánica.

En los ingenios azucareros del Valle del Cauca, se utiliza la biomasa, especialmente el bagazo de caña de azúcar, para generar energía eléctrica mediante cogeneración. Se estima que el potencial energético de los residuos agrícolas e industriales, que incluyen bagazo de caña, palma africana, café, maíz, arroz, banano y plátano, alcanza los 331,64 PJ por año. Los residuos pecuarios, como bovinos, porcinos y avícolas, contribuyen con 117,55 PJ por año, mientras que los residuos sólidos urbanos de las principales ciudades aportan 192 TJ por año (*York Castillo, 2015*).

Figura 13*Potencial de Biomasa en Colombia*

Nota. La figura muestra que los residuos de cosechas solo el 5% es el potencial de biomasa en el Colombia. Fuente: (York Castillo, 2015).

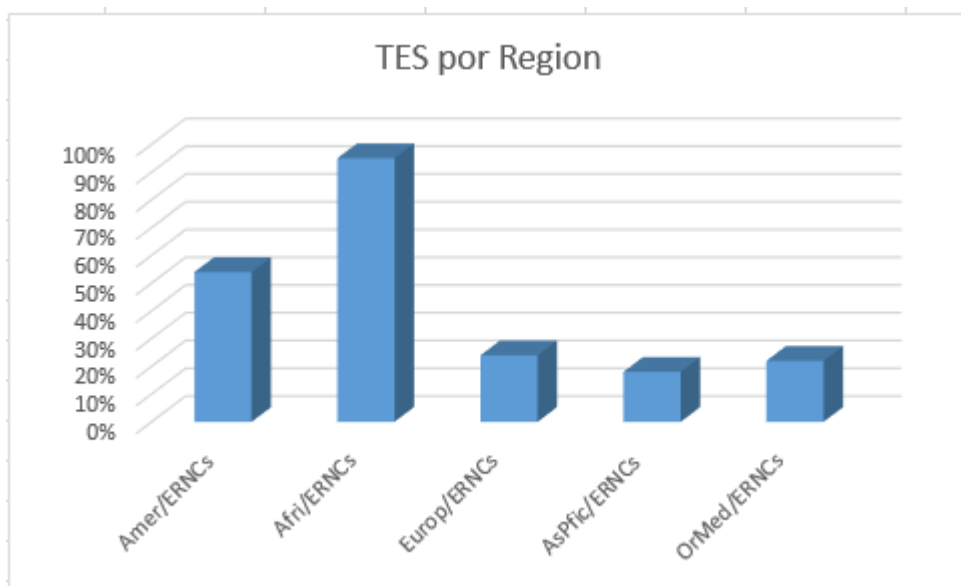
Las economías con matrices energéticas más pequeñas tienden a utilizar una mayor proporción de energías renovables no convencionales (ERNCS) en su consumo total de energía. Aunque las energías renovables (ERs) derivadas de biomasa y energía hidráulica han sido más predominantes en matrices energéticas más grandes en la historia, se debe tener en cuenta el significativo impacto ambiental asociado con estas formas de generación de energía si se busca reducir el costo ambiental en relación con el desarrollo económico y demográfico.

El suministro energético total (TES) representa la cantidad completa de energía que un territorio recibe y se calcula como la suma de la energía primaria producida e importada.

Esto permite una evaluación breve del impacto ambiental en la producción de energías renovables no convencionales (Higinio Pulido Ana María, 2021).

Figura 14

TES por Región



Nota. Esta figura representa el porcentaje del suministro energético total por regiones, siendo África la más alta, pasando por América del Norte en término medio, y Asia pacífico la más baja. Fuente: (Higinio Pulido Ana María, 2021).

La energía derivada de la biomasa es predominante en diversas regiones del mundo. En América del Norte, constituye el 54% del suministro energético total (TES), mientras que en África alcanza un notable 95%. En cuanto a las energías renovables no convencionales (ERNCS), se ha registrado un aumento significativo en Europa y Asia-

Pacífico, donde la participación en el TES ha crecido del 5% al 24% y del 2% al 18%, respectivamente. Estas tendencias también se reflejan en América del Norte y Oriente Medio, donde las ERNC han incrementado su participación en el suministro energético total de energías renovables, pasando del 12% al 21% y del 4% al 22%, respectivamente.

Aporte Desde el Campo Disciplinar Ingeniería Electrónica

Como ingeniero electrónico, existen varias formas de intervenir en proyectos de energías renovables no convencionales como el biogás.

Sistema de Control y Monitoreo

Diseñar y desarrollar sistemas de control para optimizar la producción y uso de biogás en plantas de tratamiento de residuos orgánicos. Esto puede incluir la implementación de sensores, actuadores y sistemas de adquisición de datos para supervisar y controlar el proceso de producción de biogás.

En cuanto al desarrollo, el Software para dimensionamiento y diseño Biodigestores tenemos “Biodigester rapid analysis and design system (BRADeS) (*F. Abunde Neba, 2020*).

El programa diseñado para dimensionar y diseñar biodigestores, tanto domésticos como industriales, y plantas de biogás es una herramienta precisa utilizada para calcular la producción de biogás, bioabono (biol) y el potencial energético de varios sustratos orgánicos como biomasa, desechos orgánicos y estiércol. Fue desarrollado por expertos con experiencia en la construcción y diseño de estos sistemas a nivel industrial y doméstico.

El programa Biodigestor simplifica el cálculo y diseño de biodigestores, incluyendo dimensiones como volumen, base y altura. Además, facilita la estimación de la producción diaria de biogás en metros cúbicos ($\text{m}^3/\text{día}$), así como la cantidad potencial de energía eléctrica en kilovatios hora (kWh) y el potencial calorífico en kilovatios hora-BTU (kWh-BTU) derivados de la combustión del biogás generado.

El programa permite la integración de una amplia gama de biomasa, como estiércol de cerdo, ganado, gallinaza, vinazas y aguas residuales, entre otros, como sustratos para alimentar los biodigestores. Además, admite la utilización de desechos orgánicos provenientes de restaurantes, grasas, aceites y subproductos agroindustriales.

Ofrece la flexibilidad de elegir entre biodigestores sobre tierra, enterrados o con terraplén, permitiendo ajustar la altura del terraplén y calcular los volúmenes de excavación y relleno necesarios. El programa realiza el dimensionamiento y diseño de biodigestores o plantas de biogás que pueden incluir varios digestores, como tanques de hormigón, acero o digestores tipo laguna con fondo de geo membrana y cubierta de PVC-EPDM.

Además, realiza cálculos detallados de la producción de biogás, energía eléctrica y potencia a instalar (kW) a partir de diversos tipos de biomasa, aguas residuales, vinazas, etc. También estima las toneladas equivalentes de CO₂ generadas, proporcionando así una herramienta integral para proyectos de biodigestores y biogás (e.K., 2017).

Figura 15

Software para el Diseño de Biodigestores

The screenshot displays the 'Geometría - diseño e implantación de biodigestores' software interface. It is divided into several sections for configuring biodigester parameters:

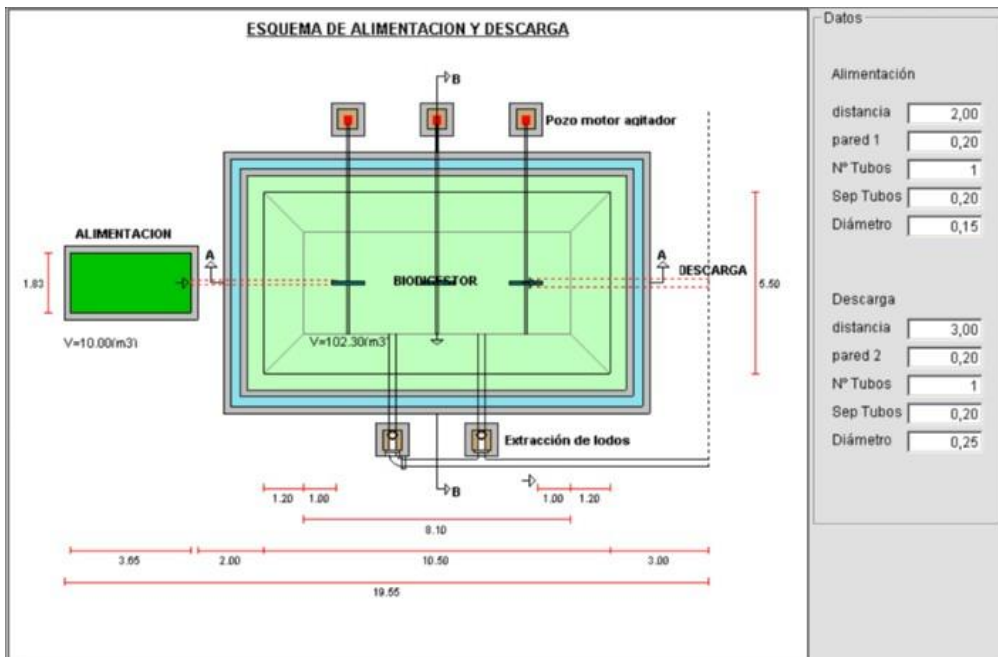
- Implantación de biodigestores:**
 - Sobre tierra:** Acero, Hormigón
 - Bajo tierra:** Membrana, Hormigón
- Asignar el volumen máximo de cada biodigestor:**
 - Volumen total requerido (cálculo): (m³)
 - Número de biodigestores:
 - Volumen máximo de cada biodigestor: (m³)
 - Profundidad de cada biodigestor: (m)
 - Borde libre: (m)
 - Altura total: (m)
- Tanque de alimentación y mezcla:**
 - Volumen recomendado: (m³)
 - Profundidad máxima recomendada: (m)
 - Número de tanques:
 - Un tanque para cada biodigestor
 - Un tanque para todos los biodigestores
 - Forma del tanque:
 - Circular, Rectangular
 - Relación largo / ancho:
- Forma del biodigestor:**
 - Circular, Rectangular
 - Relación largo ancho: 1:
 - Inclinación de talúd 1:n: n
- Tanque de descarga:**
 - Volumen recomendado: (m³)
 - Profundidad máxima: (m)
 - Relación largo ancho:

A trapezoidal cross-section diagram is shown with a vertical height of 1, a bottom width of $n=1.00$, and a side slope of $8=45^\circ$. An inset photograph shows a large-scale rectangular biodigester installation in a rural landscape.

Nota. La figura generaliza un diseño de biodigestor rectangular de gran tamaño con un volumen de almacenamiento significativo, orientado a una implantación sobre o bajo tierra, con opciones para el manejo de tanques de alimentación y descarga. Es ideal para ajustar parámetros en función de las necesidades del proyecto. Fuente: (AQUALIMPIA ENGINEERING e.K., 2020).

Figura 16

Software para Ingreso de Datos al Diseño



Nota. La figura ofrece una visión técnica del diseño y configuración de un biodigestor, mostrando el sistema de alimentación, descarga, agitación y extracción de lodos. Las dimensiones y los detalles de las tuberías están claramente especificados, lo que facilita el diseño e instalación del sistema. Fuente: (AQUALIMPIA ENGINEERING e.K., 2020)

Figura 17

Software Para Introducir Datos del Biodigestor y Obtener Estadísticas

Ingreso de datos por tipo de animal

Tipo 1 | Tipo 2 | Tipo 3 | Tipo 4 | Tipo 5

Ingreso de datos - fuentes de producción de estiércol

Seleccionar animal

Tipo de animal

Número total de animales

Peso promedio de cada animal (kg)

Porcentaje de estiércol recogido (%)

Temperatura de estiércol (°C)

Producción de estiércol

Estiércol por 1000 kg de animal (kg/d)

Estiércol por animal (kg/d)

Porcentaje de masa seca (MS) (%)

Porcentaje de masa volátil (MV) (%)

Resultados

Peso total de animales (PTA) (t)

Producción total de estiércol (PE) (kg / d)

Contenido de masa seca (MS) (kg / d)

Contenido de masa volátil (MV) (kg / d)

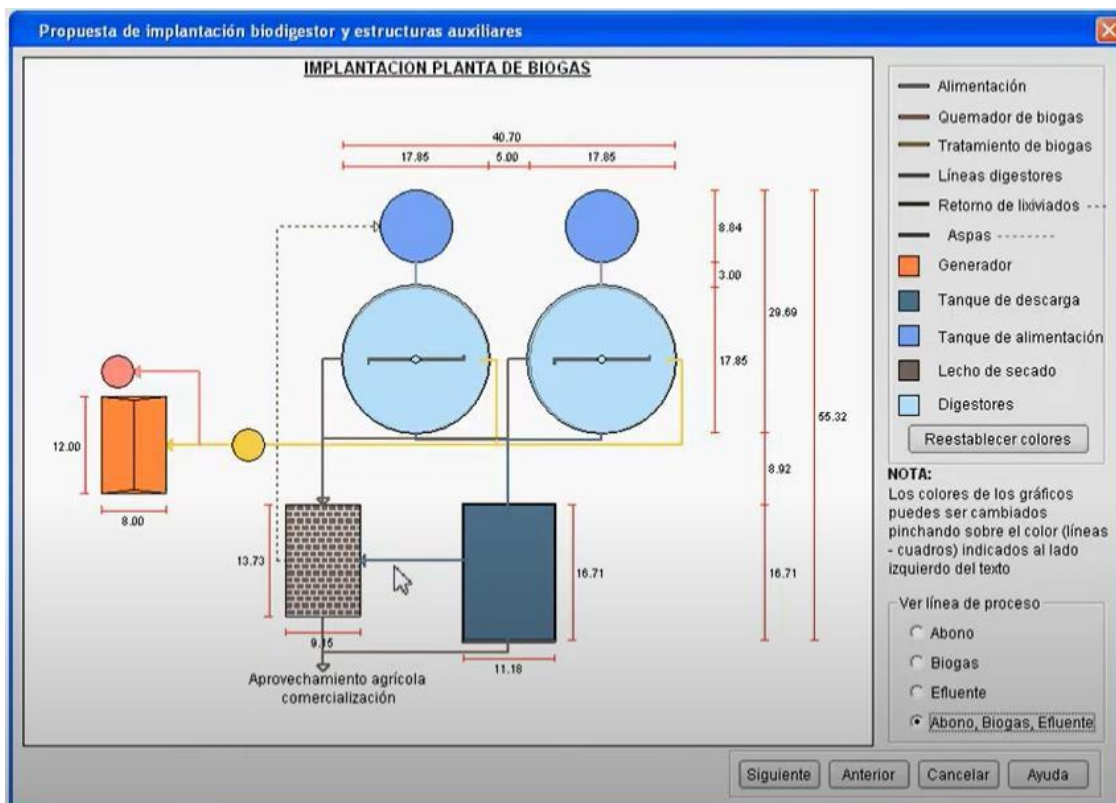
Estiércol (t/d)

Categoría	Valor (t/d)
PE	~85
MS	~10
MV	~10

Nota. La interfaz que se muestra en la figura, permite ingresar datos clave como el tipo de animal, el número de animales, el peso promedio y otros factores relacionados con la producción de estiércol. Los resultados calculados incluyen la cantidad de estiércol generado, así como el contenido de masa seca y volátil, facilitando el análisis de producción de residuos para el dimensionamiento de sistemas como biodigestores. Fuente: Fuente: (AQUALIMPIA ENGINEERING e.K., 2020).

Figura 18

Software Muestra Como Está Quedando el Diseño del Biodigestor



Nota. La figura incluye dimensiones en metros, colores para identificar diferentes elementos y procesos, y una leyenda explicativa sobre los componentes del sistema. Este diagrama técnico es una representación clara del flujo y la disposición física de los elementos de una planta de biogás. Fuente: (AQUALIMPIA ENGINEERING e.K., 2020).

Figura 19

Cálculo de la Producción de Biogás y Energía

Cálculo de la producción de biogás y energía

Estimación de producción de biogás y toneladas equivalentes CO2

Eficiencia de remoción MV	? 63.78 (%)	1.065,60 (kg/día)
Producción de metano CH4	? 767.24 (m3/d)	280.043 (m3/año)
Porcentaje metano en biogás	? 65 (%)	
Producción de biogás	? 1.180,37 (Nm3/d)	430.835 (Nm3/año)
Producción de metano CH4	? 0,55 (t/d)	201 (t/año)
Toneladas equivalentes CO2	? 4.221,00 (t/año)	

Energía total disponible para la unidad de generación

	(Nm3/d)	(Nm3/año)
Producción de biogás	1.180,37	430.835
Grado total de eficiencia unidad de generación	? 85 (%)	
Producción de energía total bruta	? 6.482 (kWh/día)	

Producción de energía eléctrica

Eficiencia eléctrica sistema de generación	? 35 (%)
Generación de energía eléctrica por día	2.269 (kWh/día)
Generación de energía eléctrica por mes	69.006 (kWh/mes)
Generación de energía eléctrica por año	828.076 (kWh/año)
Horas de operación por día	24 (horas)
Potencia eléctrica nominal de generador	95 (kWel)*

Producción de energía calorífica

Eficiencia calorífica sistema de generación	? 65 (%)
Producción de energía calorífica	4.213 (kWh/día)
Potencia calorífica	176 (kW)

Producción específica biogás (Nm3)

Por m3 de biodigestor	1,47 (m3/día)
Por m3 de biomasa	48,04 (m3/m3)
Por kg masa seca	0,60 (m3/kg.MS)
Por kg masa volátil	0,71 (m3/kg.MV)

Producción específica CH4 (Nm3)

Por m3 de biodigestor	0,96 (m3/día)
Por m3 de biomasa	31,23 (m3/m3)
Por kg masa seca	0,39 (m3/kg.MS)
Por kg masa volátil	0,46 (m3/kg.MV)

Equivalencias energéticas biogás

	(Por día)	(Por año)
Biogás (Nm3)	1.180	430.835
BTU	27.095.081	9.889.704.419
Mega Joule	28.587	10.434.191
M.cal	6.828	2.492.166
MWhe	2	828
HP.h	10.667	3.893.584
BHP	809	295.436
Ton TNT	7	2.496

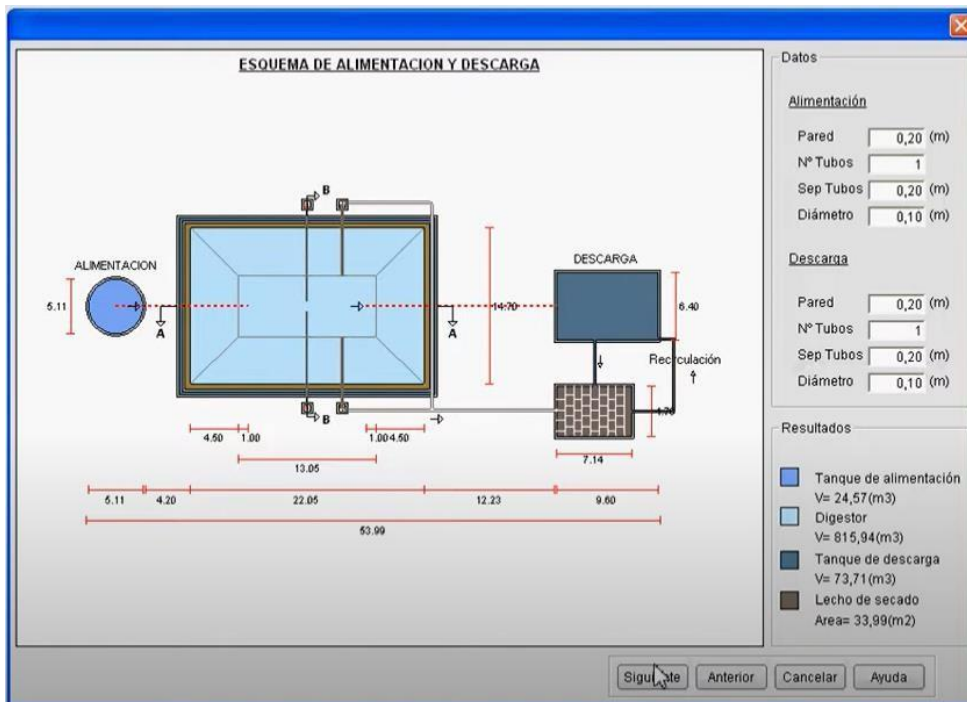
(*) Se recomienda que se instale una unidad de generación con una potencia del 20% mayor que la nominal: en éste caso: 114,00 (kW)

Siguiente Anterior Cancelar Ayuda

Nota. La figura muestra el diseño con el programa BIODIGESTOR PRO, integrando parámetros clave para garantizar eficiencia. Incluye cálculos de biomasa y biogás, tablas de disponibilidad, registros de producción, estimaciones de generación energética en kWh y BTU, especificaciones dimensionales de los componentes, y un plan detallado de instalación. Su diseño asegura viabilidad técnica y maximiza la producción sostenible de biogás y energía. Fuente: (AQUALIMPIA ENGINEERING e.K., 2020).

Figura 20

Esquema Resultante del Biodigestor



Nota: La figura muestra el resultado final del biodigestor creado por el software BIODIGESTOR PRO, en donde se puede observar en la parte izquierda la alimentación y al lado izquierdo la descarga del mismo. Fuente: (AQUALIMPIA ENGINEERING e.K., 2020)

Figura 21

Proceso de un Biodigestor



Nota. La figura muestra un biodigestor cilíndrico donde se realiza la digestión anaeróbica de residuos orgánicos. El sistema cuenta con instrumentación avanzada, como medidores de presión, temperatura y flujo, sensores de gases (CO_2 y CH_4), y un tablero de control eléctrico para ajustar y monitorear parámetros. Una red de tuberías, válvulas y bombas regula el flujo de gases y líquidos. Además, indicadores analógicos y un sensor de nivel

garantizan la operación precisa. Un tanque auxiliar pequeño a la derecha sirve como almacenamiento de biogás o tratamiento de efluentes. Fuente: (Chaparro., 2020).

Automatización

Implementar sistemas de automatización en las plantas de biogás es fundamental para mejorar su eficiencia operativa. Esto incluye el desarrollo de algoritmos de control y la integración de sistemas de control distribuido (DCS) para gestionar de manera efectiva los procesos de producción y almacenamiento de biogás. Después de crear el modelo matemático del diseño de un biodigestor, se lleva a cabo la automatización y control del mismo. Esto implica monitorear las variables básicas a través de un controlador o posiblemente un PLC, que maneje las variables de entrada y salida tanto analógicas como digitales del biodigestor.

Biodigestor Principal

Control de Temperatura. se puede usar un sensor resistivo RTD tipo PT 100.

Control de Presión. Se puede utilizar un sensor DM-2006 – LCD.

Para el Control de Salida de Gas. se pueden usar sensores para dióxido de carbono y Metano como el SGX-4NH3-100 y para hidrogeno el KHS-200 MEMS.

Medidor de Flujo. para determinar el volumen o la masa del gas.

Medidor de Presión. se puede utilizar el sensor YB 131.

Sistema de Desplazamiento de Agua. Aquí se puede utilizar un sensor de nivel.

Instalaciones Eléctricas. Instalación de Tableros de control.

Tecnología de Conversión

Colaborar en el desarrollo de tecnologías de conversión de biogás en energía eléctrica o térmica. Esto puede implicar el diseño de sistemas de cogeneración o trigeneración que aprovechen al máximo el potencial energético del biogás.

Gestión de Energía

Desarrollar sistemas de gestión de energía (SGEn), como la ISO 50001 (*Omar Fredy Prias Caicedo, 2019*) que integren fuentes renovables como el biogás junto con otras fuentes de energía, como la solar o eólica. Estos sistemas pueden optimizar el uso de la energía disponible y garantizar un suministro energético estable y sostenible.

Investigación y Desarrollo

Contribuir en proyectos de investigación y desarrollo para mejorar la eficiencia y reducir los costos asociados con la producción y utilización del biogás. Esto puede incluir la investigación de nuevas tecnologías de producción, almacenamiento y uso del biogás.

Fortalecimiento de Políticas y Normativas

En el contexto de la Ley 1715 del 2014, que aborda el aprovechamiento energético de residuos sólidos, se destaca la necesidad de un desarrollo significativo en este ámbito. El país enfrenta el desafío de gestionar las enormes toneladas de residuos generados, los cuales poseen un potencial aprovechable para la generación de energía eléctrica. Sin embargo, la falta de armonización y coordinación en la gestión de los lugares de almacenamiento, tanto públicos como privados, obstaculiza este proceso. El acceso a estos residuos, administrados por entidades territoriales, es clave para el sector privado interesado en su aprovechamiento energético. Este acceso, aunque tiene una connotación de

bien público, necesita de una reglamentación clara que se espera se desarrolle a partir de la Ley 2099 del 2021 sobre residuos sólidos. La coordinación de estatutos y la contratación pública son aspectos cruciales para lograr un empalme entre los intereses de generar energía a través de residuos sólidos y la falta de acceso que persiste hasta el momento. El avance en energías renovables se ve limitado por dos factores principales. Primero, la dilatación en el desarrollo de proyectos debido a temas ambientales, sociales y de uso del suelo. La Ley 2099 del 2021 establece requisitos que deben ser revisados para fortalecer el objetivo de 15.000 MW en fuentes renovables y llevarlos a la realidad. Segundo, la falta de bancabilidad general para las plantas generadoras de energía a partir de residuos sólidos. Se requiere una flexibilización y desregulación que permita la libre celebración de contratos y la participación en el mercado de energía, facilitando así la materialización de estos proyectos (*Pública, 2021*).

Como ingeniero electrónico, puedo aportar mi experiencia en control, automatización, conversión de energía y gestión de energía para impulsar la implementación exitosa de proyectos de biogás y otras energías renovables no convencionales, a pesar de las normativas y políticas en materia de residuos sólidos no destaca la presencia de biodigestores a pequeña y mediana escala, se buscara afianzar en esas leyes que regulan la implementación de esa energía generada a partir del biogás y que puedan ser llevadas al sector rural y a los menos favorecidos en el sector urbano

Resultados

Un análisis que parte desde el cumplimiento de los objetivos específicos de esta monografía se considera que:

Objetivo 1: Para implementar proyectos de biodigestores de manera efectiva, es crucial contar con políticas públicas alineadas entre los sectores energético, ambiental, de salud pública y agrícola. Además, la participación del sector privado, universidades y agencias de cooperación es fundamental para garantizar financiamiento, tecnología y formación especializada.

En Colombia, la Ley 697 de 2001 promueve el uso eficiente de la energía, mientras que la Ley 1715 de 2014 incentiva la generación de energía a partir de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), incluyendo el biogás. Sin embargo, la normativa actual, como la regulación de la CREG, solo considera proyectos de biogás a gran escala, dejando sin apoyo a proyectos pequeños y medianos, que tienen gran potencial en el país. Esto limita el desarrollo del biogás como fuente de energía a nivel local y agropecuario, a pesar de su capacidad para generar energía de manera sostenible.

Es necesario fortalecer la promoción y gestión de políticas que favorezcan tanto proyectos de gran escala como de pequeña y mediana escala, mediante incentivos directos, regulaciones claras y mayor coordinación entre actores públicos y privados.

Objetivo 2: La biomasa, compuesta por materiales orgánicos de origen vegetal y animal, presenta un alto potencial para la producción de combustibles renovables trayendo consigo beneficios como:

Mitigación de Contaminación. Utilizar residuos como biomasa ayuda a reducir la contaminación.

Generación de Energía. Produce calor y electricidad.

Reducción de Dependencia. Disminuye la dependencia de combustibles fósiles

Sostenibilidad. Contribuye a la sostenibilidad ambiental y genera empleo en áreas rurales.

Una planta de biomasa puede evitar la emisión de hasta 200,000 toneladas de CO₂ anualmente.

El biogás se produce mediante la digestión anaeróbica de residuos orgánicos en biodigestores, transformando un potencial contaminante en un recurso energético, Principalmente metano (40-80%) y dióxido de carbono (18-44%).

La Capacidad del Biodigestor y Producción de Biogás a Pequeña Escala según Contexto de la Investigación (*RANGEL, 2021*), hace un análisis de un biodigestor de 120 litros utilizando residuos domésticos. Se plantea que cada kilogramo de materia degradada puede generar 0.5 m³ de biogás.

Volumen de Trabajo (VT). Utiliza el 75% de su capacidad total para la digestión.

$$VT=120 \text{ litros} \times 0.75=90 \text{ litros.}$$

Capacidad Diaria de Mezcla (CD). Determinada durante un periodo de 30 días.

$$CD=VT/TR=90 \text{ litros}/30 \text{ días}=3 \text{ litros/día}$$

Distribución de la Mezcla Diaria Materia Orgánica.

$$3 \text{ litros/día} \times 25\%=0.8 \text{ kg Agua. } 3 \text{ litros/día} \times 75\%=2.2 \text{ litros}$$

Total, para 30 días Materia Orgánica. $0.8 \text{ kg} \times 30 = 24 \text{ kg}$ Agua: $2.2 \text{ litros} \times 30 = 66 \text{ litros}$

Producción de Biogás estimada de 0.3 m^3 de biogás

Densidad del metano: 0.737 kg/m^3 .

Generación de Electricidad 1 m^3 de metano puede generar 10 kWh de electricidad.

Figura 22

Biogestor a Pequeña Escala



Nota. La imagen muestra como una familia puede generar su propia energía a partir de los residuos que obtienen en su hogar. *Fuente:* (Medio Ambiente en Accion., 2022).

Biogás a Mediana Escala

Capacitación y Transferencia de Conocimientos. Programas de capacitación promueven la adopción de biodigestores en áreas rurales.

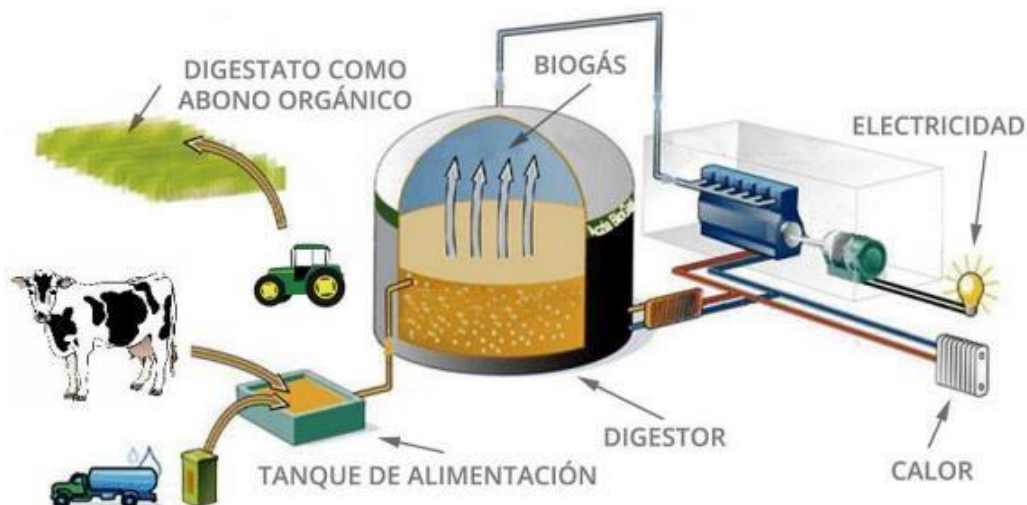
Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Gestión eficiente de residuos es crucial para mitigar el cambio climático.

Ventajas del Biogás. Fuente de energía renovable y limpia, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles.

Diseño de Plantas de Biogás. Varía según el tipo de residuo, condiciones climáticas y técnicas de construcción.

Impacto en la Ganadería. Los generadores de biogás podrían reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un **30%**.

Adopción de Modelos Sostenibles. La digestión anaerobia permite la gestión de residuos y recuperación de energía en áreas rurales.

Figura 23*Planta de Tratamiento de Estiércol Bovino*

Nota. La figura muestra el ciclo de producción de electricidad a partir del estiércol bobino.
 Fuente: (Leonardo Agustín Barreiro, PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y Biofertilizante A Partir De Estiércol Bovino)

El Objetivo 3: resalta la importancia del biogás como fuente de energía renovable en el contexto global y latinoamericano, enfatizando el potencial de Colombia para diversificar su matriz energética y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

Dependencia Energética Global

El 66% de la energía global proviene de combustibles fósiles, 16% de hidroeléctricas, y 10.6% de fuentes nucleares.

Las energías renovables convencionales, como la solar y la eólica, representan solo el 6% del total.

La transición hacia fuentes de energía más sostenibles es esencial para abordar desafíos ambientales y asegurar la energía a largo plazo (IEA W. E., 2016).

Rol del Biogás. El biogás es crucial para reducir la dependencia de combustibles fósiles y las emisiones de CO₂, con el objetivo de reemplazarlos gradualmente para 2050.

Liderazgo Mundial.

China. 40 millones de biodigestores en granjas rurales.

India. gran cantidad de biodigestores en zonas rurales.

Europa. 14,000 plantas de biogás, siendo Alemania la principal con 8,700.

EE.UU. 2,000 sistemas de biogás, principalmente en tratamiento de aguas residuales y vertederos.

América Latina. Brasil y México son los líderes en implementación de biogás.

Producción en Europa

Alemania produce dos tercios del biogás en Europa.

Otras naciones como Dinamarca, Francia, Italia y Países Bajos también están activas en esta industria.

Se estima que el biogás podría satisfacer el 40% de la demanda de gas en la UE para mediados de siglo.

Situación en América Latina

América Latina contribuye con el 40% de la producción mundial de biocombustibles.

México genera 278 toneladas de residuos sólidos con un potencial energético de 2,980 PJ.

Brasil proyecta producir 10 millones de m³ de biogás diario para 2025.

El Biogás en Colombia

Desarrollo y Potencial. En 2015, Colombia avanzó en el uso de biomasa, destacando el bagazo de caña de azúcar.

Se estima un potencial energético de 450 PJ/año a partir de residuos biomásicos, equivalente al 41% de la demanda nacional.

Iniciativas Clave

Planta de Biometano en Medellín. Produce 720 m³ de biometano por hora, satisfaciendo las necesidades energéticas de 40,000 hogares.

Uso de Residuos de Café. Se están explorando tecnologías para utilizar residuos del café en la generación de biogás en el eje cafetero.

Impacto Ambiental

La planta de Biogás Doña Juana en Bogotá ha evitado 800,000 toneladas equivalentes de CO₂, mostrando el impacto positivo en la mitigación del cambio climático.

Información sobre el desarrollo del biogás en diferentes regiones del mundo.

China. Es líder en el desarrollo de biogás. Se destaca que cuenta con 40 millones de biodigestores en pequeñas granjas rurales y más de 50,000 biodigestores de mayor escala.

India. Sigue a China en el desarrollo de biogás. Se menciona que hay millones de biodigestores instalados en pequeñas granjas rurales.

Europa. Se observa un crecimiento notable en el sector de biogás. Europa cuenta con alrededor de 14,000 plantas de biogás. Alemania lidera con 8,700 plantas y el uso de cultivos energéticos en más de 700,000 hectáreas de maíz.

Estados Unidos. Está en desarrollo con avances en biogás. Se mencionan alrededor de 2,000 sistemas de biogás, incluyendo 1,200 en plantas de tratamiento de aguas residuales, 600 en rellenos sanitarios, y 200 en el sector agropecuario.

Latinoamérica. Se encuentra en una etapa incipiente en el desarrollo de biogás. Brasil y México son líderes en la implementación de tecnologías de biogás.

Implementar sistemas de generación de energía basados en biogás, considerando aspectos como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la viabilidad financiera, se ven reflejadas en una alta inversión en sistemas a mediana escala, pero que se considera una inversión que implementa y protege el medio ambiente y que puede ser aprovechada de manera eficiente. por eso para lograr que estos sistemas a pequeña y mediana escala se promuevan entre la gente, deben ser patrocinados económicamente por políticas públicas de ambiente y desarrollo social.

El objetivo 4: analiza los sistemas de generación de energía basados en biogás el cual demuestra que, mediante la utilización de biodigestores de bajo costo y tecnologías de almacenamiento adecuadas, es posible desarrollar soluciones energéticas sostenibles y económicamente viables. La viabilidad financiera de estas tecnologías se evalúa a través de indicadores económicos que permiten una comparación efectiva entre diferentes opciones, resaltando el potencial del biogás como alternativa energética en el contexto actual.

Biodigestores de Bajo Costo

Comunes en países del sureste asiático y en América Latina (Cuba, Colombia, Brasil).

Construidos con fundas de polietileno en forma de tubo, son accesibles, fáciles de instalar y mantener.

Costos de materiales para un biodigestor oscilan entre 135 y 220 USD (Herrero, 2008).

Composición del Biogás. El biogás, principalmente metano (CH₄), puede ser purificado para obtener biometano, aumentando su calidad y potencial calórico (C. C. Carías, 2019).

Sistemas de Almacenamiento de Biogás

Almacenamiento a Presión. Utiliza un compresor para introducir biogás en un recipiente sellado, alcanzando presiones de aproximadamente 20,000 kPa (200 bar).

Comúnmente se usa el Gas Natural Comprimido (CNG) para aplicaciones domésticas y automotrices.

Almacenamiento Volumétrico. Se basa en mantener condiciones de presión y temperatura cercanas a 101.35 kPa.

Utiliza bolsas con geometría y materiales específicos para el almacenamiento.

Sistema de Limpieza y Compresión

Emplea cuatro filtros principales (CO₂, H₂S, humedad y partículas finas) para mejorar la calidad del biogás, aumentando la concentración de metano y convirtiéndolo en biometano.

La compresión del biogás reduce su volumen, facilitando su almacenamiento y transporte.

Evaluación de Métodos de Almacenamiento

Se consideraron dos métodos: almacenamiento a presión en cilindros y almacenamiento volumétrico en bolsas.

Se propusieron neumáticos de camión y mochilas para el almacenamiento volumétrico.

Análisis Económico

Se realizó un análisis de viabilidad financiera utilizando la Tasa Interna de Retorno (TIR) como indicador clave de rentabilidad.

Evaluación basada en flujos de efectivo proyectados a lo largo de **10 años**, considerando tecnologías como cilindros, neumáticos y mochilas.

El análisis incluye costos de inversión inicial, costos de operación y mantenimiento, depreciación, ahorros anuales por uso de biogás frente a GLP, y valor de rescate de activos al final de la vida útil del proyecto.

El análisis del objetivo 5, demuestra que el biogás y otras fuentes de biomasa tienen un gran potencial para contribuir a la generación de energía sostenible, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover un desarrollo energético más respetuoso con el medio ambiente. La consideración de aspectos socioeconómicos y geográficos es fundamental para la implementación exitosa de proyectos de biogás, asegurando que beneficien tanto a las comunidades locales como al medio ambiente.

Transición Energética Sostenible

La transición hacia energías sostenibles implica responsabilidades para empresas y estados, especialmente en la protección de derechos humanos y el medio ambiente.

Es crucial que esta transición se realice respetando los recursos naturales y los derechos de las comunidades locales, enfatizando la participación ciudadana en la planificación y evaluación de proyectos de energía renovable, como los parques de biogás (HENRY JIMÉNEZ GUANIPA, 2023)

Uso de Fuentes Renovables

Aunque el uso de fuentes renovables está en aumento, no ha alcanzado niveles que eliminen completamente los combustibles fósiles.

El biogás se presenta como una alternativa viable, especialmente por la posibilidad de usar infraestructuras existentes para su distribución.

Producción de Biogás en Brasil

El biogás puede producirse a partir de biomasa utilizada en la producción de etanol, contribuyendo significativamente a la generación eléctrica; se estima que puede cubrir hasta el **17%** de la demanda eléctrica anual en Brasil.

El biometano, obtenido mediante la purificación del biogás, tiene el potencial de reemplazar aproximadamente el **34%** del consumo anual de diésel, lo que resulta en una reducción significativa de emisiones de CO₂.

Emisiones de CO₂ en Colombia

En 2012, Colombia generó 1.263.555 Tcal de energía primaria, siendo el carbón mineral la principal fuente (45,8%).

Las actividades energéticas generan 37% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero en Colombia, con el sector eléctrico contribuyendo con 23.16% de estas emisiones.

En 2020, Colombia emitió alrededor de 15.281,57 millones de toneladas de CO₂ equivalente, representando aproximadamente el 0,4% de las emisiones globales de CO₂.

Potencial Energético de la Biomasa

La biomasa, principalmente del sector agropecuario, representa una fuente significativa de material para generación de energía, con 29 millones de toneladas de biomasa residual agrícola disponibles anualmente en Colombia, con un potencial energético de 12,00 MWh por año.

El uso de biomasa en ingenios azucareros, específicamente el bagazo de caña de azúcar, para generación eléctrica mediante cogeneración es notable.

Matrices Energéticas y Energías Renovables no Convencionales (ERNCs)

Las economías con matrices energéticas más pequeñas tienden a utilizar una mayor proporción de ERNCs.

La energía derivada de la biomasa es predominante en diversas regiones; en América del Norte, representa el 54% del suministro energético total (TES) y en África, el 95%.

Aumento de Participación de ERNCs

Se ha registrado un aumento significativo en la participación de ERNCs en Europa y Asia-Pacífico, con incrementos del 5% al 24% y del 2% al 18%, respectivamente.

Las tendencias también indican un aumento en América del Norte y Oriente Medio, con la participación de ERNCs en el suministro energético total de energías renovables aumentando del 12% al 21% y del 4% al 22%.

Discusiones y Limitaciones

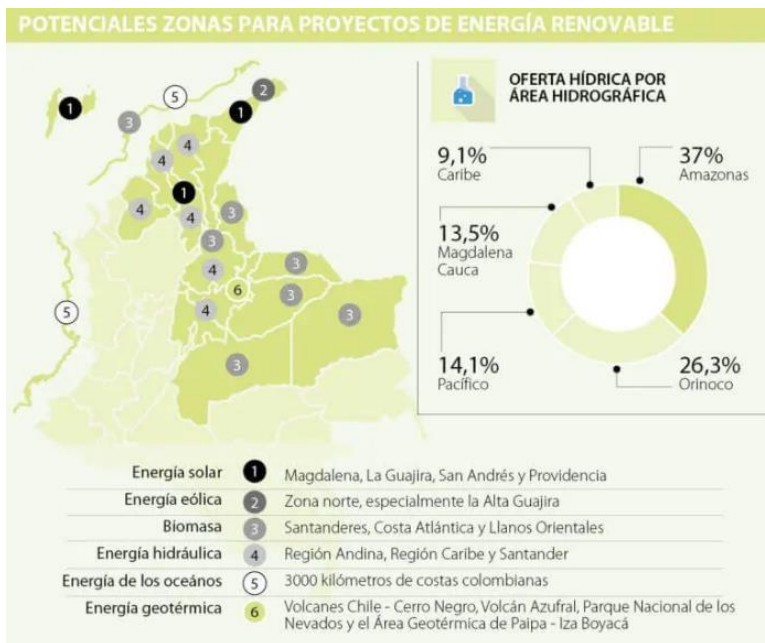
Dentro del marco energético y la transición a energías no convencionales, posicionados en el futuro algo incierto a los sistemas de Biogás, sus políticas determinan una limitación algo difusa y con poca publicidad gubernamental para que sea tomada en cuenta en los grupos sociales tanto rurales como urbanas que estén dispuestos a cumplir con los instrumentos de política ambiental con énfasis económico o de mercado (Montenegro, 2022), que se incentiven y compensen los efectos negativos y el aprovechamiento de los recursos naturales que ayuden a que los sistemas de biogás sean una alternativa para mitigar los gases de efecto invernadero y que aporte a la reducción del dióxido de carbono (Zilio, 2008).

Son muchas las incógnitas y la poca claridad políticas que ha entregado esta serie de documentos sobre el uso del biogás y su aporte al cambio climático, a pesar de que los esfuerzos a implementar sistemas de biogás sean a gran escala, al día de hoy vemos que la política se va tornando ambiciosa con las energías no convencionales, pero; Pese a eso, y que la energía generada con biomas debe aplicarse controladamente debido a sus impactos negativos para el medio ambiente, y que van relacionados al aumento a gran escala en las plantaciones de bioenergía y bosques, provoca un uso inadecuado de la tierra. Se conoció que Colombia ha caído 10 posiciones en el índice de transición energética del foro económico mundial (WEF), pasando del puesto 29 al 39, lo que muestra una ineficaz política pública en el avance en proyectos de energías limpias.

Colombia tiene un gran potencial energético; la capacidad de energía renovable total para 2020 fue de 13,552 Mega Wattios, a pesar de este potencial Colombia avanza a media marcha en lo que respecta al desarrollo de grandes proyectos de energías renovables. Según el índice de transición energética (ETI) del foro económico mundial, el país ocupa el tercer lugar en la región, con un 65.93% (Patiño, 2023).

Según la asociación de energías renovables (SER), el siguiente es un avance de los proyectos de energías renovables en ejecución en varios departamentos de Colombia en la producción de Biogás.

De acuerdo con el estudio *“Estimación del potencial del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia”*, realizado por la Universidad Nacional de Colombia y la UPME, (UPME_UNAL) los departamentos con mayor disponibilidad de biogás son: Antioquia, Cundinamarca, Valle del Cauca, Meta, Santander, Casanare, Cesar, Atlántico, Bolívar, Risaralda y Cauca. El potencial de generación de biogás a partir de la biomasa corresponde a 10,447 Tera julios/año o sea 9,894,669 MBTU, lo que equivale al 8% de la energía suplida por el gas Natural (Rural, 2022).

Figura 24*Potencial de Energías Renovables en Colombia*

Nota. La región con potencial de ERNCs con Biogas son los Santanderes, Costa Atlántica y llanos Orientales. Fuente: (Patiño, IMPACTOTIC, 2024).

Existen hasta el momento muchos retos para el país, a nivel social, empresarial y gubernamental que estimule una verdadera transición a energías limpias, peticiones y retos como:

Incentivos Fiscales. Según la SER, es crucial que el gobierno y el Congreso de la República continúen y establezcan incentivos fiscales para las empresas que implementen proyectos de energías renovables.

Articulación entre el Gobierno, Inversionistas y Comunidades. Es esencial para el éxito de los proyectos de energías limpias que haya una colaboración efectiva entre el gobierno, los inversionistas y las comunidades locales. Esta colaboración facilita la

obtención de licencias ambientales y sociales necesarias para la implementación de los proyectos, asegurando así el cumplimiento de los requisitos legales y el apoyo de las comunidades afectadas.

Normativa para Pequeños Productores. Es necesario promover regulaciones que faciliten a los consumidores convertirse en productores de su propia energía. Esto abriría la puerta para que pequeñas industrias puedan sustituir sus fuentes tradicionales de energía por opciones más sostenibles, como la instalación de paneles solares u otras tecnologías renovables.

Hidrógeno Verde. Dado el potencial de Colombia en la producción de este nuevo tipo de energía, es crucial establecer un marco regulatorio que defina las condiciones técnicas y económicas bajo las cuales operará este emergente sector económico (Patiño, 2023).

Conclusiones

Para la implementación efectiva de proyectos de biodigestores, es crucial contar con un marco de políticas públicas bien coordinado que integre sectores clave como el energético, ambiental, de salud pública y agrícola. La alineación de estas políticas es fundamental tanto para la planificación como para la ejecución exitosa de estos proyectos.

Además, la participación activa de actores del sector privado, incluyendo ONG, empresas, bancos y agencias de cooperación, es vital para asegurar el financiamiento adecuado y proporcionar las tecnologías y servicios necesarios. Las universidades también juegan un papel esencial al aportar investigación, monitoreo y formación especializada en energías renovables.

La coordinación entre todos estos actores es indispensable, ya que los proyectos de biodigestores involucran múltiples aspectos que requieren una regulación y gestión rigurosa, como controles de calidad, costos económicos y ambientales, y la provisión de soporte técnico.

Si bien el biogás ofrece una fuente de energía flexible que puede ser almacenada y utilizada según la demanda, su potencial en Colombia aún no se ha explotado completamente. Esto se debe, en parte, a la falta de políticas específicas que promuevan su desarrollo, especialmente a pequeña y mediana escala. Aunque existen incentivos legales, como los establecidos en la Ley 1715/14 para fomentar las energías renovables, la implementación de proyectos de biogás sigue enfrentando desafíos significativos debido a la falta de regulaciones adecuadas y apoyo institucional continuo.

En el objetivo específico uno, para maximizar el potencial del biogás en Colombia, es necesario fortalecer y coordinar las políticas públicas, mejorar la promoción y gestión de los proyectos, y fomentar un entorno regulatorio que incluya tanto a los grandes como a los pequeños productores de biogás.

El uso de compuestos orgánicos provenientes de sustancias carbonadas, producidos durante la fotosíntesis, permite la generación de biocombustibles mediante procesos variados. La transformación de residuos orgánicos en energía no solo mitiga la contaminación ambiental, sino que también ofrece una fuente renovable de calor y electricidad. La biomasa, como recurso energético, destaca por su versatilidad y su capacidad para reemplazar combustibles fósiles, reduciendo así la huella de carbono y promoviendo el desarrollo rural.

En el proceso de producción de biogás, los residuos orgánicos, tanto de origen animal como vegetal, se estabilizan a través de la digestión anaeróbica en biodigestores. Estos dispositivos permiten la generación de biogás, compuesto principalmente por metano, lo que convierte a estos residuos en una fuente valiosa de energía.

Existen diferentes tipos de biodigestores, como los discontinuos, semi-continuos y de domo fijo o flotante, cada uno con características específicas que los hacen adecuados para distintas aplicaciones según la disponibilidad de residuos y las necesidades energéticas.

La producción de biogás a pequeña escala, utilizando biodigestores domésticos, permite que incluso las familias con recursos limitados aprovechen los residuos orgánicos para generar energía. La operación y diseño de estos sistemas requieren un equilibrio

adecuado entre los insumos de estiércol y agua para optimizar la producción de biogás, contribuyendo así a la sostenibilidad y al desarrollo comunitario.

En cuanto al objetivo específico dos, la producción de biogás a partir de biomasa es una solución eficiente y sostenible que ofrece múltiples beneficios, desde la reducción de residuos hasta la generación de energía limpia y el impulso al desarrollo rural.

La energía global actualmente depende en un 66% de combustibles fósiles, seguidos por la hidroeléctrica (16%) y la nuclear (10.6%) según el objetivo específico 3. Las energías renovables, como la solar y la eólica, representan solo el 6% de la matriz energética mundial. El biogás se presenta como una opción clave para reducir la dependencia de combustibles fósiles y disminuir las emisiones de CO₂. China lidera en biogás con 40 millones de biodigestores rurales y 50,000 avanzados. En Europa, Alemania es el principal productor, con 8,700 plantas de biogás. América Latina, con Brasil y México a la cabeza, está en las primeras etapas de desarrollo, y Colombia muestra un potencial significativo en el uso de biomasa, con avances como la primera planta de biometano en Medellín, que podría satisfacer las necesidades de 40,000 hogares. El biogás es una herramienta crucial para la transición energética global hacia fuentes más sostenibles.

El objetivo específico 4 nos muestra que los biodigestores de bajo costo, comunes en el sudeste asiático y América Latina (Cuba, Colombia y Brasil), están contruidos con fundas de polietileno en forma de tubo y son accesibles, con materiales que cuestan entre 135 y 220 dólares. El biogás, principalmente metano (CH₄), puede purificarse para mejorar su calidad y contenido calórico. Se describen dos sistemas de almacenamiento: a presión (usando compresores y recipientes sellados) y volumétrico (utilizando bolsas o

neumáticos). Un sistema diseñado incluye limpieza y compresión del biogás antes del almacenamiento, evaluando la viabilidad económica mediante un análisis de Tasa Interna de Retorno (TIR) para tres tecnologías: cilindros, neumáticos y mochilas, considerando costos de inversión, operación y mantenimiento, y los ahorros frente al uso de GLP.

La transición hacia una energía sostenible según el objetivo específico cinco, requiere que tanto empresas como estados protejan los derechos humanos y el medio ambiente, en línea con los principios de desarrollo sostenible y la mitigación de emisiones de carbono. Es crucial que esta transición sea respetuosa, evitando impactos negativos en los recursos naturales y las comunidades locales. La participación ciudadana es esencial en la planificación y toma de decisiones.

El uso de fuentes renovables, como el biogás, está en aumento y presenta alternativas viables para reducir la dependencia de combustibles fósiles. En Brasil, el biogás podría cubrir hasta el 17% de la demanda eléctrica anual, y el biometano podría reemplazar el 34% del consumo anual de diésel, reduciendo significativamente las emisiones de CO₂.

En Colombia, el sector energético depende principalmente de combustibles fósiles, pero la biomasa, especialmente en el sector agropecuario, ofrece un gran potencial energético. Se estima que los residuos agrícolas y pecuarios, junto con los residuos sólidos urbanos, podrían generar una considerable cantidad de energía renovable.

A nivel global, el uso de energías renovables, incluidas las derivadas de biomasa, está en aumento, especialmente en regiones como Europa, Asia-Pacífico, América del

Norte y Oriente Medio. Sin embargo, es importante considerar el impacto ambiental de estas fuentes para minimizar el costo ambiental del desarrollo económico.

La implementación efectiva de proyectos de biodigestores requiere una sólida coordinación entre políticas públicas y la colaboración de actores clave del sector privado, académico, y gubernamental. Es esencial integrar el sector energético, ambiental, de salud pública, y agrícola para garantizar que estos proyectos contribuyan al desarrollo sostenible, respetando los derechos humanos y el medio ambiente.

El biogás, como fuente renovable, ofrece una solución viable para reducir la dependencia de combustibles fósiles, con un potencial significativo en países como Colombia y Brasil. Sin embargo, para maximizar este potencial, es necesario un marco regulatorio robusto y un apoyo institucional constante, que incluya tanto a grandes como a pequeños productores.

A nivel global, aunque las energías renovables están en aumento, especialmente en regiones como Europa y Asia-Pacífico, aún enfrentan desafíos relacionados con su impacto ambiental y su integración en la matriz energética. La transición hacia una energía sostenible debe ser planificada de manera inclusiva, con una participación activa de las comunidades y un enfoque en minimizar los costos ambientales asociados con el desarrollo económico.

El biogás no solo ofrece una alternativa energética limpia, sino que también puede impulsar el desarrollo rural y contribuir significativamente a la mitigación del cambio climático, siempre y cuando se promueva un entorno adecuado para su desarrollo a gran escala.

Referencias Bibliográficas

Agustín Torroba, C. B. (2023). *estado actual de la biodigestión en américa latina y el caribe*. San José, C.R.: IICA y RedBioLAC.

AQUALIMPIA ENGINEERING e.K. (2020). *BIODIGESTORES INDUSTRIALES*.

Obtenido de BIODIGESTORES INDUSTRIALES: <https://www.aqualimpia.com/> Barbosa, L. J.

(2022). estrategias para la transición energética: revisión de la literatura estrategias para la transición energética: revisión de la literatura. *revista científica multidisciplinar núcleo do*, 33.

BRAN, J. F. (Jueves 5 de Octubre de 2023). *Primera planta de biometano entró en operación,*

cubrirá demanda de 40.000 familias. Obtenido de LR la Republica:

<https://www.larepublica.co/economia/epm-puso-en-operacion-la-primera-planta-de-biometano-en-colombia-3721958>

C. C. Carías, A. A. (2019). factibilidad técnica y económica del almacenamiento y transporte de biogás. *conia*, 8.

Carlos ROBLES Algarin, O. R. (2018). Un panorama de las energías renovables en el Mundo,

Latinoamérica y Colombia. *Espacios*, 10.

Chaparro., J. A. (2020). *Diseño Simulación de un biodigestor automatizado para implementación en fincas pecuarias pequeñas*. Bogota: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.

- CREG, C. d. (6 de 12 de 2022). *Las energías renovables no convencionales tendrán mayor flexibilidad en el mercado*. Obtenido de <https://creg.gov.co/publicaciones/14117/las-energias-renovables-no-convencionales-tendran-mayor-flexibilidad-en-el-mercado/>
- Cruz, M. A. (5 de Agosto de 2021). *Biogas Colombia*. Obtenido de Mejor Aire Para Bogota, Energia Limpia Para el Mundo.: <https://www.biogas.com.co/>
- Domiciliarios, S. i. (2022). *Informe Sectorial de la prestacion del servicio de energia electrica 2022*. Bogota: SuperServicios.
- e.K., A. E. (2017). *SOFTWARE_PARA_DIMENSIONAMIENTO_Y_DISENO*. Obtenido de <https://www.biogas.uno/software-biodigestores/>
- Energía, M. d. (2014). *Fuentes No Convencionales de Energía Renovable - FNCER*. Obtenido de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable - FNCER: <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/fuentes-no-convencionales-de-energ%C3%ADa-renovable-fncer/>
- es.dreamstime.com. (2000). *Cilindros de gas y paleta sobre fondo blanco*. Obtenido de es.dreamstime.com: <https://es.dreamstime.com/cilindros-de-gas-y-paleta-sobre-fondo-blanco-ilustraci%C3%B3n-aislada-d-image233044704>
- ESP, B. C. (2009). *Biogas Colombia*. Obtenido de Biogas Colombia: <https://www.biogas.com.co/>
- F. Abunde Neba, , N. (2020). *Biodigester rapid analysis and design system (B- RAdES): A candidate attainable region-based simulator for the synthesis of biogas reactor structures*. Computers and Chemical Engineering. journal homepage: www.elsevier.com/locate/compchemeng.

FAO. (7 de Noviembre de 2012). *Energias Renovables para el Sector Agroalimentario: Las*

Oportunidades del Biogas. Obtenido de

<https://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/229860/>

FAO, P. p. (2019). *Guia Teorico-Practica sobre el Biogas y los biodigestores*.

Buenos Aires: Coleccion documentos Tecnicos.

Fernandez, J. (2003). *Energias Renobables para todos. Energia de la Biomasa*.

Iberdrola.

Fernando Sebastian Nogues, D. G. (2010). *Energia de la BIomasa*. Zaragoza: Servicios de

Publicaciones.Universidad de Zaragoza.

HENRY JIMÉNEZ GUANIPA, J. T. (2023). Integralidad derechos humanos- derechos de la

naturaleza: hacia la debida diligencia empresarial y la transición energética sostenible.

Revista Derecho del Estado.

Hernandez, F. M. (2015). *Biogas: 10 casos de exito en el sector industrial*.

Argentina.

Herrero, J. M. (2008). *Biodigestores Familiares. Guai de Diseño y Manual de Instalacion*. Bolivia:

GTZ-Energia.

Higinio Pulido Ana María, R. P. (2021). Energías renovables no convencionales para satisfacer la

demanda energética: análisis de tendencias entre 1990 y 2018. *Repositorio Escuela*

Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

IEA. (2020). *Una introduccion al Biogas y al Biometano*. Paris. IEA, W. E. (2016). *Perspectivas*

Electricas Mundiales. Paris.

Jaime Martí Herrero, M. P. (2016). *Oportunidades para el desarrollo de un sector sostenible de biodigestores de pequeña y mediana escala en LAC*. Chile: RedBioLAC.

LEGUIZAMÓN, M. A. (2020). *factibilidad para la construcción, comercialización y mantenimiento de biodigestores en el municipio de solita - CAQUETÁ*. Bogota: UNIVERSIDAD EXTERNADO DE COLOMBIA.

Leonardo Agustín Barreiro, J. G. (s.f.). *PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOFERTILIZANTE A PARTIR DE ESTIÉRCOL BOVINO*. Grupo BIOEMIA

<https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/6870/Proyecto%20final%20BIOEMIA%20v1%20%281%29.pdf?sequence=1>.

Leonardo Guiza-Suarez, J. C. (2019). *Energías Renovables no Convensionales y Cambio Climatico: Un analisis para Colombia*. Bogota: Editorial Universidad del Rosario.

Mannise, R. (12 de 11 de 2019). *Ecocosas*. Obtenido de Biodigestor Qué Es Y Cómo Hacer Uno Casero: <https://ecocosas.com/energias-renovables/biodigestor/>

Medellin, E. P. (5 de Octubre de 2023). *EPM pone en operacion la primera planta de biometano en Colombia*. Obtenido de https://img.lalr.co/cms/2023/10/05183259/Boletin-EPM-Primera_Planta_Biometano_Colombia-05102023-vb-.pdf

Medio Ambiente en Accion. (27 de 01 de 2022). *Medio Ambiente en accion, Noticias ambientales*. Obtenido de El Biogas: <https://medioambienteenaccion.com.ar/contenido/5710/el-biogas>

Montenegro, E. A. (2022). *LA POLITICA AMBIENTAL COLOMBIANA Y EL CAMBIO SOCIAL PARA EL CUIDADO SOSTENIBLE DEL MEDIO AMBIENTE*. Bogota: KAIRÓS.

Moreno, M. T. (2011). *Manual de Biogas*. Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Nidia Yaneth Rincón-Velásquez, C. C.-R. (2021). *Políticas y normas sobre energías renovables para el desarrollo de biogás en Colombia. Una revisión*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Estudios Ambientales.

Omar Fredy Prias Caicedo, J. C. (2019). *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA GUIA CON BASE EN LA NORMA ISO 50001*. RED COLOMBIANA DE CONOCIMIENTO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA - RECIEE.

Patiño, W. C. (15 de Septiembre de 2023). *IMPACTO TIC*. Obtenido de IMPACTO TIC:

<https://impactotic.co/innovacion/sostenibilidad/energias-renovables-en-colombia-situacion-retos-y-proyectos/>

Patiño, W. C. (18 de 06 de 2024). *IMPACTOTIC*. Obtenido de Energías renovables en Colombia:

situación, retos y proyectos.: <https://impactotic.co/innovacion/sostenibilidad/energias-renovables-en-colombia-situacion-retos-y-proyectos/>

Perdices, M. B. (2008). *Fuentes de Energia Para el Futuro*. España: Ministerio de Educacion. Politica Social y deporte.

Pública, D. A. (10 de Julio de 2021). *Ley 2099 de 2021*. Obtenido de

https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=166326

RANGEL, R. J. (2021). *identificación de las condiciones físico-químicas de un biodigestor anaerobio y de los lodos que se generan en la producción de biogás a partir de residuos orgánicos domésticos*. el socorro, santander: universidad libre .

Renovables., A. d. (s.f.). *CURSO OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE BIODIGESTIÓN DE PEQUEÑA Y SISTEMAS DE BIODIGESTIÓN DE PEQUEÑA Y*. SantaFE.

Rural, S. T. (2022). *Plan de Acción para la Gestión Sostenible de la Biomasa Residual*. Bogota: Minambiente.

S.A, C. (2014). *Guía de buenas prácticas en Proyectos de Biodigestores*. Managua: (SG-SICA).

SENA. (1 de Diciembre de 2014). *Noticias SENA*. Obtenido de Noticias SENA:

<https://www.sena.edu.co/es-co/Noticias/Paginas/noticia.aspx?IdNoticia=1729>

SICA Sistema de Integracion Centroamericana. (12 de 08 de 2014). *Guia de buenas Practicas Proyectos de Biodigestores*. Obtenido de SICA Sistema de Integracion Centroamericana:

https://www.sica.int/documentos/re-8-52-guia-proyectos-biodigestores_1_89650.html

Sostenible, M. d. (2014). *Normativa*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/decreto-2041-2014.pdf>

Sostenible., M. d. (2021). *Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono y Resiliente al Clima (ECDBC)*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/estrategia-colombiana-de-desarrollo-bajo-en-carbono-ecdbc/>

- UPME, M. d. (2020). *Plan Energetico Nacional 2020-2050, la Transformacion Energetica que Habilita el Desarrollo Sostenible*. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2020_2050/Plan_Energetico_Nacional_2020_2050.pdf
- UPME_UNAL. (s.f.). *Dokument*. Obtenido de <https://dokumen.tips/documents/estimacin-del-potencial-de-conversin-a-biogs-de-la-finalpdf-la-biomasa.html?page=1>
- Villarreal, J. A. (2021). *MODELO CIRCULAR DE APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA RESIDUAL DE CAFE EN COLOMBIA*. Bogota.
- www.aqualimpia.com. (01 de 09 de 2020). *BIODIGESTORES INDUSTRIALES - AQUALIMPIA ENGINEERING*. Obtenido de SOFTWARE BIODIGESTOR-PRO: <https://www.aqualimpia.com/software-biodigestor/>
- York Castillo, M. C.-C. (2015). Rol de las Fuentes No Convencionales de Energía en el sector eléctrico colombiano. *Prospectiva*.
- Zania Sidartha Roa, J. C. (2020). *economiacircular.minambiente.gov.co* ›. Obtenido de Guia Biogas: <https://economiacircular.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/09/guia-biogas-sector-porcicola-ministerio-de-ambiente-desarrollo-sostenible.pdf>
- Zilio, M. I. (2008). *Emisiones de dióxido de Carbono en America Latina*. Mexico: Economía y Sociedad.
- Zuñiga, I. C. (2007). *Biodigestores*. Universidad Autonoma del estado de Hidalgo.