



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

**Planta de Producción de Energía Eléctrica a
partir de Biogás de Vertedero, aplicado en
República Dominicana.**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER
MÁSTER EN ENERGÍAS RENOVABLES**

Autor: Angela Paredes Muñoz
Director: Francisco Vera García

Cartagena, España, Marzo 2018



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

Planta de Producción de Energía Eléctrica a Partir de Biogás de Vertedero, aplicado en República Dominicana.

DEDICATORIA

A mi padre Félix Casilla, por inculcar en mí tantos principios y ser con su vida un modelo y ejemplo para la mía, ha sido una de las mayores bendiciones que Dios me ha regalado y a él quiero dedicarle esto, GRACIAS POR TANTO Pa'.

AGRADECIMIENTOS

- **A Dios**

Por reconozco que sin Su fidelidad, cuidado y provisión hoy no estaría culminando esta etapa de mi vida.

- **Mis padres y hermanos**

Quienes se esforzaron en proveer los recursos necesarios para llegar hasta España, y confiaron en mí para la culminación exitosa de la maestría.

- **Mis amigos**

Porque demostraron que la distancia significa poco cuando alguien significa tanto, y se encargaron de hacer que este tiempo lejos de mi tierra y de los míos fuese lo más agradable posible.

- **Al Ministerio de Educación Superior Ciencia y Tecnología (MESCYT)**

Y al Estado Dominicano, por proveer programas de formación profesional como estos y brindarnos la oportunidad de capacitarnos con una educación excelente para ser profesionales competitivos a la vanguardia de las exigencias del mercado laboral.

- **Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT)**

Por abrirnos sus puertas, acogernos sin ningún tipo de discriminación, y brindarnos una educación de excelencia.

- **A mi tutor, Francisco Vera García**

Por aceptar la propuesta de dirigir este proyecto y brindarme todo el apoyo necesario a lo largo de la elaboración de este.

- **Fernando Polanco**

Por último, pero no menos importante, a mi amigo, por estar siempre pendiente a lo largo de este tiempo, escucharme, aunque a veces no tenía idea de lo que le hablaba, acompañarme en las investigaciones y por creer en mí.

Índice de Contenido

1. Marco Introdutorio.....	9
1.1. Resumen.....	9
1.2. Objetivos.....	10
1.2.1. Objetivo General:.....	10
1.2.2. Objetivos Específicos:	10
1.3. Introducción	10
1.4. Justificación	11
1.5. Glosario de términos	12
1.6. Lista de abreviaturas y símbolos.....	14
2. Generalidades	17
2.1 Problemática Energética Mundial.....	17
2.2 Energías Renovables.....	19
2.2.1. Tipos de Energías Renovables	19
2.3. Situación energética en Centro América.....	24
2.4. Situación energética en República Dominicana	25
2.5. Problemática de los Residuos Sólidos Urbanos en República Dominicana	26
2.5.1. Enfoque medioambiental, social y económico	28
2.6. El Biogás.....	30
2.6.1. Medios de obtención de Biogás	32
2.6.2. Fases de Fermentación anaerobia	34
2.6.3. Factores con influencia en la producción de biogás	36
2.7. Otras alternativas posibles de aprovechamiento de RSU	37
2.7.1. Incineración.....	38
2.7.2. Otras alternativas	39
2.8. Métodos de aprovechamiento de calor en este tipo de proyectos.....	39
2.9. Marco legal de República Dominicana aplicable a este tipo de proyectos.....	40
2.9.1. Ley 64-00 De Medio Ambiente Y Los Recursos Naturales.	40
2.9.2. Norma Para La Gestión Ambiental de Residuos Sólidos No Peligrosos.....	41
2.9.3. Ley 176-07 del Distrito Nacional y los Municipios.....	42
2.9.4. Ley 1-12 que establece la Estrategia Nacional de Desarrollo 2030.....	43

2.9.5. Ley 57-07 sobre Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables de Energía y de sus Regímenes Especiales.	43
2.10. Estado del arte.....	45
2.10.1. Investigaciones Nacionales.....	45
2.10.2. Antecedentes Internacionales.....	46
2.11. Propuesta de separación de RSU para fomentar la producción de biogás.	47
2.11.1. Propuesta de separación, recolección y vertido	47
3. Desarrollo Técnico de la Propuesta.....	55
3.1. Alcance	55
3.2. Criterios de inclusión y exclusión.....	56
3.2.1. Inclusión.....	56
3.2.2. Exclusión.....	57
3.3. Elementos generales de la planta	57
3.3.1. Pozos.....	58
3.3.2. Tuberías.....	59
3.3.3. Antorcha.....	60
3.3.4. Motores	60
3.4. Estimación de producción de biogás.....	63
3.4.1. Método de aproximación simple.....	63
3.4.2. Modelo de degradación del primer orden	64
3.4.3. Composición de los residuos.	64
3.4.4. Presentación de los resultados	65
3.5. Cálculo de emisiones a evitar	70
3.6. Impacto Ambiental y Social.....	71
3.7. Comparación del proyecto con la Central Termoeléctrica Punta Catalina	72
4. Análisis económico.....	75
4.1. Parámetros de inversión.....	75
4.1.1. Presentación de los resultados	76
4.1.2. Rentabilidad Económica	78
Conclusiones.....	81
Referencias Bibliográficas	83

MARCO INTRODUCTORIO

1. Marco Introdutorio

1.1. Resumen

El presente trabajo consiste en el análisis de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de vertedero, enfocado en el vertedero de Duquesa de Santo Domingo, capital de República Dominicana.

Dicho análisis conlleva los pasos a seguir para una planta de 1064kWe con el biogás obtenido a partir de la fracción orgánica de los residuos depositados en el vertedero en cuestión, el cual por el momento, no cuenta con ningún mecanismo de aprovechamiento de los residuos ni con ningún mecanismo de separación de desechos, excepto el trabajo informal que hacen unas personas denominadas “buzos”, las cuales se introducen en las montañas de desechos con el objetivo de sacar elementos a los que puedan obtener un beneficio económico con su reciclaje o venta.

La producción de biogás será a través de la digestión anaerobia en pozos de extracción, los cuales irán conectados a colectores, estos a su vez conectados a un separador ciclónico que eliminara las impurezas con las que salga el gas antes de darle paso al deshumidificador para la reducción del porcentaje de humedad en el gas y luego a los turbosplantes los cuales inyectan más aire al motor, permitiendo a este ser más eficiente, aumentando la potencia disponible, reduciendo el consumo de combustible y el peso, como mecanismo de seguridad se coloca una antorcha en este punto para prevenir el paso a la atmosfera en caso de que se diera algún escape del gas, este va a los motores los cuales están conectados al transformador y este finalmente a la red eléctrica, donde será vertida la energía eléctrica producida.

El documento esta seccionado en 4 capítulos principales:

Capítulo 1: Registra la información general e introductoria de la investigación, como es el marco metodológico, que engloba los objetivos, la justificación, introducción, criterios de inclusión y exclusión entre otros.

Capítulo 2: Contiene toda la información complementaria que apoya la investigación principal, como los antecedentes de estudio, toda la información específica del lugar objeto de estudio, así como las normas y/o leyes relacionadas a la investigación y el trabajo a desarrollar.

Capítulo 3: En este se documenta todos los cálculos relacionados a la producción estimada de biogás, así como también el detalle de todos los elementos que conformarían una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de vertedero.

Capítulo 4: Finalmente se detallan todos los aspectos económicos relacionados a la investigación, así como el análisis de sensibilidad considerado por las fluctuaciones de los precios en el mercado, y por el hecho de que la investigación está enfocada en un lugar distinto en el cual no se disponen datos sobre este tipo de explotación de biogás.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General:

Evaluar y describir de forma detallada los pasos a seguir para la obtención de biogás a partir de digestión anaeróbica, con la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, y su posterior uso en la producción de energía eléctrica, usando como unidad de análisis el vertedero de Duquesa en la República Dominicana y desarrollar la propuesta para el aprovechamiento del Biogás generado.

1.2.2. Objetivos Específicos:

- * Analizar los registros de recolección de residuos de la zona seleccionada.
- * Estudiar el método de recolección, transporte y disposición utilizado actualmente.
- * Elaborar un plan para clasificar los residuos en biodegradables y no biodegradables.
- * Identificar los medios más factibles de aprovechamiento, a partir de la información anterior, y hacer una propuesta de aprovechamiento a través de digestión anaerobia con pozos de extracción.
- * Detallar la propuesta desde el punto de vista técnico, energético y financiero.
- * Enunciar las ventajas y desventajas de este método.

1.3. Introducción

La necesidad de preservar el medio ambiente y la inminente urgencia de ser cada día menos dependientes del petróleo como fuente principal de producción de energía eléctrica, crea la necesidad de búsqueda de recursos energéticos alternativos menos contaminantes que puedan ser explotados como una opción para la generación de energía eléctrica produciendo un impacto ambiental mínimo.

Debido a las condiciones actuales en las que, por un lado, las reservas mundiales de combustibles fósiles empiezan a caer a niveles críticos, no garantizando el seguro suministro energético a largo plazo. Así mismo, el uso de este tipo de combustibles tiene grandes implicaciones ambientales. Los países desarrollados y dependientes de los hidrocarburos han aunado esfuerzos orientados al uso de las fuentes renovables de energía con el propósito de liberar su alta dependencia de los combustibles fósiles y garantizar una energía propia para continuar con su sostenimiento y desarrollo económico.

Sumándose a los problemas medioambientales, debido a la utilización de combustibles fósiles, la expansión de la economía basada en el consumo y los extraordinarios avances técnicos experimentados; surge la problemática de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), que empieza a tomar proporciones críticas y a generar un gravísimo impacto en el medio ambiente. Por ello el interés de convertir un problema medioambiental, social y energético en una alternativa viable de aprovechamiento energético.

1.4. Justificación

La gestión o el manejo de residuos es el término empleado para designar al control humano de recolección, tratamiento y disposición final de los diferentes tipos de residuos, con la finalidad de reducir el nivel de impacto negativo de los residuos sobre el medio ambiente y la sociedad. Es insuficiente con solo cumplir el objetivo de retirar los desechos de la comunidad; sin una disposición final adecuada, todos los procesos anteriores no solucionan la situación, simplemente transfieren el problema a otro lugar. Esto va en contra de la idea del desarrollo sustentable, trasladando el problema de la contaminación ambiental a las generaciones futuras.

Aproximadamente, se generan en la República Dominicana más de 13.000 t/día de desechos. La generación per cápita en la zona urbana es de 1,20 kg/hab/día y en la zona rural es de 0,6 kg/hab/día.

A lo largo de los años en República Dominicana, se han intentado desarrollar algunos proyectos para mitigar, reducir o eliminar estos residuos. En algunos casos, las condiciones desfavorables como son el mal manejo y gestión de los residuos municipales han hecho inviable estos proyectos en más del 50% de los casos en el país. A consecuencia de esto, el aprovechamiento de dichos residuos es deficiente o inexistente. En el caso particular del vertedero de Duquesa, diariamente son vertidos 4.000 toneladas de desechos, sin ningún tratamiento, sin ninguna separación y con escaso aprovechamiento.

Esta razón se convierte en el móvil principal de este proyecto, que busca, no solo mitigar una situación crítica, sino beneficiar al país y al medio ambiente con su aprovechamiento.

1.5. Glosario de términos

Término	Definición
Acuerdo de Paris	Es un acuerdo dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático que establece medidas para la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a través de la mitigación, adaptación y resiliencia de los ecosistemas a efectos del Calentamiento Global, su aplicabilidad sería para el año 2020, cuando finaliza la vigencia del Protocolo de Kioto.
Biodegradación	Descomposición natural y no contaminante de una sustancia o producto por la acción de agentes biológicos.
Carbón	Carbón fósil, duro, bituminoso, de color oscuro o negro, formado en épocas geológicas pasadas por la descomposición parcial de materias vegetales, fuera del acceso del aire y bajo la acción de la humedad, y en muchos casos de un aumento de presión y temperatura.
Central Termoeléctrica	Una central termoeléctrica es una instalación empleada en la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor, normalmente mediante la combustión de combustibles fósiles como petróleo, gas natural o carbón.
Crisis energética	Una crisis energética es una repentina escasez (o una drástica subida de precio) en el suministro de fuentes energéticas. Normalmente hace referencia a una disminución de la disponibilidad de petróleo, electricidad u otros recursos naturales
Digestión anaerobia	La digestión anaeróbica es el proceso en el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno.
Gas Natural	Se trata de un gas combustible que proviene de formaciones geológicas, por lo que constituye una fuente de energía no renovable. Además de metano, el gas natural puede contener dióxido de carbono, etanol, propano, butano y nitrógeno, entre otros gases.
Impacto Ambiental	El impacto ambiental al medio natural es el efecto que produce la actividad humana sobre el medio ambiente. El concepto puede extenderse a los efectos de un fenómeno natural catastrófico. Técnicamente, es la alteración en la línea de base ambiental.

Lixiviados	Se denomina lixiviado al líquido resultante de un proceso de percolación de un fluido a través de un sólido. El lixiviado generalmente arrastra gran cantidad de los compuestos presentes en el sólido que atraviesa.
Protocolo de Kyoto	Es un protocolo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global: dióxido de carbono (CO ₂), gas metano (CH ₄) y óxido nitroso (N ₂ O), y los otros tres son gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF ₆), en un porcentaje aproximado de al menos un 5 %, dentro del periodo que va de 2008 a 2012, en comparación a las emisiones a 1990.
Reciclaje	Es un proceso cuyo objetivo es convertir desechos en nuevos productos o en materia para su posterior utilización. Gracias al reciclaje se previene el desuso de materiales potencialmente útiles, se reduce el consumo de nueva materia prima, además de reducir el uso de energía, la contaminación del aire (a través de la incineración) y del agua (a través de los vertederos), así como también disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con la producción de plásticos.
Revolución Industrial	La Revolución Industrial o Primera Revolución Industrial es el proceso de transformación económica, social y tecnológica que se inició en la segunda mitad del siglo XVIII en el Reino de Gran Bretaña, que se extendió unas décadas después a gran parte de Europa occidental y Norteamérica, y que concluyó entre 1820 y 1840.
Residuos Sólido Urbano	El Residuo Sólido Urbano (RSU) o residuo urbano es aquel que es sólido y que se genera en los núcleos urbanos o en sus zonas de influencia: domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios. El residuo sólido urbano no comprende los catalogados como peligrosos, aunque se pudieran producir en los anteriores lugares o actividades.
Vertedero	Los vertederos, tiraderos, rellenos sanitarios o basureros (también conocidos en algunos países hispanohablantes como basurales), son aquellos lugares donde se deposita finalmente la basura. Pueden ser oficiales o clandestinos.

1.6. Lista de abreviaturas y símbolos

Símbolo/abreviatura	Significado
°C	Grados Celsius
ACS	Agua Caliente Sanitaria
ADN	Ayuntamiento Distrito Nacional
art.	Artículo
b/d	Barril día
Bcm	<i>Billion cubic meters.</i> Mil millones de metros cúbicos
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CARD	Electricidad en Centroamérica y República Dominicana
CDEEE	Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas y Estatales
CH ₄ -CO ₂	Metano - dióxido de carbono
CNE	Comisión Nacional de Energía
CO ₂	Dióxido de carbono
CONARE	Consejo Nacional de la Reforma del Estado
DGII	Dirección General de Impuestos Internos
EDEs	Empresas Distribuidora de Electricidad
EE.RR	Energías Renovables
EE.UU	Estados Unidos
EPA	Agencia de Protección Ambiental
FORSU	Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GLP	Gas licuado de petróleo
GNC	Gas natural comprimido
GNL	Gas natural licuado
GPS	Sistema de posicionamiento global
GIZ	Agencia Alemana de Cooperación Técnica
GW/h	Gigavatio hora
H ₂ O	Molécula de agua
kcal m ³	Kilocaloría por metro cúbico
kg/hab/día	Kilogramo por habitante por día
km ²	kilómetro cuadrado
kWe	Kilovatio equivalente
kWh	kilovatio hora
LMOP	Landfill Methane Outreach Program
M	Metro
m ²	Metro cuadrado
Mb/d	Megabarril día
MMft ³ /día	Millones de pies cúbicos al día
MMTCO ₂ E	Millones de toneladas equivalentes de dióxido de carbono
MNRE	Ministerio de energía nueva y renovable

Planta de Producción de Energía Eléctrica a Partir de Biogás de Vertedero, aplicado en República Dominicana.

Mtep	Millones de toneladas equivalentes de petróleo
MW	Megavatio
Nm ³	Metros cúbicos normales
Nox	Óxidos de nitrógeno
núm.	Número
OLADE	Organización latinoamericana de Energía
OyM	Operación y Mantenimiento
PCI	Poder calorífico Inferior
PH	Potencial de Hidrógeno
RD	República Dominicana
RD\$	Pesos dominicanos
SENI	Sistema Eléctrico Nacional Interconectado
t/año	Tonelada año
t/día	Tonelada día
UE	Unión Europea
US\$	Dólar americano
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional

GENERALIDADES

2. Generalidades

2.1 Problemática Energética Mundial

Cuando se habla de crisis energética con frecuencia se hacen cálculos sobre el potencial de las energías renovables y se habla de sustituciones generalistas, pero a menudo se pasa por alto que no todas las fuentes energéticas son intercambiables de forma directa y en algunos casos requieren no solo importantes cambios tecnológicos, sino costosas infraestructuras y cambios sociales.

Desarrollos energéticos

- El consumo global de energía primaria aumentó solo un 1% en 2016, luego de un crecimiento de 0.9% en 2015 y un 1% en 2014. Esto se compara con el promedio de 10 años de 1.8% anual.
- Al igual que en 2015, el crecimiento fue inferior al promedio en todas las regiones, excepto Europa y Eurasia. Todos los combustibles, excepto el petróleo y la energía nuclear, crecieron a tasas inferiores a la media.
- El consumo de energía en China creció solo un 1,3% en 2016. El crecimiento durante 2015 y 2016 fue el más bajo en un período de dos años desde 1997-98. A pesar de esto, China se mantuvo como el mayor mercado mundial de energía por 16to año consecutivo.

Emisiones de carbón

Las emisiones de CO₂ del consumo de energía aumentaron solo 0.1% en 2016. Durante 2014-16, el crecimiento promedio de emisiones fue el más bajo en cualquier período de tres años desde 1981-83.

Petróleo

- El precio del petróleo Dated Brent promedió \$ 43.73 por barril en 2016, desde \$ 52.39 por barril en 2015 y su nivel anual más bajo (nominal) desde 2004.
- El petróleo siguió siendo el principal combustible del mundo, representando un tercio del consumo mundial de energía. El petróleo ganó participación en el mercado mundial por segundo año consecutivo, luego de 15 años de declinaciones de 1999 a 2014.
- El crecimiento del consumo global de petróleo promedió 1.6 millones de barriles por día (Mb/d), o 1.6%, por encima del promedio de 10 años (1.2%) por segundo año consecutivo. China (400.000 b/d) e India (330,000 b/d) proporcionaron los mayores incrementos.
- La producción mundial de petróleo, por el contrario, aumentó solo 0.4 Mb/d, el crecimiento más lento desde 2013.
- La producción en Oriente Medio aumentó 1,7 Mb / d, impulsada por el crecimiento en Irán (700,000 b / d) Iraq (400,000 b / d) y Arabia Saudita (400,000 b / d).
- La producción fuera de Medio Oriente cayó 1,3 Mb / d, con las mayores disminuciones en los EE. UU. (-400,000 b / d), China (-310,000 b / d) y Nigeria (-280,000 b / d).
- El crecimiento de la producción de la refinería se desaceleró de 1,8 Mb / d en 2015 a 0,6 Mb / d el año pasado. La capacidad de refinación creció solo en 440,000 b / d, frente al crecimiento promedio a 10 años de 1 Mb / d, lo que provocó un aumento en la utilización de la refinería.

Gas natural

- El consumo mundial de gas natural creció en 63 mil millones de metros cúbicos (bcm) o 1.5%, más lento que el promedio de 10 años de 2.3%.
- El consumo de gas de la UE aumentó bruscamente en 30 bcm, o el 7,1%, el crecimiento más rápido desde 2010. Rusia experimentó la mayor caída en el consumo de cualquier país (-12 bcm).
- La producción global de gas natural aumentó solo 21 bcm, o 0.3%. La disminución de la producción en América del Norte (-21 bcm) compensó parcialmente el fuerte crecimiento de Australia (19 bcm) e Irán (13 bcm).
- El comercio de gas creció 4.8%, ayudado por un crecimiento de 6.2% en las importaciones / exportaciones de GNL.
- La mayor parte del crecimiento neto de las exportaciones de GNL provino de Australia (19 bcm de 21). Las exportaciones de GNL de los Estados Unidos aumentaron de 0.7 bcm en 2015 a 4.4 bcm en 2016.

Carbón

- El consumo mundial de carbón se redujo en 53 millones de toneladas de petróleo equivalente (Mtep), o 1,7%, el segundo descenso anual consecutivo. Las mayores disminuciones en el consumo de carbón se vieron en los EE. UU. (-33 Mtep, una caída del 8.8%) y China (-26 Mtep, -1.6%). El consumo de carbón en el Reino Unido se redujo a la mitad (abajo 52.5%, o 12 Mtep) a su nivel más bajo en nuestros registros.
- La participación de carbón en el consumo mundial de energía primaria cayó al 28,1%, la participación más baja desde 2004.
- La producción mundial de carbón cayó un 6,2%, o 231 Mtep, la mayor disminución registrada. La producción de China cayó un 7,9% o 140 Mtep, también un descenso récord. La producción estadounidense cayó un 19% o 85 Mtep.

Energías renovables, hidroeléctricas y nucleares

- La energía renovable (excluyendo la hidroeléctrica) creció un 14,1% en 2016, por debajo del promedio de 10 años, pero el mayor incremento en el registro (53 Mtep).
- El viento proporcionó más de la mitad del crecimiento de las energías renovables, mientras que la energía solar contribuyó con casi un tercio a pesar de representar solo el 18% del total.
- Asia Pacífico superó a Europa y Eurasia como la mayor región productora de energía renovable. China superó a los EE. UU. Para ser el productor de renovables más grande.
- La generación de energía nuclear mundial aumentó un 1,3% en 2016, o 9,3 Mtep. China representó todo el crecimiento neto, expandiéndose en un 24.5%. El incremento de China (9.6 Mtep) fue el más grande de cualquier país desde 2004.
- La generación de energía hidroeléctrica aumentó un 2,8% en 2016, (27,1 Mtep). China (10.9 Mtep) y los EE. UU. (3.5 Mtep) proporcionaron los mayores incrementos. Venezuela experimentó el mayor descenso (-3.2 Mtep).

2.2 Energías Renovables

Las fuentes de energía renovable han sido aprovechadas por el hombre desde hace mucho tiempo, básicamente acompañadas de la energía animal, y su empleo continuó durante toda la historia hasta la llegada de la “Revolución Industrial”, en la que la aparición del carbón, con una densidad energética muy superior a la de la biomasa y su menor precio, desplazó a estas.

Posteriormente, el petróleo fue desplazando en muchas aplicaciones al carbón debido a su mayor limpieza, mayor poder calorífico y su carácter fluido. En el siglo XX aparece un nuevo recurso, más limpio y con mayores reservas, el gas natural, del que se dice será la energía del siglo XXI, con lo que es de suponer que también sufrirá una crisis a lo largo de este siglo.

Durante los últimos años, precisamente pensando en el futuro agotamiento de las fuentes de energías fósiles, en la gran dependencia exterior de muchos países de estas, en el progresivo incremento de su coste y en los problemas medioambientales derivados de su explotación, transporte y consumo, se está produciendo un renacer de las energías renovables.

Las energías renovables son aquellas que se producen de manera continua y son inagotables a escala humana. Además, tienen la ventaja adicional de poder complementarse entre sí, favoreciendo la integración entre ellas.

El hombre desde la antigüedad ha necesitado energías. El sol es la principal fuente de energía que proporciona al hombre y a la naturaleza luz y calor, energías fundamentales para que haya vida sobre la tierra. En sus orígenes, el hombre tuvo que combatir el frío a base de fuego (leña), que siguió utilizando para preparar sus alimentos, luego para fundir metales y elaborar utensilios e imágenes (además de leña añadió carbón), también para navegar por el mar utilizó la fuerza del viento, para más recientemente pasar a otras fuentes de energía. A medida que el hombre ha ido evolucionando y desarrollándose, ha necesitado de más y más energía, llegando al momento actual, en el que el aprovisionamiento de energías es un problema a nivel de todos los países de la tierra.

Resolver el problema del abastecimiento de energías es un problema de difícil solución. Los científicos e investigadores buscan energías alternativas a las que venimos usando y que sean menos contaminantes y no se agoten como sucede con las principales energías que hoy día utilizamos, como son fundamentalmente el carbón, el petróleo, el gas natural y la energía nuclear.

2.2.1. Tipos de Energías Renovables

De entre las distintas fuentes de energía, las renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana, aunque habría que decir que, para fuentes como la biomasa, esto es así siempre que se respeten los ciclos naturales. El sol está en el origen de todas las energías renovables porque su calor provoca en la Tierra las diferencias de presión que dan origen a los vientos, fuente de la energía eólica. El sol ordena el ciclo del agua, causa la evaporación que predispone la formación de nubes y, por tanto, las lluvias. También del sol procede la energía hidráulica. Las plantas se sirven del sol para realizar la fotosíntesis, vivir y

crecer. Toda esa materia vegetal es la biomasa. Por último, el sol se aprovecha directamente en las energías solares, tanto la térmica como la fotovoltaica.

Las energías que una vez consumidas, se pueden volver a consumir porque se reponen, no se agotan. Ejemplos de estas energías son: la luz y el calor que llega del sol, el viento, el agua de un río, la fuerza del mar, la energía maremotriz, la masa arbórea (biomasa).

2.2.1.1 Energía Solar

Del Sol obtenemos dos energías básicas para la vida en el planeta Tierra que son el calor y la luz, ambas energías permiten su aprovechamiento para calentar agua mediante paneles térmicos y paneles fotovoltaicos para generar electricidad.

Las energías que proceden del Sol son las que producen los fenómenos atmosféricos del viento (energía eólica) y el ciclo del agua (energía hidráulica) y la fotosíntesis en las plantas y las mareas y las olas en los mares.

Los paneles o captadores solares térmicos permiten aprovechar el calor que nos llega desde el Sol para calentar agua, bien sea para reforzar el fluido de las calefacciones por agua, como para proporcionarnos agua caliente sanitaria (ACS). Los captadores solares térmicos tienen un fluido que se calienta por la acción solar y que luego ceden este calor, en un intercambiador. El agua calentada queda almacenada en un acumulador en espera de su consumo.

2.2.1.2 Energía Solar Fotovoltaica

Es la forma de aprovechamiento de la radiación solar para su transformación en energía eléctrica, permite esta transformación por medio de células fotovoltaicas integrantes de módulos solares. Esta electricidad se puede utilizar de manera directa, se puede almacenar en acumuladores para un uso posterior, e incluso se puede introducir en la red de distribución eléctrica.

2.2.1.3 Energía Solar Térmica

La energía solar directa es la energía del sol sin transformar, que calienta e ilumina. Necesita de sistemas de captación y almacenamiento y aprovecha la radiación del Sol de varias maneras:

Utilización directa: mediante la incorporación de acristalamientos y otros elementos arquitectónicos con elevada masa y capacidad de absorción de energía térmica, llamada energía solar térmica pasiva.

Transformación en calor: es la llamada energía solar térmica, que consiste en el aprovechamiento de la radiación que proviene del sol para calentar fluidos que circulan por el interior de captadores

solares térmicos. Este fluido se puede destinar para el agua caliente sanitaria (ACS), dar apoyo a la calefacción para atemperar piscinas, etc.

La energía Solar en sentido general es una de las energías renovables con mayores posibilidades.

Ventajas:

- Escaso Impacto Ambiental
- No produce residuos perjudiciales para el medio ambiente
- Distribuida por todo el mundo
- No tiene más costes una vez instalada que el mantenimiento el cual es sencillo
- No hay dependencia de las compañías suministradoras

Inconvenientes:

- Se precisan sistemas de acumulación (baterías) que contienen agentes químicos peligrosos. Los depósitos de agua caliente deben protegerse contra la legionela.
- Puede afectar a los ecosistemas por la extensión ocupada por los paneles en caso de grandes instalaciones
- Impacto visual negativo si no se cuida la integración de los módulos solares en el entorno

2.2.1.4 Energía Hidráulica

La generación de energía a partir de una corriente de agua es la fuente de energía renovable más usada en el mundo para generar electricidad. La mayoría es producida con centrales de gran escala que utilizan presas y embalses grandes los cuales pueden almacenar una gran cantidad de agua para regular la generación. Estas centrales tienen la capacidad de generar cantidades considerables de electricidad en forma constante durante ciertos períodos, pero también causan impactos ambientales y sociales como: la obstrucción de la corriente de ríos, la inundación de áreas considerables y la reubicación de comunidades.

La energía hidráulica se refiere al aprovechamiento de la energía potencial que tiene el agua (por diferencia de altura) que se obtiene buscando una caída de agua desde cierta altura a un nivel inferior, la que luego se transforma en energía mecánica (rotación de un eje), con el uso de una rueda hidráulica o turbina. Esta energía se puede utilizar directamente para mover un pequeño aserradero, un molino o maquinaria de un beneficio de café. También es posible conectar la turbina a un generador eléctrico y de esta manera transformar la energía mecánica en energía eléctrica, con la ventaja de trasladar con mayor facilidad la energía a los puntos de consumo y aplicarla a una gran variedad de equipos y usos productivos. Por lo tanto, la cantidad de potencia y energía disponible en el agua de un río o una quebrada está en relación directa a la altura o caída disponible, así como de la cantidad de agua que se trasiega (caudal). Como estrategia inicial para escoger un posible aprovechamiento hidráulico se debe buscar la mayor caída o altura disponible y de esta manera usar la cantidad mínima de agua que se requiera para satisfacer las necesidades de energía y potencia.

La utilización de la energía hidráulica data de la época de los griegos, quienes empleaban la rueda hidráulica para bombear agua. Tanto la rueda hidráulica vertical como la horizontal se usaron en la Edad Media y el Renacimiento en la agricultura, minas, industria textil, industria forestal y en el transporte. Al inicio del siglo XIX se instaló la primera turbina hidráulica. La energía hidráulica tuvo mucha importancia durante la Revolución Industrial; impulsó las industrias textiles y del cuero y los talleres de construcción de máquinas a principios del siglo XIX. Aunque las máquinas de vapor ya estaban perfeccionadas, el carbón era escaso y la madera poco satisfactoria como combustible, por lo que la energía hidráulica ayudó al crecimiento de las nuevas ciudades industriales que se crearon en Europa y América.

Ventajas:

- No contamina
- Es muy abundante

Inconvenientes:

- Sus infraestructuras son muy caras
- Depende de los factores climáticos
- Impacto ambiental

2.2.1.5 Energía Eólica

El sol provoca en la tierra las diferencias de presión que dan origen a los vientos. La energía del viento se deriva del calentamiento diferencial de la atmosfera por el sol, y las irregularidades de la superficie terrestre. Aunque solo una pequeña parte de la energía solar que llega a la tierra de convierte en energía eólica, la cantidad total es enorme.

El dispositivo capaz de realizar la conversión de la fuerza del viento en electricidad es el aerogenerador o generador eólico, que consiste en un sistema mecánico de rotación provisto de palas a modo de los antiguos molinos de viento, y de un generador eléctrico con el eje solidario al sistema motriz, de forma que el viento hace girar las palas y el generador eléctrico.

Usos

- Bombeo de agua
- Electrificación rural
- Demandas de pequeña potencia
- Pueden agruparse y formar parques eólicos conectados a la red eléctrica

En las instalaciones aisladas de la red de distribución eléctrica se emplean acumuladores para almacenar la energía en los periodos sin viento. En la actualidad es una de las energías renovables más competitivas gracias a las mejoras técnicas.

Ventajas:

- Evita la importación de carbón, petróleo y materiales radioactivos
- Evita grandes impactos ambientales como la lluvia acida y el efecto invernadero
- Es barata y no produce residuos
- La tecnología necesaria para instalarla es sencilla
- Los espacios ocupados pueden permitir la actividad agrícola

Inconvenientes:

- Repercute sobre la fauna y la flora
- Impacto visual
- Ruido
- Interferencias en los medios de comunicaciones

2.2.1.6. Energía Geotérmica

Es la que se encuentra en el interior de la tierra en forma de calor, como resultado de:

- La desintegración de elementos radioactivos.
- El calor permanente que se originó en los primeros momentos de formación del planeta.

Se manifiesta por medio de procesos geológicos como volcanes, géiseres que expulsan agua caliente y las aguas termales. A partir de una profundidad aproximada de dos metros, la temperatura de la Tierra no sufre cambios bruscos. Este efecto es aprovechado para fines térmicos en sistemas basados en bomba de calor, captando la energía mediante una red de tubos enterrados en el plano horizontal, o bien mediante una captación en vertical a profundidades mayores. La conversión de la energía geotérmica en electricidad consiste en la utilización de un vapor, que pasa a través de una turbina que está conectada a un generador que produce la electricidad. El principal problema es la corrosión de las tuberías que transportan el agua caliente.

Usos

- **Balnearios:** aguas termales que tienen aplicaciones para la salud
- **Calefacción y agua caliente**
- **Electricidad**
- **Extracción de minerales:** Se obtiene de los manantiales de azufre, sal común, amoníaco, metano y ácido sulfhídrico
- **Agricultura y acuicultura:** para invernaderos y criaderos de peces

Ventajas:

- No existen variaciones de temperatura importantes en el foco de captación de energía
- Los residuos que producen son mínimos y de poco impacto ambiental

Inconvenientes:

- Emisión de ácido sulfhídrico que en grandes cantidades puede ser letal
- Emisiones de CO₂ que aumenta en efecto invernadero
- Contaminación de aguas próximas
- Contaminación térmica
- Deterioro del paisaje
- No se puede transportar

2.2.1.7. Energía de la Biomasa

La fuente de la biomasa son las plantas, que necesitan del sol para poder realizar la fotosíntesis. Es la energía renovable con mayor potencial, ya que la fotosíntesis permite convertir la energía solar en materia orgánica de la que se obtienen combustibles, ver tabla 2.2.1.7.

Combustibles	
A partir de:	Se obtiene:
Aceites	Sustitutivos del diésel
Alcoholes	Sustitutivos de la gasolina
Plantas de digestión de residuos	Biogás
Madera	Combustible para calefacción

Tabla 2.2.1.7: Combustibles obtenidos a partir de biomasa. **Fuente:** Elaboración propia

Actualmente se estudian también ciertas especies vegetales que permiten realizar cultivos energéticos, es decir, las cosechas estarán destinadas a su uso energético. Incluso se estudia el aprovechamiento de las algas marinas.

A este grupo de las energías renovables (Energía de la biomasa) pertenece el presente proyecto.

2.3.Situación energética en Centro América

El consumo de energía mundial está basado en combustibles fósiles. Según datos de la Agencia de Energía, en el año 2014, alrededor de un 14.1% del total de la energía primaria producida a

nivel mundial provino de fuentes renovables, sin embargo, otras fuentes indican que puede alcanzar hasta un 20%. En cuanto a la producción de electricidad, alrededor de un 78% proviene de combustibles fósiles y nucleares y un 23% de fuentes renovables, en su mayoría procedentes de plantas hidroeléctricas (17%). La participación de fuentes como eólica, geotérmica y solar para generar electricidad, se realiza a una escala todavía incipiente (6.3%). Según datos de OLADE, América Latina y el Caribe tienen un potencial para producir electricidad con fuentes renovables que supera la demanda esperada para el año 2050. A pesar de que un alto porcentaje de los países de la región tienen un índice de renovabilidad de generación eléctrica superior al 80%, el promedio de la región apenas sobrepasa el 50% y algunos países, ni siquiera alcanzan el 10%. A su vez, alrededor de la mitad de los países cuentan con una cobertura eléctrica superior al 95% y la mayoría están sobre el 75%, solamente dos países tienen coberturas eléctricas muy bajas. Además, en la región, alrededor de 22 millones de personas no cuentan con servicio eléctrico.

2.4. Situación energética en República Dominicana

La República Dominicana tradicionalmente ha sobrellevado una imperecedera crisis energética que se resume en la constante interrupción del servicio, así como en considerables pérdidas, incluyendo robo de electricidad a través de conexiones ilícitas, causando a su vez elevadas tarifas minoristas para cubrir estas ineficiencias, y provocando una significativa carga fiscal para el gobierno a través de subsidios directos e indirectos, además de altos costos para los consumidores, debido a que muchos de ellos dependen de una electricidad alternativa autogenerada que resulta muy costosa.

Respecto de la estructura del sector eléctrico en el país, el suministro del servicio tradicionalmente descansó en el Estado, sin embargo, desde finales de los 90, cuando se materializó un proceso de reestructuración de las empresas públicas, las funciones de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica pasaron a estar a cargo de empresas privadas. Esta reestructuración nace precisamente para combatir la enraizada crisis del sector. Sin embargo, a pesar del flujo ascendente de inversión extranjera directa al sector, no ha sido suficiente frente al escenario supra-indicado. Según los Informes de Resultados sobre la Economía Dominicana elaborados por el Banco Central cada cierre de año, en el año 2013 el sector atrajo un significativo importe de US\$449.6 millones, mientras que en el año 2012 el sector generó US\$304.5 millones, frente a los US\$258.8 millones que produjo durante el año 2011, suponiendo así, un incremento de US\$107.6 millones en sólo dos años, una grata noticia, debido a que la economía dominicana se ve lacerada por la deficiencia de esta industria y resulta en consecuencia necesario atraer inversión como un mecanismo para impulsarla.

No obstante, persiste el alto costo al que las empresas adquieren la energía antes de distribuirla. Durante el año 2013, el 55% de la energía comprada por las Empresas Distribuidoras de Electricidad y la Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas Estatales (CDEEE) se adquirió

al precio más caro del mercado, oscilando entre 22.3 y 25.4 centavos de dólar por kilovatio, según datos ofrecidos por el Director de Distribución y Reducción de Pérdidas de la CDEEE. Esta situación se debe a que la producción de energía en nuestro país depende fundamentalmente de generadores eléctricos de gasoil, gas y otros combustibles fósiles (energía convencional), lo cual resulta muy costoso para cualquier país del mundo. Muchos expertos coinciden en que el costo energético en la República Dominicana es uno de los más elevados de los países del Caribe y América. Utilizando palabras textuales citadas en la "Propuesta de Solución Integral" presentada por la firma Grant Thornton International, "cualquier solución que no sitúe la tarifa eléctrica por debajo de los 9 centavos de dólar no es sostenible a largo plazo".

En adición, la demanda de energía eléctrica se incrementa a una gran velocidad, debido a que el país está creciendo significativamente desde el punto de vista demográfico. Según la Comisión Nacional de Energía (CNE), al año 2030, la demanda energética se duplicará, y que de 13 Gigavatios por hora (GW/h) pasará a 24 GW/h. En ese sentido, es vital que el Estado tome las medidas necesarias para garantizar este servicio a largo plazo, y así mejorar las oportunidades de desarrollo de la población.

La Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas Estatales (CDEEE) presentó, en conjunto con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), un informe que muestra a República Dominicana como el país con más apagones por mes en América Latina y el Caribe, y con mayor dependencia de generación eléctrica a partir de los derivados del petróleo, un 52%.

El asesor técnico del BID Ramón Espinasa, autor del informe "Iluminando el Futuro: Electricidad en Centroamérica y República Dominicana (CARD) en el 2040", presentado en la CDEEE, entiende que la situación energética local es más un problema de transmisión y distribución que de generación. Espinasa destaca que República Dominicana consume más energía que los demás países de Centroamérica, no obstante, está dentro de las naciones donde el servicio es más costoso, ubicado en la posición 10 de 25 países.

Explica que el país ha mejorado su calidad de generación eléctrica en comparación con las décadas de los 80 y 90, cuando el 89% de la electricidad dependía de los derivados del petróleo, porcentaje que ha sido reducido a un 52%.

Actualmente un 21% de la electricidad es a base de gas natural, 13% de carbón, un 9% hidroeléctrica, y un 5% eólica. En ese sentido, sugiere que para abastecer la demanda de electricidad en el 2040, el país debe invertir anualmente entre US\$1,400 y US\$1,600 millones en el sector.

2.5. Problemática de los Residuos Sólidos Urbanos en República Dominicana

La gestión de los residuos sólidos es un proceso que comprende su recogida, transporte, tratamiento, reciclaje y eliminación. A través de los años, la disposición final de los residuos sólidos ha sido motivo de preocupación, tanto del Gobierno Central como de los gobiernos locales, debido a la contaminación que producen los desperdicios en las vías públicas producto de la falta de regularidad en su recogida, la falta de educación ciudadana para clasificar los desperdicios según su naturaleza, la ausencia de un sistema de clasificación y reciclaje de los residuos en los vertederos y rellenos sanitarios, así como la falta de políticas públicas sostenidas en el tiempo que ayuden a resolver el problema de la basura, convirtiéndola en materia prima y fuente de riqueza.

En el año 2000 se promulgó la Ley General núm. 64-00, sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales, y varios años después, en el 2007 la ley núm. 176-07, del Distrito Nacional y los Municipios. Esta última ley estableció varias competencias relacionadas con la preservación del medio ambiente y la gestión de los residuos sólidos, tales como normar y gestionar el uso de las áreas verdes, la higiene y salubridad públicas, así como la limpieza y el ornato público, al igual que la recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos (art. núm. 19).

Al parecer, por inobservancia parcial de la Ley núm. 3455-52, sobre la Organización y Administración de los Municipios (ya derogada), malas prácticas de la mayoría de los ayuntamientos y el control muy centralizado que ejerció el Gobierno Nacional hasta finales de la década de los años 90, en la mayoría de los municipios y en el Gran Santo Domingo (que hasta 2002 era la capital de la República, Santo Domingo de Guzmán o Distrito Nacional), estos servicios los asumía, total o parcialmente, el Poder Ejecutivo (De los Santos, 2012).

El artículo 3 de la Ley núm. 166-03 estableció en 10 % el monto que deben recibir los ayuntamientos como partida del presupuesto de ingresos y gastos públicos del Estado, pero este porcentaje nunca ha sido entregado completo. En consecuencia, los ayuntamientos se valen de otras formas de ingresos establecidas por las leyes, tales como los cobros por la recolección de los residuos, el uso de espacio público, vallas publicitarias, edificaciones y uso de suelo, entre otras.

En suelo dominicano se han identificado 348 botaderos de basura y tres vertederos semi controlados, los cuales reciben una producción global diaria de 7,891 toneladas de residuos a cielo abierto, según estudios realizados por el Programa de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en inglés *United States Agency for International Development*) para la Protección Ambiental (USAID, 2011).

Un diagnóstico realizado en 2012 por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales con el apoyo de la Federación Dominicana de Municipios, el Consejo Nacional de la Reforma del Estado (CONARE) y la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GIZ, por sus siglas en alemán *Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit*) localizó –con un sistema GPS– 237 vertederos de unos 354 que para ese año calcularon en todo el país. Si se divide la superficie del país, 48,442 km², entre los 354 vertederos, el resultado es un vertedero por cada 136 km², una cantidad muy elevada para un país insular y de superficie reducida (Alcántara, 2012).

De todos los vertederos identificados en el territorio nacional, el de Duquesa es el más grande: recibe un promedio de 4,000 toneladas de basura diariamente, provenientes del Distrito Nacional, el Gran Santo Domingo (Santo Domingo Este, Santo Domingo Norte, Santo Domingo Oeste), Los Alcarrizos, Pedro Brand y los distritos municipales Palmarejo-Villa Linda, Pantoja y La Guáyiga.

2.5.1. Enfoque medioambiental, social y económico

En 2017 se realizó un informe sobre las consecuencias ambientales y de salud de las actividades del vertedero de Duquesa en un documento estructurado a partir de los resultados de unas encuestas aplicada con el objetivo de conocer las opiniones sobre la existencia o no de consecuencias ambientales y de salud de las comunidades ubicadas en un radio de tres kilómetros a partir del perímetro del vertedero.

El estudio se aplicó a 125 hogares elegidos de forma aleatoria y ordenados en dos grupos de datos, las comunidades que se localizan en un radio menos a los dos kilómetros del vertedero y las que se encuentran entre los kilómetros dos y tres. Los resultados verifican que la mayoría de los hogares afirman que el vertedero de Duquesa contamina el entorno de su residencia impactando su salud, también identifican cuales son las principales consecuencias ambientales y establecen consensos sobre la necesidad de dar un tratamiento correcto a los residuos.

El autor además reporta que siendo Duquesa un vertedero a cielo abierto y con pocas medidas de control, se convierte en un foco de problemas para la salud, entre los que se destacan:

- Presencia de gérmenes patógenos
- Proliferación de insectos y roedores
- Degradación estética del paisaje
- Emisiones de olores nauseabundos
- Producción y mal manejo de lixiviados
- Gran producción de gases de efecto invernadero
- Deterioro de la calidad del aire, suelo y de las aguas superficiales y subterráneas
- Entre otros riesgos derivados para la salud pública.

Recientemente, el Ministerio de Salud Pública publicó una advertencia sobre los problemas de contaminación en el Gran Santo Domingo por el manejo inadecuado del vertedero de Duquesa.

El gráfico 2.5.1a muestra los resultados con relación a las repercusiones ambientales de las actividades de Duquesa, se puede apreciar que la percepción de las personas hasta en un perímetro de tres kilómetros, es que las actividades del vertedero contaminan, donde el 83,9% de los hogares localizados en un radio menor de dos kilómetros afirman que tales operaciones contaminan, en tanto que los residentes ubicados a más de dos y menos de tres kilómetros, solo el 77.2% consideran esto como cierto; mientras que en el 2.5.1b se muestran los resultados con relación a la percepción de malos olores producto de los desechos acumulados en el vertedero y su alcance,

donde el 83,9% de los hogares afirman se perciben los malos olores provenientes del vertedero en las comunidades a un radio de dos kilómetros de distancia, en tanto que en las comunidades localizadas entre el kilómetro dos y tres, el 78,6% los percibe.

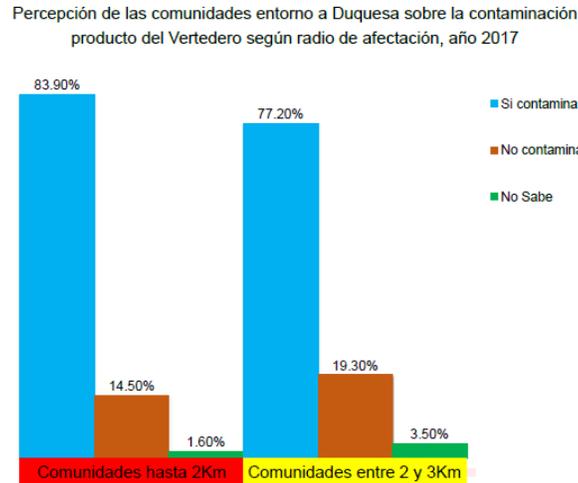


Grafico 2.5.1a: Resultados de los encuestados acerca de la contaminación. **Fuente:** Observatorio Municipal de la Liga Municipal Dominicana



Grafico 2.5.1b: Resultados de los encuestados con relación a la percepción de malos olores. **Fuente:** Observatorio Municipal de la Liga Municipal Dominicana

Las personas residentes en las zonas más cercanas al vertedero de Duquesa se quejan del mal estado en que se encuentran las calles de la comunidad, y en cierta manera demandan de los administradores del vertedero que se encarguen de la adecuación de las vías de acceso.

Un gran número de los residentes en la comunidad de los Casabes han expresado que, en muchas ocasiones como consecuencia de las imprudencias de los encargados de conducir los camiones recolectores de basura, y su exceso de velocidad, han generado accidentes lamentables donde niños han perdido la vida. En conversación con uno de los comunitarios de este sector, refería la penosa situación de que personas en la comunidad compraban a camiones que se dirigían al vertedero

alimentos no apto para el consumo, y posteriormente vendían dichos productos en la misma comunidad lo que provocaba que familias se intoxicaran al ingerirlo. Practica que al parecer aún se realiza porque de esa forma se pueden conseguir alimentos a muy bajo precio. De igual modo reportaron los olores tóxicos en ocasiones producto de la incineración de cobre y otros metales extraídos en el vertedero sin ningún tipo de control y proceso, para su posterior comercialización, expresaban que podían ser inaguantable la respiración lo que también induce hacia enfermedades respiratorias.

Otra situación que se da según los comunitarios es el hecho de que una gran cantidad de mujeres, producto del trabajo que realizan los buzos en el vertedero, compraban las ropas que estos lograban sacar para posteriormente venderlas en la pulga (mercadillo) que se realiza los domingos en otros puntos de la ciudad.

Fue muy fácil identificar como una ocupación muy arraigada en las mujeres, especialmente aquellas que son madres solteras, es la de ir al vertedero y venderles comida y agua a los buzos. En las primeras horas de la mañana se pueden ver estas mujeres colocarse fuera de sus casas con canastas de alimentos, a la espera de que alguien las lleve hacia el vertedero para distribuir sus productos y así obtener su sustento.

Lo cierto es que, aunque para muchos el vertedero representa un problema significativo, que atenta contra su salud, tranquilidad y calidad de vida, para otros representa una fuente de ingresos, y en algunos casos exclusiva, es decir que hay familias cuyo único sustento proviene de los beneficios que puede obtener, por lo regular el padre, de las actividades que realiza dentro del vertedero.

2.6. El Biogás

El biogás es el nombre popularmente utilizado para denotar la mezcla inflamable de gases que se generan cuando el material orgánico se descompone anaeróticamente, la mezcla contiene 40-70% (generalmente 55-65%) de metano, dióxido de carbono y trazas de otros gases. El biogás tiene un buen poder calorífico y puede usarse directamente como combustible o utilizarse indirectamente para generar electricidad.

Cuando la materia orgánica -como alimentos, restos de plantas, estiércol animal, lodo de alcantarillado, porciones biodegradables de desechos sólidos municipales, etc.- sufre descomposición en ausencia de oxígeno libre, normalmente genera un gas que consiste en 40-70% de metano, el resto es principalmente dióxido de carbono con restos de otros gases. si se enciende, este gas se quema limpiamente (es decir, no emite hollín o mal olor) similar al gas licuado de petróleo (GLP) o al gas natural comprimido (GNC). Este gas se llama comúnmente biogás, que es un término inexacto e impreciso porque el gas que se produce por la descomposición aeróbica (dióxido de carbón) también es biogás en el sentido de que también es un resultado de la biodegradación al igual que otros biogás.

Pero la palabra biogás ha llegado a usarse exclusivamente para denotar la mezcla combustible de CH₄-CO₂ (además de las huellas de otros gases) que se genera por la descomposición anaeróbica de la materia orgánica.

El biogás tiene un buen poder calorífico, aunque menor que el GLP y el GNC, ver tabla 2.6.

Debe mencionarse que la mezcla de CH₄ y CO₂ no es el único gas posible por la degradación anaeróbica de la materia orgánica, de los dos, el metano se produce solo si las bacterias metanogénicas están involucradas en la descomposición anaeróbica, bajo diferentes condiciones, y con otras especies de microorganismos anaeróbicos, se pueden generar gases como el hidrógeno y el sulfuro de hidrógeno en lugar de metano. Las bacterias metanogénicas se encuentran comúnmente en la naturaleza y en la mayoría de los casos, la digestión anaeróbica da como resultado la generación de la mezcla predominantemente CH₄ - CO₂ que se conoce ampliamente como biogás.

Combustible	Poder calorífico (aproximado)
Gas Natural	8.600 kcal m ⁻³
Gas Licuado de petróleo (GLP)	10.800 kcal kg ⁻¹
Queroseno	10.300 kcal kg ⁻¹
Gasóleo	10.700 kcal kg ⁻¹
Biogás	5.000 kcal m ⁻³

Tabla 2.6 Comparación del poder calorífico de varios combustibles (MNRE 2011)

Desde los primeros años del siglo XX, los países en desarrollo, especialmente China y la India, habían reconocido el valor de obtener biogás a partir del estiércol animal como fuente de energía para los pobres de las zonas rurales. Desde la década de 1950 en adelante, estos países han realizado esfuerzos particularmente importantes para popularizar el uso de plantas de biogás. Pero hasta la estrella de la década de 1970, los países desarrollados habían prestado poca atención al uso del biogás que se generaba en el curso del tratamiento anaeróbico que llevaban a cabo de aguas residuales, estiércol animal, desechos de alta resistencia, etc., porque en los países desarrollados esa vez, la energía proveniente de combustibles fósiles y otras fuentes convencionales era abundante y barata. Con bastante frecuencia, el biogás generado a partir de digestores anaeróbicos simplemente se quemó. Además, el tratamiento de aguas residuales se basa principalmente en procesos aeróbicos que consumen una gran cantidad de energía, pero no generan ninguno. Esta situación comenzó a cambiar lentamente después de las crisis del petróleo de 1969 y 1973. Se hicieron más intentos que antes para pasar a procesos anaeróbicos en la medida de lo posible y también para usar el metano que se generó.

Se desarrollaron varios reactores anaeróbicos de alta velocidad para sortear la principal deficiencia -la lentitud- de los digestores anaeróbicos convencionales, en un esfuerzo por tratar grandes cantidades de aguas residuales con procesos anaeróbicos.

2.6.1. Medios de obtención de Biogás

2.6.1.1 Biogás a partir de aguas residuales

Según la EPA de EE. UU., la industria de tratamiento de aguas residuales utiliza el equivalente a 56 mil millones de kWh de electricidad por año, o alrededor del 3% del consumo total de los EE. UU. Además, la industria es responsable de emitir 26.7 MMTCO₂E de metano por año.

La mayoría de las grandes instalaciones de tratamiento de aguas residuales (que procesan más de cinco millones de galones por día) ya usan la digestión anaeróbica como un paso en el proceso de limpieza. El biogás liberado de este proceso (que contiene entre un 60% y un 95% de metano) puede capturarse y utilizarse para la generación de electricidad y calor. Sin embargo, la mayoría de las instalaciones de hoy simplemente destellan el gas. De las aproximadamente 1000 instalaciones grandes actualmente en operación, solo 106 están actualmente usando biogás para generación de calor o energía. De éstas, 76 plantas usan el biogás tanto para calor como para energía, generando 220.1 MW de electricidad, mientras que, del restante solo 30 producen calor o energía.

2.6.1.2 La captura de metano de las aguas residuales tiene sentido económico

Si bien el costo de la captura de biogás a partir de aguas residuales puede variar ampliamente según la tecnología utilizada, la cantidad de aguas residuales tratadas y el equipo actual de captura de metano, muchas plantas han demostrado la capacidad de compensar el capital.

Cuesta completamente a través de los ingresos y ahorros de la generación de calor y electricidad. De acuerdo con la EPA, es posible producir electricidad por tan solo \$ 0.038 por kWh²⁵ asumiendo un horizonte de amortización de capital de 20 años. Esto se compara favorablemente con las tarifas eléctricas nacionales que oscilan entre \$ 0.057 y \$ 0.228 por kWh.

2.6.1.3 Biogás a partir de la agricultura

La mayoría de las granjas de hoy en día manejan el estiércol en sistemas de base líquida, donde la digestión anaeróbica ocurre naturalmente. Pero en la actualidad, muy pocas granjas capturan y usan el metano que se emite. Existen tres tipos de sistemas de digestión para capturar biogás.

Laguna cubierta: una laguna de tierra cubierta recolecta pasivamente biogás, ya que se produce a partir del estiércol líquido. Más apropiado para desechos con un contenido de sólidos de 0.5-3.0%.

Digestor de mezcla completo: Un tanque calefactado hecho de concreto reforzado o acero con una cubierta hermética. Los contenidos se mezclan periódicamente con un impulsor accionado por motor o una bomba. Apropiado para estiércol en suspensión con un contenido de sólidos de 3-10%.

Digestor de flujo enchufable: Un tanque calefactado largo y angosto, generalmente construido bajo el nivel del suelo y provisto de una cubierta hermética a los gases. Solo se usa para estiércol de leche con un contenido de sólidos de 11-13%.

Además del estiércol, los digestores anaeróbicos pueden utilizarse para procesar otras variedades de biomasa separada. Si bien el compostaje también es una opción para gran parte de este material, la digestión anaeróbica puede servir como una alternativa de bajo costo que reduce las emisiones dañinas al mismo tiempo que captura energía. Una vez que el biogás se captura de los digestores, se bombea a una instalación de procesamiento central y se refina, se usa para calentar o electricidad, o se quema. Mientras tanto, el efluente sólido se puede utilizar como una enmienda del suelo.

2.6.1.4 Captura desde vertedero

La digestión anaeróbica ocurre naturalmente dentro de los vertederos debido a la presencia de grandes cantidades de desechos orgánicos y la escasez de oxígeno. Esto emite un biogás normalmente compuesto de metano, dióxido de carbono y pequeñas cantidades de otros gases. Para conseguir este gas, los operadores de vertederos perforan una serie de pozos en el vertedero, recolectando entre 60% y 90% del biogás. Luego, el gas se bombea a una instalación de procesamiento central donde puede ser acampanado, refinado o utilizado para generar calor o electricidad. Aunque una serie de productos de alto valor, como el compost y otras enmiendas del suelo, actualmente se fabrican a partir de material orgánico residual, cantidades significativas de material orgánico aún terminan en vertederos. La captura del biogás resultante es una forma limpia y de bajo costo de reducir las emisiones de metano mientras se genera una fuente confiable de energía. Además, el biogás se puede capturar durante el proceso de compostaje, agregando valor adicional al producto.

A partir de diciembre de 2008, hay 485 proyectos para recolectar gas de vertedero, existentes en 43 estados. Estos proyectos suministran 12 mil millones de kWh de electricidad por año y 255 mil millones de pies cúbicos por día de biogás para el espacio comercial y residencial y el calentamiento de agua lo suficiente como para abastecer a 870,000 hogares y calentar 534,000 adicionales. La captura y uso del gas de vertedero reduce las emisiones de gases de efecto invernadero en una cantidad equivalente a sacar 22 millones de automóviles de la carretera.

De acuerdo con el Programa de Alcance del Metano del Relleno Sanitario de EPA (LMOP), aproximadamente 520 vertederos son candidatos fuertes para un nuevo proyecto de gas de vertedero (de un total nacional de 2300). Para ser considerado, un relleno sanitario debe contener un mínimo de un millón de toneladas de desechos, aceptar residuos actualmente o haber estado cerrado durante cinco años o menos, y no contener un proyecto de gas de vertedero en funcionamiento correcto. Si todos los vertederos candidatos se utilizan para la producción de biogás, la EPA estima que podrían generar suficiente electricidad para alimentar 700,000 hogares adicionales. Debido a que los desechos del vertedero continúan emitiendo metano durante

aproximadamente 100 años, esto podría proporcionar una solución de energía confiable y de largo plazo para las comunidades locales al tiempo que corta una fuente importante de gases de efecto invernadero.

Si bien los costos iniciales de capital para instalar un proyecto de biogás son altos, la EPA estima que los beneficios de la captura de biogás para uso directo pueden superar los costos hasta en un factor de 10. Esto hace que la captura de biogás sea atractiva no solo desde el punto de vista de las emisiones, sino también de uno económico. Con gas de vertedero se puede generar electricidad a un costo tan bajo como \$0.055 por kWh. El atractivo del gas de vertedero desde estos dos puntos de vista ha llevado a un crecimiento exitoso en la industria y una importante caída en las emisiones de metano de los vertederos sobre los niveles de 1990.

2.6.2. Fases de Fermentación anaerobia

La digestión anaeróbica implica la fermentación bacteriana de desechos orgánicos en ausencia de oxígeno libre. La fermentación conduce a la descomposición de compuestos orgánicos biodegradables complejos en un proceso de cuatro etapas., ver diagrama 2.6.2.

1. Las grandes macromoléculas proteicas, las grasas y los polímeros de carbohidratos (como la celulosa y el almidón) se descomponen mediante hidrólisis en aminoácidos, ácidos grasos de cadena larga y azúcares.
2. Estos productos se fermentan luego durante la acidogénesis para formar ácido graso volátil, principalmente ácido láctico, propiónico, butírico y valérico.
3. En la acetogénesis, las bacterias consumen estos productos de fermentación y generan ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno.
4. Los organismos metanogénicos consumen acetato, hidrógeno y parte del dióxido de carbono para producir metano. Los metanógenos utilizan tres rutas bioquímicas para lograr esto: (a) vía acetotrófica ($4\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow 4\text{CO}_2 + 4\text{CH}_4$), (b) vía hidrogenotrófica ($\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$), y (c) vía metilotrófica ($4\text{CH}_3\text{OH} + 6\text{H}_2 \rightarrow 3\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$).

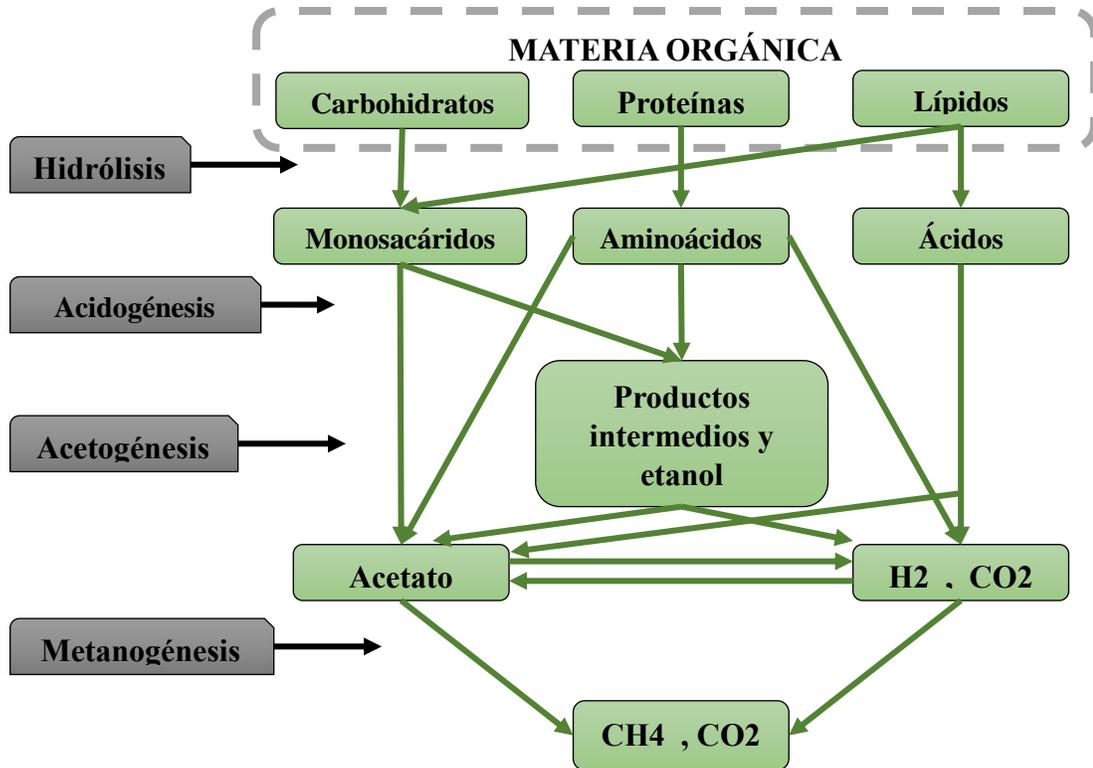


Diagrama 2.6.2 Fases de fermentación anaerobia. Fuente: Elaboración propia.

Teóricamente, el biogás debe contener volúmenes iguales (50-50) de metano y dióxido de carbono, sin embargo, la acetogénesis típicamente produce algo de hidrógeno, y por cada cuatro moles de hidrógeno consumidos por metanógenos hidrogenotróficos, un mol de dióxido de carbono se convierte en metano. Las grasas y las proteínas pueden producir grandes cantidades de hidrógeno, lo que conduce a un mayor contenido típico de metano para estos sustratos. En ciertas condiciones, estas moléculas también pueden convertirse en productos distintos al metano. Por lo tanto, el rendimiento total de biogás y el contenido de metano varía para diferentes sustratos, consorcios biológicos y condiciones del digestor. El contenido de metano del biogás puede variar entre 40-70% (en volumen) pero la mayoría de las veces se encuentra en un rango de 55-65%.

Dondequiera que se genere biogás, ya sea en forma de materia orgánica descomponiéndose en condiciones anaeróbicas al aire libre, o en digestores anaeróbicos cautivos, o en las entrañas de grandes animales rumiantes, o por termitas y otros organismos más pequeños, estos cuatro pasos están involucrados principalmente. Si el proceso se controla adecuadamente en reactores para que continúe de manera óptima según estas etapas, el producto final principal, el biogás, contiene 40-70% (en volumen) de gas metano, el resto es dióxido de carbono y restos de amoníaco, hidrógeno sulfuro e hidrógeno. Este biogás, que es un combustible conveniente y limpio, puede usarse directamente con o sin la eliminación de dióxido de carbono o puede convertirse en electricidad con la ayuda de generadores adecuados. Se puede usar una amplia variedad de sustratos para generar biogás.

Tres grupos fisiológicos de bacterias están involucrados en la conversión anaeróbica de materiales orgánicos. Como se ilustra en la figura 1, el primer grupo de bacterias hidrolizadoras y

fermentadoras convierte materiales orgánicos complejos, como carbohidratos, proteínas y lípidos, en ácidos grasos, alcoholes, dióxido de carbono, amoníaco e hidrógeno. El segundo grupo de bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno convierte el producto del primer grupo en hidrógeno, dióxido de carbono y ácido acético. El tercer grupo, a su vez, consiste en dos grupos fisiológicamente diferentes de bacterias formadoras de metano, uno que convierte el hidrógeno y el dióxido de carbono en metano, y el otro forma metano de la descarboxilación del acetato.

2.6.3. Factores con influencia en la producción de biogás

El biogás se genera como resultado de reacciones físicas, químicas y microbianas que ocurren dentro de los rellenos sanitarios, debido a la naturaleza orgánica de gran parte de los residuos, el proceso microbiano gobierna la producción de biogás. Estos procesos son sensibles al medio en que se desarrollan, por lo que existe una serie de condiciones naturales y artificiales que determinan la población microbiana y, en consecuencia, la producción de biogás. Es importante mencionar que el biogás se origina en condiciones anaeróbicas, por lo que cualquier circunstancia que cambie el proceso a una condición aeróbica, influirá en la creación de biogás.

A continuación, se describe el efecto de cada uno de los elementos.

Composición de residuos: Es el factor más importante, pues el máximo potencial de generación de biogás depende del porcentaje de residuos orgánicos sobre el total, además del tipo de desecho orgánico, pues estos son la fuente de producción de biogás.

Densidad de residuos y tamaño de las partículas: Esto afecta el transporte de nutrientes y humedad en el relleno, la presencia de partículas pequeñas favorece el transporte, lo que aumenta la tasa de formación de biogás.

Temperatura: La temperatura de un relleno sanitario es mayor que la ambiental, debido a que ocurren reacciones exotérmicas en su interior. De este modo, influencia el tipo de bacteria que es predominante y, en consecuencia, la tasa de generación de biogás. Se observa que a bajas temperaturas disminuye la tasa, de modo que los rellenos sanitarios poco profundos, al verse su temperatura afectada mucho más por variaciones estacionales, presentan cambios significativos en la tasa de producción de biogás. El rango óptimo para la existencia de bacterias anaeróbicas es de 30°C a 41°C. En rellenos sanitarios con temperaturas bajo los 10°C hay una drástica caída en la actividad de dichas bacterias.

Humedad: Esta puede variar mucho en distintas zonas del relleno sanitario. Bajos índices de humedad limitan la descomposición de los residuos y, por lo tanto, restringen la producción de biogás. El contenido óptimo de humedad para la producción de biogás es de 50% a 60%. El contenido de metano del biogás aumenta también con la humedad, sin embargo, altos contenidos de este crean problemas con el sistema de captación, inundando las chimeneas. En Chile los RSU tienen un contenido promedio de humedad entre 45% y 55%.

pH y nutrientes: La generación de metano en rellenos sanitarios es máxima cuando existen condiciones de pH neutro. El pH tiene un profundo efecto en la actividad biológica, así, por ejemplo, un pH bajo 6.0 es considerado perjudicial para las bacterias metanogénicas. El pH óptimo durante la formación de metano es en el rango de 6.5 a 8.0. El ecosistema anaeróbico necesita de una serie de nutrientes, entre los que destacan el nitrógeno y fósforo, siendo este último el que tiene mayor posibilidad de escasear.

Condiciones atmosféricas: Es importante considerar las condiciones atmosféricas, especialmente las precipitaciones. La topografía de la zona es clave, puesto que no son deseables pendientes pronunciadas por el efecto erosional que se produce junto con las lluvias. Las precipitaciones son la mayor fuente de humedad para un relleno sanitario, que además de contribuir a la producción de biogás, favorecen la “impermeabilización” del terreno impidiendo el ingreso de aire por grietas.

Cobertura: El recubrimiento diario tiene una serie de efectos en el relleno sanitario, ya que evita el contacto de los desechos con el oxígeno, permitiendo que se consigan condiciones anaeróbicas, además reduce la entrada de aguas lluvias. Que los residuos sean o no cubiertos diariamente determinará el tipo de reacción biológica que tendrá lugar en el relleno sanitario. Una producción óptima requiere condiciones anaeróbicas y, por lo tanto, recubrimiento diario. El espesor debe impedir que la temperatura de la basura se vea afectada por las condiciones meteorológicas y obstaculizar el ingreso del aire.

Edad de los residuos: Una vez que las condiciones anaeróbicas se establecen, la generación de biogás es significativa durante 10 a 20 años. Los rellenos sanitarios con varias décadas tienen menos probabilidad de producir grandes cantidades de biogás, pues la mayor parte de las descomposiciones biológicas ya han ocurrido. La producción de biogás no es constante a lo largo del tiempo. Se considera que los gases se emiten en cinco fases secuenciales, que serán descritas en la siguiente sección.

2.7. Otras alternativas posibles de aprovechamiento de RSU

El biogás todavía enfrenta una serie de barreras para el uso acelerado. Entre los más importantes están los altos costos de capital iniciales, la falta de financiamiento, las barreras a la interconexión con las redes eléctricas y de gas de los servicios públicos y los reguladores, la falta de un precio garantizado de calor y energía y las barreras regulatorias estatales y locales. Establecer una ambiciosa norma nacional de energía renovable (que incluye estándares para el calor y la energía renovables) y/o un precio en firme sobre el carbono de los combustibles fósiles a través de un impuesto al carbono podría ser clave para superar muchas de estas barreras y acelerar el biogás captura y utilización.

Si se implementaran todos los proyectos de biogás y agricultura que la EPA considera factibles, Estados Unidos podría reducir sus emisiones de metano en hasta 102.3 MMTCO₂E, o el

equivalente a retirar más de 19.8 millones de automóviles de la carretera. Reducir la producción de metano de las aguas residuales en solo un 10% podría reducir las emisiones de GEI en el equivalente a otros 500,000 automóviles. Si bien la captura de biogás ya es competitiva en algunas regiones con altos precios de electricidad o calefacción, se podría crear un camino mucho más rápido para el despliegue generalizado de la tecnología con una política federal solidaria que cree un entorno empresarial estable y reconozca el papel esencial del biogás en la creación una fuente de energía limpia, confiable y baja en carbono.

2.7.1. Incineración

La incineración ha sido históricamente el primer sistema para aprovechar la energía contenida en los residuos. Esa incineración es una combustión controlada en la que el elemento combustible es el propio residuo. En ese proceso se produce un gran desprendimiento de calor, generalmente suficiente como para mantener la reacción de combustión.

Desde el punto de vista químico, toda combustión es un conjunto de reacciones de oxidación que tiene lugar, preferentemente, en fase gaseosa y por mecanismos de radicales libres, lo que conduce a la recombinación de las diferentes especies químicas presentes. Previamente existen otros mecanismos de gasificación y vaporización de los compuestos volátiles, preferentemente orgánicos. Las reacciones de oxidación y de destrucción térmica originan la formación de moléculas sencillas, como el CO₂ y H₂O, NO_x etc., que son los componentes mayoritarios de los gases de la combustión, junto con el nitrógeno atmosférico.

Un elemento importante en el tipo de proceso térmico, y en los resultados de este, es la cantidad de oxígeno presente, en relación con las necesidades estequiométricas (cantidad de oxígeno necesario para que se realice la combustión). Ver imagen 2.7.1

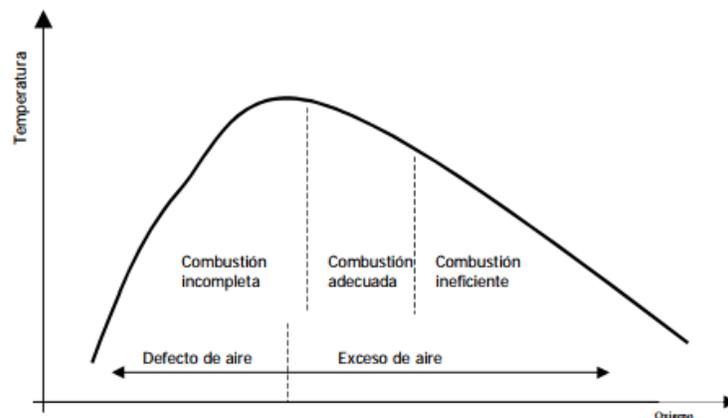


Imagen 2.7.1 Demanda de oxígeno para la combustión. **Fuente:** Guía sobre gestión energética municipal

El proceso clásico de incineración es en la actualidad el tratamiento más usual de destrucción térmica de los RSU, y consiste en un proceso de combustión en medio oxidante a una temperatura de 850-1100 °C, con objeto de destruir los componentes peligrosos de los residuos, reduciendo

simultáneamente de forma importante su peso y su volumen. Con la incineración se pueden alcanzar porcentajes de reducción del 90% en volumen y del 65% en peso.

La eficacia de la incineración como forma de tratamiento de residuos descansa fundamentalmente en la posibilidad de realizar las diferentes reacciones químicas de forma que los productos de reacción sean moléculas sencillas y se minimice la formación de productos de combustión incompleta, ya que estos suelen tener características tóxicas y son un índice de que la reacción no se ha llevado a cabo de forma controlada.

Cabe señalar que la incineración puede realizarse en dos tipos de instalaciones:

Las diseñadas específicamente para la destrucción de residuos, con o sin recuperación de energía. En estas el objetivo fundamental es la destrucción de los residuos; la recuperación de energía debe considerarse como un objetivo secundario, aunque, de acuerdo con la Directiva, la recuperación energética deberá aplicarse siempre que sea posible.

Otras instalaciones diseñadas para otros fines pero que, por sus características, son susceptibles de ser usadas en el tratamiento de residuos. Para estas instalaciones, el tratamiento de residuos persigue la reducción del coste energético de otras producciones, mediante la sustitución de combustibles tradicionales por residuos.

2.7.2. Otras alternativas

Entre los principales sistemas de aprovechamiento energético de los residuos sólidos urbanos, además de la incineración antes descrita, se pueden citar los siguientes:

- **Incineración con recuperación de energía**
- **Co-incineración en procesos industriales a altas temperaturas**
- **Biometanización**
- **Desgasificación de vertederos**
- **Procesos basados en la generación de plasma**
- **Incineración catalítica**
- **Gasificación**
- **Pirolisis**
- **Termólisis**
- **Incineración electroquímica**

2.8. Métodos de aprovechamiento de calor en este tipo de proyectos

Al poderse localizar la generación cerca del consumo, se pueden satisfacer las necesidades tanto de potencia eléctrica como de calefacción y ACS. En el caso de generación a altas temperaturas, incluso se podrían emplear para refrigeración mediante equipos de absorción. La generación de electricidad no es un proceso eficiente en las plantas tradicionales; en general solo se convierte una tercera parte de la energía potencial del combustible, y gran parte del subproducto de la generación de electricidad en las plantas eléctricas convencionales es el calor, que sencillamente es liberado a la atmosfera circundante.

Este calor no solo es energía perdida, sino que contribuye con la contaminación y el calentamiento global, y debería ser tratado antes de ser liberado a la atmosfera. El uso de sistemas combinados de calefacción y suministro eléctrico, que permiten generar electricidad y energía térmica utilizando un único sistema integrado, constituye una importante alternativa de futuro para el suministro eléctrico doméstico. Los sistemas integrados presentan una eficiencia total mucho mayor. Las nuevas tecnologías dan la alternativa de aprovechar y reutilizar el calor producido en sistemas de calefacción y refrigeración, utilizando una sola fuente de combustible como el gas natural, o biogás, capturando el calor generado por este proceso.

En estos sistemas, se alcanzan grandes eficiencias gracias a la utilización del calor residual. Para ello usan combustibles como por ejemplo el gas natural. En la mayoría de los casos el calor se convierte en trabajo para generar electricidad mediante un motor de combustión o un motor Stirling. Otra opción es la integración de aerogeneradores a pequeña escala, o el uso de pilas de combustible.

La cogeneración permite una excelente valorización energética del biogás producido en:

- Plantas de depuración de aguas residuales, tanto públicas como en industrias.
- Explotaciones agrícolas y ganaderas.
- Vertederos.

Con cogeneración el biogás se emplea localmente para generar electricidad y calor útil. La electricidad se consume en la propia planta o se exporta para su uso por consumidores cercanos, mientras el calor se aprovecha generalmente en el propio proceso de producción del biogás. En conjunto se obtiene una producción energética de entidad apreciable y de elevado valor a un coste muy reducido, lo que reporta ingresos directos y proporciona autonomía y seguridad frente a la evolución de los precios de la energía.

2.9. Marco legal de República Dominicana aplicable a este tipo de proyectos

En República Dominicana, existen leyes y articulo de leyes enfocados en la conservación, preservación y uso sostenible del medio ambiente y los recursos naturales. En este apartado se citarán algunas de las aplicables a esta investigación, así como algunos párrafos en los cuales se pueden fundamentar la misma.

2.9.1. Ley 64-00 De Medio Ambiente Y Los Recursos Naturales.

Que es misión del Estado impulsar y reglamentar la investigación sobre las condiciones del medio ambiente, los recursos naturales y la diversidad biológica;

Que es un deber patriótico de todos los dominicanos apoyar y participar en cuantas acciones sean necesarias para garantizar la permanencia de nuestros recursos naturales para uso y disfrute de las presentes y futuras generaciones;

Artículo 1.-La presente ley tiene por objeto establecer las normas para la conservación, protección, mejoramiento y restauración del medio ambiente y los recursos naturales, asegurando su uso sostenible.

Artículo 5.-Es responsabilidad del Estado, de la sociedad y de cada habitante del país proteger, conservar, mejorar, restaurar y hacer un uso sostenible de los recursos naturales y del medio ambiente, y eliminar los patrones de producción y consumo no sostenibles.

2.9.2. Norma Para La Gestión Ambiental de Residuos Sólidos No Peligrosos

Esta Norma tiene el objetivo de proteger la salud humana y la calidad de vida de la población, así como promover la preservación y protección del ambiente, estableciendo los lineamientos para la gestión de los residuos sólidos municipales no peligrosos. Especifica los requisitos sanitarios que se cumplirán en el almacenamiento, recolección, transporte y disposición final, así como las disposiciones generales para la reducción, reaprovechamiento y reciclaje.

Esta Norma es de aplicación a todo tipo de residuos sólidos municipales no peligrosos, de observancia general y obligatoria tanto para el sector público como el privado y todos los habitantes del territorio nacional dominicano.

Artículo 3.2. En todas las etapas de la gestión de los residuos sólidos, se observarán los procedimientos técnicos adecuados para la prevención de impactos y garantizar la protección del ambiente, conforme al principio de precaución. Los programas de gestión de residuos sólidos, y de manera particular los proyectos de disposición final, de los ayuntamientos del país serán sometidos a la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales para su evaluación ambiental, de conformidad con lo establecido por la Ley 64-00, esta Norma y sus reglamentos.

Artículo 3.5. La educación, concientización y participación ciudadanas son esenciales a la gestión de residuos. Los ayuntamientos establecerán programas dirigidos a dichos fines para la promoción de conductas de higiene, mantenimiento de la limpieza pública, así como para garantizar el apoyo ciudadano a la gestión y el pago del servicio.

Artículo 5.7.3. Los ayuntamientos, en colaboración con la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la Secretaría de Estado de Salud Pública y Asistencia Social y otras instituciones estatales afines, deberán iniciar programas para el reaprovechamiento y reciclado de residuos.

Artículo 6.1.1. Se prohíbe depositar o arrojar cualquier tipo de residuo sólido en la vía o en áreas públicas, solares, predios vacantes, alcantarillados, pozos y en cualquier otro espacio abierto o cerrado de propiedad estatal, municipal o privada que no haya sido debidamente autorizado para este fin, de conformidad con las leyes y las normas ambientales.

Artículo 6.1.10. Los residuos se pueden destinar:

- Al enterramiento en rellenos sanitarios mediante sistemas que garanticen la prevención de la contaminación del suelo, las aguas superficiales y subterráneas y el aire.
- A la incineración, mediante sistemas previamente sometidos al procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental, que garanticen la prevención de la contaminación del suelo, las aguas superficiales y subterráneas y el aire.

Artículo 6.1.11. Las distancias mínimas para instalar rellenos sanitarios de aeropuertos y asentamientos humanos son las siguientes:

- De 3,000 m (tres mil metros) cuando maniobren aviones de motor a turbina.
- De 1,500 m (mil quinientos metros) cuando maniobren aviones de motor a pistón.
- Deberán estar alejados a una distancia mínima de 1,500 metros, a partir del límite de los asentamientos humanos por servir. En caso de no cumplirse con esta restricción, se debe demostrar que no existirá afectación alguna a dichos centros de población.
- Para todo tipo de facilidades de disposición final se considerarán distancias que impidan accidentes o impactos negativos a obras públicas o privadas. Se incluyen autopistas, ferrocarriles, caminos principales y caminos secundarios, oleoductos, gaseoducto~, poliductos, torres de energía eléctrica, acueductos, etc.

2.9.3. Ley 176-07 del Distrito Nacional y los Municipios

Artículo 19.- Competencias Propias del Ayuntamiento.

El ayuntamiento ejercerá como propias o exclusivas la competencia en los siguientes asuntos:

- Ordenamiento del tránsito de vehículos y personas en las vías urbanas y rurales.
- Normar y gestionar el espacio público, tanto urbano como rural.
- Prevención, extinción de incendios y financiación de las estaciones de bomberos.
- Ordenamiento del territorio, planeamiento urbano, gestión del suelo, ejecución y disciplina urbanística;
- Normar y gestionar el mantenimiento y uso de las áreas verdes, parques y jardines.
- Normar y gestionar la protección de la higiene y salubridad públicas para garantizar el saneamiento ambiental.

- Construcción de infraestructuras y equipamientos urbanos, pavimentación de las vías públicas urbanas, construcción y mantenimiento de caminos rurales, construcción y conservación de aceras, contenes y caminos vecinales.
- Preservación del patrimonio histórico y cultural del municipio.
- Construcción y gestión de mataderos, mercados y ferias.
- Instalación del alumbrado publico
- Limpieza vial
- Construcción y gestión de cementerios y servicios funerarios.
- *Servicios de limpieza y ornato público, recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos.*
- Ordenar y reglamentar el transporte público urbano
- Promoción, fomento y desarrollo económico local.

2.9.4. Ley 1-12 que establece la Estrategia Nacional de Desarrollo 2030

Artículo 5. Visión.- Se aprueba como componente de la Estrategia Nacional de Desarrollo 2030, la siguiente Visión de la Nación de Largo Plazo, la cual se aspira alcanzar para el año 2030: “República Dominicana es un país próspero, donde las personas viven dignamente, apegadas a valores éticos y en el marco de una democracia participativa que garantiza el Estado social y democrático de derecho y promueve la equidad, la igualdad de oportunidades, la justicia social que gestiona y aprovecha sus recursos para desarrollarse de forma innovadora, sostenible y territorialmente equilibrada e integrada y se inserta competitivamente en la economía global”.

Objetivo General 3.2 *Energía confiable, eficiente y ambientalmente sostenible*

Enunciado 3.2.1 *Asegurar un suministro confiable de electricidad, a precios competitivos y en condiciones de sostenibilidad financiera y ambiental.*

Enunciado 3.2.1.1 Impulsar la diversificación del parque de generación eléctrica, con énfasis en la explotación de fuentes renovables y de menor impacto ambiental.

Indicador 4.1 Emisiones de dióxido de carbono Toneladas métricas per cápita

	Línea Base METAS QUINQUENALES				
Año	2010	2015	2020	2025	2030
Valor	3.6	3.4	3.2	3.0	2.8

Tabla 2.8.1.4 Metas quinquenales para las emisiones de CO₂ hasta 2030.

2.9.5. Ley 57-07 sobre Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables de Energía y de sus Regímenes Especiales.

CONSIDERANDO PRIMERO: Que las energías y combustibles renovables representan un potencial para contribuir y propiciar, en gran medida, el impulso del desarrollo económico regional, rural y agroindustrial del país

CONSIDERANDO TERCERO: Que la Ley de Hidrocarburos No.112-00, y su Reglamento, instituye un fondo proveniente del diferencial impositivo a los combustibles fósiles, que se mantendrá en el 5% de dicho diferencial a partir del presente año 2005, para programas de incentivo al desarrollo de fuentes de energía renovables y al ahorro de energía y que estos recursos deberán ser utilizados y optimizados eficiente y transparentemente para los fines previstos;

CONSIDERANDO CUARTO: Que la República Dominicana no dispone de fuentes fósiles conocidas hasta el presente, en volúmenes comercializables, lo que contribuye a aumentar la dependencia externa, tanto en el consumo de combustibles importados y de fuentes no renovables, como en la dependencia tecnológica y financiera en general

CONSIDERANDO QUINTO: Que la República Dominicana es signataria y ha ratificado diferentes convenciones y convenios internacionales, como lo son la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto, donde el país se compromete a realizar acciones en la producción de energías renovables que reducen las emisiones de gases efectos de invernadero, que contribuyen al calentamiento global del planeta

Artículo 2.- Alcance de la ley. La presente ley constituye el marco normativo y regulatorio básico que se ha de aplicar en todo el territorio nacional, para incentivar y regular el desarrollo y la inversión en proyectos que aprovechen cualquier fuente de energía renovable y que procuren acogerse a dichos incentivos.

Artículo 9.- Exención de impuestos. La Comisión Nacional de Energía (CNE) recomendará la exención de todo tipo de impuestos de importación a los equipos, maquinarias y accesorios importados por las empresas o personas individuales, necesarios para la producción de energía de fuentes renovables contemplados en el Párrafo II del presente artículo, que de acuerdo con el reglamento de la presente ley apliquen a los incentivos que ésta crea. La exención será del 100% de dichos impuestos. Este incentivo incluye también la importación de los equipos de transformación, transmisión e interconexión de energía eléctrica al SENI. Para los proyectos basados en fuentes renovables, que cumplan con esta ley. Los equipos y materiales dentro de este capítulo quedan también exentos del pago del Impuesto de Transferencia a los Bienes Industrializados y Servicios (ITBIS) y de todos los impuestos a la venta final.

Artículo 11. Reducción de impuestos al financiamiento externo. Se reduce a 5% el impuesto por concepto de pago de intereses por financiamiento externo establecido en el Artículo 306 del Código Tributario, modificado por la Ley de Reforma Tributaria No.557-05, del 13 de diciembre del 2005, para aquellos proyectos desarrollados bajo el amparo de la presente ley.

Artículo 12. Incentivo fiscal. En función de la tecnología de energías renovables asociada a cada proyecto, se otorga hasta un 75% del costo de la inversión en equipos, como crédito único al impuesto sobre la renta, a los propietarios o inquilinos de viviendas familiares, casas comerciales o industriales que cambien o amplíen para sistemas de fuentes renovables en la provisión de su autoconsumo energético privado y cuyos proyectos hayan sido aprobados por los organismos competentes. Dicho crédito fiscal será descontado en los tres (3) años siguientes al impuesto sobre la renta anual a ser pagado por el beneficiario del mismo en proporción del 33.33%. La Dirección General de Impuestos Internos, requerirá una certificación de la Comisión Nacional de Energía respecto a la autenticidad de dicha solicitud. La CNE y la Dirección General de Impuestos Internos regularán el procedimiento de obtención de este incentivo fiscal.

2.10. Estado del arte

El estado del arte es una compilación de resultados de otras investigaciones que, sobre el tema de investigación escogido, se han realizado. Se trata de establecer qué se ha hecho recientemente sobre el tema seleccionado. Se puede detectar si ya se ha investigado sobre el tema, así determinar cuál es el enfoque que pueda marcar la diferencia entre lo ya investigado y lo próximo a investigar. Al revisar otras investigaciones se puede establecer de qué forma otros investigadores han estudiado el tema. El estado del arte debe ser conclusivo, debe establecer qué se investigó, metodología utilizada y resultados obtenidos. Cuando se trata de un proyecto específico, en el estado del arte también se incluyen “proyectos análogos”, para lo cual se requiere establecer: Nombre del proyecto, lugar del proyecto, autores, determinación del proyecto, criterios de investigación y resultados obtenidos.

2.10.1. Investigaciones Nacionales

2.10.1.1. Valorización de los desechos orgánicos con tecnología apropiada para República Dominicana, 1996.

RESUMEN

La República Dominicana es un país en vías de desarrollo con graves problemas ocasionados por la mala disposición de desechos orgánicos e inorgánicos generados por las actividades domésticas, agropecuarias e industriales. Este estudio se realizó con el objeto de elaborar un plan nacional para:

- Disminuir el uso de carbón vegetal como combustible en zonas rurales y para disminuir el nivel de deforestación;
- Aprovechar los desechos orgánicos en la producción de energía y fertilizantes;
- Reducir la contaminación ambiental y la morbi-mortalidad humana.

La producción nacional de desechos orgánicos es aproximadamente de 1,780,576 t/año de desechos domésticos, de los cuales 890,289 toneladas son de origen orgánico; 7,865 t/año de desechos hospitalarios; 8,709,780 t/año de estiércol; y 9,926,272 t/año agropecuarios.

Las principales técnicas de valorización recomendadas son:

zona rural

- Biodigestores para obtención de biogás y bioabono
- Fabricación de briquetas combustibles y compost
- mientras para la zona urbana; rellenos sanitarios para la obtención de biogás (Santo Domingo)

sector industrial

- Reactores anaeróbicos para aguas residuales obteniendo biogás y briquetas combustibles a partir de desechos agro-industriales.

2.10.1.2. Estudio del plan de manejo integrado de los desechos sólidos en Santo Domingo de Guzmán, Distrito Nacional República Dominicana, 2006.

Objetivos

- Formular un Plan de Manejo Integrado de Desechos Sólidos con el año meta 2015, con el fin de comprender, a través del proceso de formulación del plan, la situación actual del manejo de residuos sólidos a cargo de ADN, y esclarecer las medidas de largo plazo dirigidas al mejoramiento del manejo de residuos sólidos
- Transferir tecnología y conocimientos sobre el manejo de los residuos sólidos al personal de contraparte, a través del trabajo conjunto en la formulación del Plan Maestro, con el fin de apoyar el mejoramiento de la capacidad de ADN en el manejo de residuos sólidos

2.10.2. Antecedentes Internacionales

2.10.2.1. Avances Tecnológicos en la Producción de Biogás: Perspectivas y Retos, 2012

La digestión anaerobia permite generar biogás como forma alternativa de energía, es un método adecuado para el tratamiento y manejo de desechos orgánicos y favorece la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Mucho se habla de la importancia de la ingeniería y diseño de los biodigestores, pero se pierde de vista que esto se trata de una biotecnología, es decir, de un proceso biológico conducido por microorganismos con roles muy específicos, quienes a través de complejas interacciones reducen la materia orgánica hasta metano. En este sentido, un conocimiento adecuado sobre la diversidad microbiana, su funcionamiento, el monitoreo oportuno de la producción de sus metabolitos y una plena comprensión de la relación entre las condiciones ambientales y la expresión de genes, sin duda pueden ofrecer la información necesaria para el óptimo control de los biodigestores. Aún más, el saber y relacionar esta información permite

vislumbrar novedosas estrategias de diseño y supervisión que en un futuro podrán incrementar la recuperación de energía, rentabilidad y viabilidad para ser adaptado ampliamente en economías en desarrollo".

2.11. Propuesta de separación de RSU para fomentar la producción de biogás.

El aprovechamiento de los residuos sólidos para los diferentes usos se da de la mejor forma si estos han sido separados. La separación de los residuos se puede lograr de varias formas que tienen diferentes grados de complejidad y de cooperación ciudadana. Por ejemplo, la separación se puede hacer en el sitio de generación de los residuos, bien sea en los hogares o en las instituciones, lo que se denomina separación en la fuente, en cuyo caso se requiere un alto grado de cooperación y una baja complejidad en la tecnología de separación y que sería de una enorme ayuda para los procesos; o la separación se puede hacer a partir de la basura mezclada, en estaciones especializadas para tal fin, que usualmente retardan demasiado el trabajo y a veces no se obtiene la mayor satisfacción.

En este último caso la colaboración por parte de la ciudadanía es menor. Puede haber soluciones intermedias en donde la participación ciudadana sea importante pero que al mismo tiempo se necesite de estaciones de separación para lograr lo que no se hizo en la fuente. La separación de los residuos en diferentes fracciones va a depender en gran medida de los usos que se le pueda dar a los materiales que se separan. En teoría uno puede encontrar usos para materiales como papel, plásticos, metales, vidrios y materia orgánica y desde ese punto de vista la separación debería hacerse en esas fracciones.

Por desgracia no es realista pensar en este momento que, en una comunidad, desde un comienzo, se puede lograr que se haga separación en cinco fracciones de tal forma que desde la generación los residuos vengan listos para ser utilizados. Por estas razones los trabajos de separación en la fuente usualmente empiezan buscando que se separen dos fracciones de los residuos en un comienzo, por ejemplo, reciclables y no reciclables, para luego ir incrementando el nivel de separación a medida que se logra la participación ciudadana.

2.11.1. Propuesta de separación, recolección y vertido

Basados en la condición actual del vertedero de Duquesa, y los mercados municipales de la República Dominicana, ver imágenes 2.11.1 a, b, c y d. se propone realizar separación de los residuos **en la fuente** y en principio solo separar en 2 grandes grupos: **orgánicos y otros**.

Esto para fomentar la producción de biogás ya que, si se depositan los residuos en las condiciones actuales, no se podrá obtener la pureza de biogás necesaria para la generación de energía eléctrica.



Imagen 2.11.1a: Apariencia de las ventas de mercados en Santo Domingo. **Fuente:** Google imágenes.



Imagen 2.11.1b: Apariencia de las ventas de mercados en Santo. **Fuente:** Google imágenes.



Imagen 2.11.1c: Apariencia actual del vertedero de Duquesa. **Fuente:** Google imágenes.



Imagen 2.11.1d: Realidad presente del vertedero de Duquesa. **Fuente:** Google imágenes.

Destino de los residuos: Vertedero de Duquesa

Vertedero de Duquesa

Lugar de disposición final de basura y residuos sólidos, que puede ser controlado o clandestino. Los vertederos controlados o rellenos sanitarios son manejados por el gobierno o municipio conforme a ciertas consideraciones y estudios de tipo económico, social y ambiental. Por su lado, los vertederos clandestinos son elegidos por grupos de personas sin ninguna consideración para arrojar basura, provocando una grave amenaza para la humanidad por la falta de control, lo que causa contaminación del ambiente y las consiguientes enfermedades para el ser humano.

El Vertedero Duquesa es el encargado de atender las necesidades de El Gran Santo Domingo lo cual comprende a Santo Domingo Norte, Oeste, Este, Distrito Nacional, Los Alcarrizos, Pedro Brand y Palmarejo. Está ubicado en el municipio de Santo Domingo Norte y posee una superficie de 127,81 hectáreas, ver imagen 2.11.1e.

A diario El Vertedero Duquesa recibe alrededor de 4000 toneladas de residuos. El 50% de los desechos recibidos provienen del Distrito Nacional. Diariamente el vertedero recibe alrededor de 400 camiones con residuos a depositar. Al momento de entrar, cada camión es identificado y pesado. Luego van a depositar los residuos en el área indicada.



Imagen 2.11.1e: Vista satelital del vertedero Duquesa. **Fuente:** Google Maps.

Escenario de inicio sugerido: Distrito Nacional

Como se expresa anteriormente el 50% de los desechos que recibe el vertedero provienen del Distrito Nacional, por tal razón se considera propicio abordar la situación desde esa perspectiva.

El **Distrito Nacional** es una subdivisión de la República Dominicana donde se encuentra enclavada Santo Domingo, capital del país, ver imagen 2.11.1f. El Distrito Nacional en la demarcación geográfica en la cual reposa la sede del gobierno dominicano, este distrito es

considerado "especial" dada su importancia política, no es ni municipio, ni provincia, aunque técnicamente ejerce la función de ambas.

De 1844 a 1932 se llamó *Provincia de Santo Domingo*, en 1932 fue rebautizada como *Provincia Nacional*. En 1935 pasó a ser *Distrito Nacional* y al año siguiente sería renombrado *Distrito de Santo Domingo*, retornando a la denominación previa en 1955.

El Distrito Nacional ha sufrido de numerosas divisiones territoriales que han achicado su jurisdicción; la última ocasión fue el 16 de octubre de 2001, cuando se creó la nueva provincia Santo Domingo. Ver otras características en tabla 2.11.1.

Características principales	
Coordenadas	18°30'00"n 69°59'00"o
Capital	Santo Domingo
Idioma oficial	Español
Entidad	Ciudad
País	 República Dominicana
Subdivisiones	70 sectores
Eventos históricos	
Fundación	Distrito desde 1932
Altitud	
Media	52 m s. N. M.
Máxima	14 m m s. N. M.
Clima	Tropical monzónico
Población (2015)	
Total	1 402 749 hab.
Densidad	13 431 hab/km ²

Tabla 2.11.1 Características generales del Distrito Nacional. **Fuente:** Elaboración propia.



Imagen 2.11.1f: Ubicación geográfica del Distrito Nacional, dentro de Santo Domingo. **Fuente:** Google imágenes.

La propuesta constará de varias fases de desarrollo:

Fase I: Concienciación casa a casa y escuelas, publicidad

Donde se pretende hacer saber a la población la importancia de su cooperación, que conozcan el objetivo real del proyecto, como y porque se quiere llevar a cabo. Auxiliados no solo de personas que los aborden personalmente, sino de medios de comunicación, de publicidad audiovisual, entre otros.

Estableciendo los siguientes puntos específicos, para evitar saturar a las personas de información y que no puedan comprender el mensaje principal:

- Como se le solicita que inicie a clasificar la basura: -Desechos Orgánicos y el resto-
- Los contenedores en que deberá depositar cada una de las bolsas*

*Se puede incluir como medida de motivación la entrega de paquetes de bolsas a los ciudadanos

Fase II: Colocación de contenedores/zafacones y asignación de camiones

Esta fase deberá iniciar su curso casi inmediatamente a la anterior, de manera que cuando los ciudadanos involucrados reciban la información puedan ver dispuestos los contenedores y puedan iniciar con la práctica de separación inmediatamente.

Con relación a la asignación de camiones, dependerá del tipo de contenedor seleccionado, para determinar si es necesario incluir una flotilla nueva de camiones recolectores o seleccionar contenedores que se ajusten a los camiones existentes.

Fase III: Recolección de desechos y vertido en la zona para aprovechamiento

Determinar la frecuencia con la que deben ser recogidos los desechos y cuál será el lugar de depósito común previo a su transporte al vertedero.

Consideración

Es estrictamente necesaria la participación de los ayuntamientos de las ciudades afectadas, debido a que como está legalmente establecido en la *Ley 176-07 del Distrito Nacional y los Municipios*, es obligación de los ayuntamientos la ejecución de las tareas anteriormente descritas.

DESARROLLO TÉCNICO

3. Desarrollo Técnico de la Propuesta

3.1. Alcance

La investigación está enfocada en aprovechar los desperdicios depositados en el Vertedero de Duquesa, uno de los vertederos más grandes de República Dominicana, ubicado al Norte de Santo Domingo, ver imagen 3.1b, la capital del país y cuenta con aproximadamente 127.8m² de extensión territorial.

Actualmente no existe ningún tipo de aprovechamiento organizado de los desperdicios, exceptuando el trabajo que hacen los buzos o recicladores, los cuales se introducen en los desechos con la finalidad de obtener producto que más adelante puedan vender, como es el caso de los plásticos y algunos objetos de metal, ver imagen 3.1c.

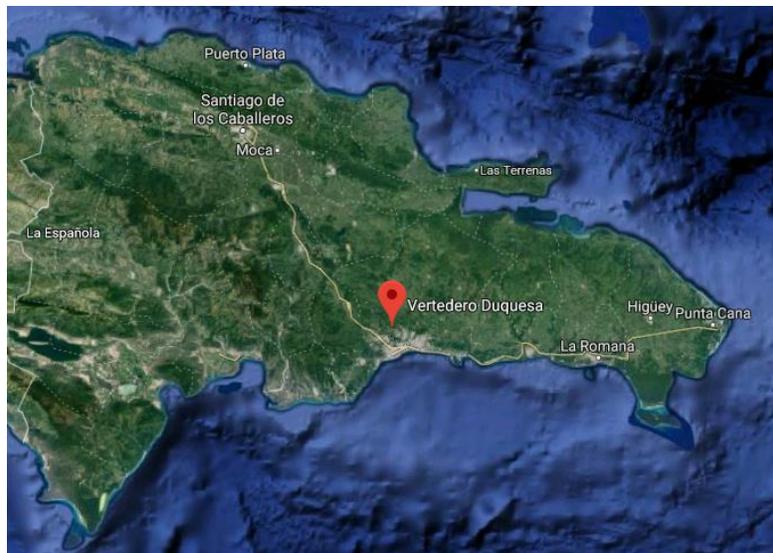


Imagen 3.1a: Vista satelital de RD, con ubicación del Vertedero marcada. **Fuente:** Google Maps.



Imagen 3.1b División de la provincia de Santo Domingo. **Fuente:** Google imágenes.



Imagen 3.1c: Buzos o recolectores de basura, vertedero de Duquesa. **Fuente:** Google imágenes.

El actual director del vertedero, Sr. Sócrates Pérez, en una conversación sostenida con él, informo que el vertedero recibe diario un promedio de 4.000 toneladas de desperdicios y que hasta ahora la única forma de aprovechamiento que existe con ellos es la informal que realizan estas personas extrayendo de allí las cosas que, aunque para otros es un desperdicio para ellos es un recurso del cual pueden conseguir dinero, ya que este trabajo informal, representa para muchos la única fuente de ingresos para sustento de sus familias.

3.2. Criterios de inclusión y exclusión

3.2.1. Inclusión

En esta investigación se pretende contemplar solo el vertedero de Duquesa, y aunque existen muchos métodos de aprovechamiento de residuos, solo estará enfocado en la utilización de biogás a partir de digestión anaerobia mediante pozos verticales de extracción para alimentar los motores y así producir energía eléctrica que se inyectara a la red de distribución.

De igual se toma en cuenta el estado presente del vertedero y como este afecta a que al momento que pueda llevarse a cabo la ejecución del proyecto, por lo que, se considera hacer la propuesta de un plan de separación, recolección y disposición de residuos que fomentaría el proyecto base, que consiste en la separación, recolección y manejo exclusivo de los desechos orgánicos del Distrito Nacional, detallado en la sección 2.11.

3.2.2. Exclusión

Quedan excluidos de esta investigación los demás vertederos del país, así como las otras formas de aprovechamiento de residuos sólidos urbanos.

No se considera el análisis costo-beneficio que implica llevar a cabo la propuesta de separación mencionada anteriormente, sino que solo es el aporte de una medida, de tantas que podrían implementarse en este caso.

Tampoco se considera, ninguna forma de aprovechamiento del calor liberado por los motores, aunque se enumeran distintas formas de aprovechamiento posibles de este calor, ver apartado 2.8.

3.3. Elementos generales de la planta

Se puede destacar dentro de las instalaciones de una planta de biogás en un vertedero los siguientes equipos, ver imagen 3.3:

Red de Captación y Conducción: unidades encargadas de la captación del biogás y su conducción a la estación de regulación y medida.

Se compone de:

- Pozos de captación.
- Líneas de conducción desde los pozos de captación.

Estación de Regulación y Medida: instalación que permite mediante la regulación de la depresión aplicada a cada línea, obtener el biogás producido. Se compone de:

- Equipos mecánicos.
- Equipos de control y medida.
- Equipos auxiliares.

Central de Extracción: se encarga de poner en depresión todos los elementos previos antes mencionados y enviar el biogás hacia la zona de valorización. Se compone de:

- Elementos electromecánicos.

Colector General: es la conducción que transporta el biogás desde la central de extracción hasta los puntos de consumo. Se compone de:

- Tubería de gas.

Central de Control: en ella se analizan secuencialmente las diferentes muestras a estudiar. Se compone de:

- Armario de control y potencia
- Central de análisis

Antorcha: Para la combustión del biogás excedente que no se consume en los motores en producciones pico o para el quemado de emergencia.

Sistema Motor-Generador: es el sistema que permitirá la generación de energía eléctrica, a partir del gas, mediante su uso como combustible en motores de combustión, que a su vez accionan un generador.

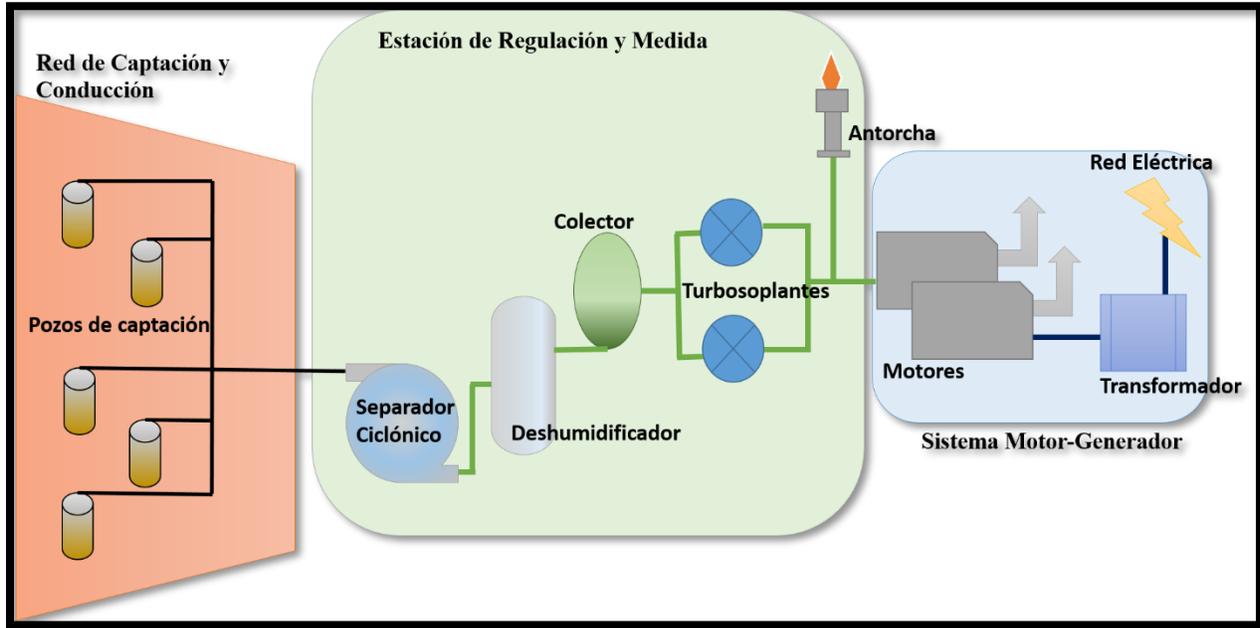


Imagen 3.3: Diagrama de los elementos generales de la planta. **Fuente:** Elaboración propia.

3.3.1. Pozos

Como sabemos, el metano es un agente potenciador del efecto invernadero del planeta, cuyas moléculas contribuyen 25 veces más que las de dióxido de carbono al efecto invernadero. Es por ello, que la construcción de pozos en RSU para la desgasificación de los vertederos es un paso importante en la mejora medioambiental y en el cumplimiento del Protocolo de Kioto, a través del cual se intenta reducir la emisión de gases, como el metano, causantes del calentamiento global.

De este modo, los vertederos son lugares que presentan importantes impactos ambientales, sociales y visuales y cuya desgasificación o explotación, a través de Pozos de RSU, no sólo paliaría estos problemas, sino que crearía una energía limpia y sostenible, respetuosa con el medioambiente y potenciadora de la economía.

Para este aprovechamiento es necesario disponer de pozos de captación, perforaciones realizadas mediante sondas de material calibrado, tubería perforada de polietileno y material impermeabilizante, para conseguir un radio de influencia máximo, de forma que se consiga captar la mayor cantidad de biogás, sin provocar la entrada de aire en el depósito.

En la zona de extracción se posee pozos dependiendo del área de producción de biogás. Estos pozos poseen una tubería de PVC interior para evitar la corrosión provocada por el H_2S en otros

materiales más sensibles. Las dimensiones del pozo pueden ser de una profundidad de 10 a 30 metros y diámetro de 1 metro. Con una longitud en el tramo sin perforar de 6 metros. El pozo comprende una sección de tubo sin perforar que evita infiltraciones, el resto de la tubería está perforado permitiendo la perforación del biogás ver imágenes 3.3.1 a y b.



Imagen 3.3.1 a Tubería interior perforada, **Fuente:** Sondeos puebla, perforación e investigación



Imagen 3.3.1 b Paredes del pozo, **Fuente:** Sondeos puebla, perforación e investigación

3.3.2. Tuberías

La conducción del biogás producido y captado debe de realizarse mediante de tuberías, de polietileno de alta densidad, de pared ciega para evitar la entrada de aire. El espesor de estas tuberías se tiende a sobredimensionar para aumentar el grado de seguridad de la instalación. Es común para este tipo de instalaciones utilizar tubería PN6 (de presión de trabajo a 6 bares), aún cuando en la conducción o transporte del biogás se realice en milibares.

Cada pozo debe de conectarse a una única línea de conducción y cada línea se conecta a dos pozos; el extremo de esta conexión va hacia las entradas de la estación de regulación y medida; esta estación es el elemento clave para la adecuada captación del biogás ya que en ella se habrán de tomar las muestras del gas conducido por cada una de las líneas, se deberá analizar y, en función de las características de este gas, se deberá ajustar la aspiración en cada línea.

3.3.3. Antorcha

Una antorcha, que quema el exceso de biogás captado y que en dicho momento no puede ser consumido en los grupos generadores, ni almacenado en el gasómetro.

Es importante que la antorcha sea flexible en cuanto al caudal admitido y que permita su funcionamiento con un caudal muy bajo, pues al hacer la función de amortiguador en el caudal del gas debe de trabajar más rápidamente que el gasómetro. Si el caudal quemado en la antorcha se alarga durante un tiempo determinado, el sistema debe rebajar el caudal captado del vertedero, haciéndole trabajar parcialmente como un gasómetro.

Una vez captado y extraído el biogás de una forma controlada, se procede a su aprovechamiento en forma de combustible en el grupo Motor-Generador para la producción de energía eléctrica.

3.3.4. Motores

Las principales tecnologías para generación eléctrica disponibles en el mercado son:

Motores de combustión interna: Usado en rellenos sanitarios con caudales de biogás entre 1,31 [m³/s] a 5,24 [m³/s] con 50% de metano. Algunas capacidades representativas de motores comerciales son:

5,77 [m³/min] → 540 [kW]

6,62 [m³/min] → 633 [kW]

9,91 [m³/min] → 800 [kW]

14,16 [m³/min] → 1200 [kW]

Los motores logran eficiencias eléctricas de 30% a 40%, para mejores rendimientos se emplean aplicaciones de cogeneración.

Dependiendo el motor puede requerirse tratamiento secundario para el biogás o no.

Algunos modelos de motores que funcionan con biogás son los siguientes:

- **Caterpillar**

Desde la década de 1920, Caterpillar ha diseñado y construido motores para la producción de energía. Actualmente Caterpillar proporciona soluciones completas de gas, desde sistemas mecánicos tales como sistemas del tren de combustible a gas y de recuperación térmica, hasta el post-tratamiento del escape que cumple con las normas más exigentes de emisiones en el mundo.

En la Tabla 3.3.4a están las especificaciones de motores de la Serie G3500 CAT.

	G33508A	G3512A	G3516A	G3516A+	G3520C
Potencia eléctrica [kW]	457	777	1.041	1.105	1.991
Eficiencia eléctrica [%]	30,1	30,8	32,1	36,8	39,3
Eficiencia térmica [%]	49,3	52,7	47,0	41,5	44,7
Eficiencia Total [%]	79,4	83,5	79,1	78,3	84,0

Tabla 3.3.4a: Especificaciones Motores Serie G3500 CAT Modelo.

▪ **Waukesha**

Waukesha es una empresa americana comercializadora de grandes motores alternativos producidos por GE Energy. Motores Waukesha provee de grandes motores de combustión interna para usos industriales.

En la Tabla 3.3.4b se observa las especificaciones técnicas del modelo APG1000 apta para generar electricidad mediante combustión de biogás.

	APG1000 Standard	APG1000 CHP
Potencia eléctrica [kW]	1000	1000
Eficiencia eléctrica [%]	42,0	42,0
Eficiencia térmica [%]	35,0	42,1
Eficiencia Total [%]	77,0	84,1

Tabla 3.3.4b: Especificaciones Motor APG1000 Waukesha Modelo.

▪ **MWM**

MWM es una empresa que tiene más de 135 años de experiencia en el desarrollo y optimización de los motores de combustión para gas natural, gases especiales y combustibles diesel. MWM desarrolla y fabrica soluciones personalizadas para los requisitos individuales mediante su experiencia en el área de ingeniería.

En la Tabla 3.3.4c se observan las especificaciones técnicas de la serie TCG 2020.

	TCG 2020 V12	TCG 2020 V16	TCG 2020 V20
Potencia eléctrica [kW]	1235	1605	2056
Eficiencia eléctrica [%]	42,0	41,7	42,0
Eficiencia térmica [%]	43,9	44,2	43,8
Eficiencia Total [%]	85,9	85,9	85,8

Tabla 3.3.4c: Especificaciones Motores serie TCG 2020 MWM Modelo.

▪ **Jenbacher**

En estos días, todos hablan de energía sostenible, pero las acciones hablan más que las palabras. Al utilizar biogás a partir de la fermentación de residuos orgánicos, las turbinas de gas aeroderivadas y los motores recíprocos de GE pueden generar calor y energía como fuente de energía confiable para impulsar su negocio hoy, mañana y en el futuro.

Los motores de gas Jenbacher de GE tienen un rango de potencia de 250kW a 10MW, y le brindan la **flexibilidad de combustible** para funcionar con gas natural o una variedad de otros gases, tales como:

- Biogás
- Gas de vertedero
- Gas de aguas residuales
- Robar gas
- Flare gas
- Propano
- Gases especiales (por ejemplo, gas de madera, gas de pirólisis, gas de coque, gas de mina de carbón)

Con más de 16,000 motores de gas Jenbacher en operación, proporcionamos energía, calor y refrigeración en el sitio para una variedad de aplicaciones comerciales, industriales y municipales en más de 100 países. GE tiene una de las bases instaladas de motores de gas más grandes combinadas de calor y energía (CHP) en el mundo.

Biogás		1.500 rpm 50 Hz					1.800 rpm 60 Hz				
NOx <	Type	Pel (kW) ¹	ηel (%) ¹	Pth (kW) ²	ηth (%) ²	ηtot (%)	Pel (kW) ¹	ηel (%) ¹	Pth (kW) ²	ηth (%) ²	ηtot (%)
500 mg/m ³ _N	J208	330	38,8	413	48,5	87,3	335	36,3	410	44,4	80,6
	J208	249	39,1	275	43,2	82,2					
250 mg/m ³ _N	J208	330	37,8	357	40,9	78,6					

Tabla 3.3.4d: Especificaciones motor Jeanbacher tipo 2. **Fuente:** Catálogo Jeanbacher

Biogas		1,500 rpm 50 Hz					1,800 rpm 60 Hz				
NOx <	Type	Pel (kW) ¹	ηel (%) ¹	Pth (kW) ²	ηth (%) ²	ηtot (%)	Pel (kW) ¹	ηel (%) ¹	Pth (kW) ²	ηth (%) ²	ηtot (%)
500 mg/m ³ _N	J312	526	41.3	563	44.2	85.4					
	J312	635	40.4	709	45.1	85.5	633	38.1	810	48.8	86.9
	J316	703	42.0	734	43.0	85.0					
	J316	847	41.0	935	45.0	85.0	849	38.3	1,084	48.9	87.3
	J320	1,067	40.9	1,179	45.2	86.1	1,062	39.1	1,321	48.6	87.8
250 mg/m ³ _N	J312	635	39.0	730	44.8	83.8	633	36.8	860	49.9	86.7
	J316	847	39.1	964	44.5	83.6	849	37.0	1,147	49.9	86.9
	J320	1,067	39.3	1,225	45.1	84.4	1,062	37.0	1,451	50.5	87.5

Tabla 3.3.4e: Especificaciones motor Jeanbacher tipo 3. **Fuente:** Catálogo Jeanbacher

La combustión del biogás se realiza en los motores de gas. Los motores hacen girar un alternador síncrono que genera energía eléctrica con un rendimiento global de un 35% aproximadamente. El 65% de energía restante es emitida a la atmósfera a través de los gases de escape, que pueden tener una temperatura superior a 400° C, y del sistema de refrigeración de los motores. En plantas grandes sería posible el empleo de turbinas de gas y de vapor, con mayores rendimientos. Si se aprovecha el calor residual de los motores (en calentamiento de invernaderos u otras aplicaciones) se puede alcanzar un rendimiento global superior al 90%.

Características de los motores (típicos)	
Potencia eléctrica (kW)	450-650
Rendimiento Mecánico (%)	37.5
Rendimiento Eléctrico (%)	35-36
Temperatura de gases de escape (°C)	425-400
Caudal de gases de escape (kg/h)	2.500-3.600
Tensión de generación (V)	380

Tabla 3.3.4f: Características de los motores típico. **Fuente:** Elaboración propia.

3.4. Estimación de producción de biogás

La producción de biogás es variable en el tiempo, con un máximo alrededor de los 2-3 años tras el vertido. El proceso de degradación de la materia orgánica puede durar más de 20 años: los residuos de comida se degradan en un 50% en 1-2 años, los de jardín en unos 5 años, los de papel, madera y textiles en unos 15 años. Los plásticos y gomas no se descomponen. Una tonelada de RSU con un contenido de materia orgánica del 50% genera aproximadamente 200 m² de biogás. No es posible captar todo el biogás generado: un 30-35% del mismo se perderá a través de la superficie del vertedero. Las características del biogás dependen principalmente de la composición de los RSU y de la humedad.

El valor calorífico del biogás es cerca de 6kWh por metro cúbico. Es decir que un metro cúbico de biogás es equivalente a aproximadamente medio litro de combustible gasóleo. En países industrializados, la cantidad teórica es de 200Nm³ de biogás por cada tonelada de basura depositada.

El Landfill Methane Outreach Program de la EPA de EUA recomienda varios métodos para estimar la generación de biogás en un relleno sanitario.

3.4.1. Método de aproximación simple

Para el cálculo de la generación de biogás se utilizó este método, usando como parámetro el porcentaje de Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbano (FORSU), que consiste en el

porcentaje de material orgánico contenido en el total de los residuos, y se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Generación anual de biogás (pie}^3\text{)} = 0.10 \text{ pc/lb} * 2000 \text{ lb/t} * \text{Cantidad de basura depositada (t)} \quad (1)$$

$$\text{Generación anual de biogás (pie}^3\text{)} = 0.10 \text{ pc/lb} * 2000 \text{ lb/t} * \text{Cantidad de basura depositada (t/día)} * 365 \text{ día/año} \quad (2)$$

3.4.2. Modelo de degradación del primer orden

Puede ser usado para contabilizar el cambio en la tasa de generación de biogás de acuerdo con la vida útil del proyecto de relleno. Pero se necesitan conocer las siguientes variables:

- Promedio anual de recepción de basura
- Número de años que el relleno lleva abierto
- Número de años que el relleno lleva cerrado, sin recibir basura, si corresponde
- Potencial de generación de metano de la basura
- Tasa de generación anual de metano de la basura

$$\text{LFG} = 2L_0R(e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (3)$$

Donde:

LFG= Total de biogás generado en el año corriente (pie³)

L₀= Potencial total de generación de metano de la basura (pie³/lb)

k = Tasa anual de generación de metano

R = Tasa promedio de recepción de basura anual durante la vida activa (lb)

t = Años desde que se abrió el relleno (años)

c = Años desde que se cerró el relleno (años)

Este método no se utilizó ya que como se expone anteriormente se precisan conocer ciertos valores de los que no se disponen.

3.4.3. Composición de los residuos.

La composición de los residuos que van al vertedero varía de región en región, sin embargo, se estima que, en promedio a nivel nacional, la materia orgánica ocupa la primera posición dentro de la composición de los residuos que generamos en nuestro país con un 55.7%, el segundo lugar lo ocupa los plásticos con un 10.7% y en tercer lugar el papel y cartón con un 9.3%. en general se considera que al menos el 80% de los residuos puede ser reciclado, si se cuenta con un buen sistema de separación desde el origen de estos. El ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales en 2013 emitió una publicación en la que se muestra la composición aproximada de los residuos sólidos en República Dominicana, ver tabla y grafico 3.4.1a.

Composición de los residuos en RD [%]	
Papel y cartón	9.3
Residuos de cocina	55.7
Vidrio/porcelana	4.7
Metales	3.0
Telas	7.3
Plásticos	10.7
Madera/ residuos de jardín	8.3
tierra/escombros	1.0
FORSU	65.0

Tabla 3.4.1a Composición de los RSU en RD. **Fuente:** Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales

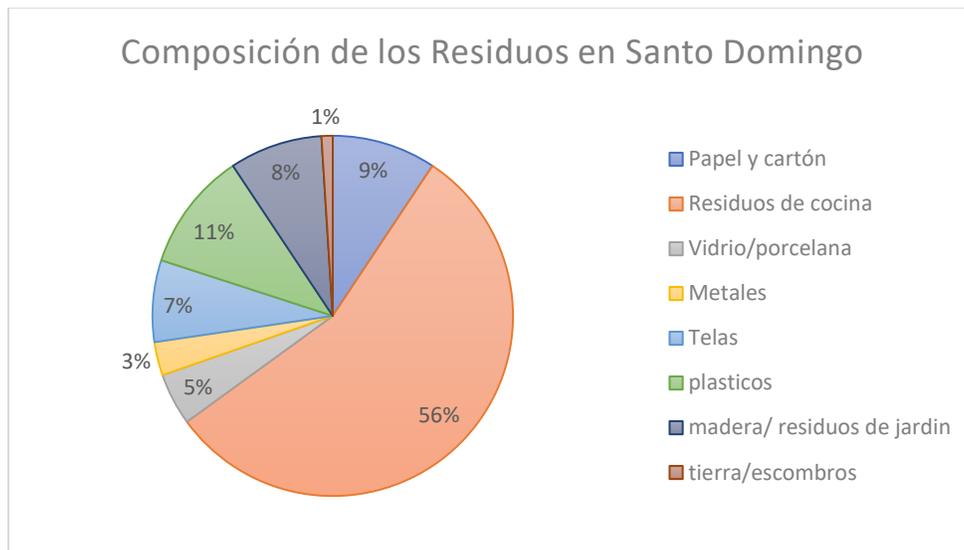


Gráfico 3.4.1a Composición de los RSU en RD. **Fuente:** Elaboración propia.

3.4.4. Presentación de los resultados

La cantidad de biogás generado en un sitio depende de factores específicos del lugar, y de la composición de los RSU, se realizó la estimación de la generación de biogás en base al primer método de aproximación simple descrito en el apartado 3.4.1. Asumiendo la incertidumbre que caracteriza la generación y captura de biogás, en adición a la falta de datos reales históricos del lugar, se realizó un análisis de sensibilidad del modelo, con la finalidad de obtener rango de mínima y de máxima del metano disponible para la generación eléctrica a lo largo de la vida útil.

La tasa de generación de residuos proyectada se hizo en función del crecimiento poblacional dado por los últimos censos, y como punto medio se utilizó el porcentaje mencionado anteriormente como FORSU, la eficiencia de captura de biogás utilizada fue 40%-60%-80%, para cada escenario

en función a 3 posibles escenarios mostrados en la tabla 3.4.3a, definidos como optimista, intermedio y pesimista

Para la estimación de la producción de energía eléctrica a partir del biogás capturado, se consideran los 3 escenarios definidos anteriormente y los parámetros que se definen a continuación:

Potencia disponible y a Instalar: Depende del caudal de biogás según la siguiente ecuación:

$$\text{Potencia disponible [kW]} = \eta_t * PCI_{\text{biogás}} * Q_{\text{biogás}} \quad (4)$$

Siendo:

η_t : rendimiento térmico de generación eléctrica (%).

$PCI_{\text{biogás}}$: poder calorífico inferior del biogás: se toma 5 kWh/m^3

$Q_{\text{biogás}}$: caudal de biogás capturado (m^3/hr).

Energía eléctrica producida: La energía eléctrica a generar se estima en función de la potencia disponible y un factor de disponibilidad de 85% por mantenimiento, dado por:

$$\text{Electricidad [kWh/año]} = (\text{potencia disponible}) * 0.85 * \text{horas funcionamiento año} \quad (5)$$

Los resultados del cálculo de producción de biogás por el método de aproximación simple y el potencial de generación de energía bruto se muestran en la tabla 3.4.3c-g, usando como datos de partida los mostrados en la tabla 3.4.3a y b.

						Lixiviados		
Escenarios	Manejo del sitio	Incen dio	Control en la cubierta de los residuos	Compactación adecuada	Disposición adecuada de residuos	Época de lluvia	Cualquier época del año	Eficiencia [%]
Optimista	Si	No	si	Si	Si	No	no	80
Intermedio	Si	No	si	Si	Si	Si	no	60
Pesimista	No	Si	no	No	No	Si	si	40

Tabla 3.4.3a: Parámetros considerados para cada escenario. **Fuente:** Elaboración propia.

Resultados Escenario Intermedio

Se muestran a continuación los resultados para el escenario intermedio de los contemplados:

Parámetros de partida – Escenario Intermedio	
Población inicial [habitantes]	1,402,749.00
Tasa de crecimiento poblacional [%]	1.21
PPC [kg/habitantes/día]	1.2
Rendimiento sistema [%]	60
Funcionamiento [hr/años]	8760
Vida útil [Años]	20
PCI biogás [kWh/m3]	5
Residuos totales [t/día]	4000
FORSU [t/día]	2600
FORSU [%]	65
Total residuos [t/año]	949,000.00
Costo promedio Carbón [USD/t]	48.50

Tabla 3.4.3b: Parámetros de partida escenario Intermedio. **Fuente:** Elaboración propia.

Año	Residuos		Generación de biogás [m ³ /hr]	Potencia disponible [kW]	Producción Eléctrica	
	Anuales [t]	Acumulados [t]			kWh/año	MWh/año
1	949,000.00	949,000.00	368.12	1,104.35	8,222,999.78	8,223.00
2	1,148,290.00	2,097,290.00	445.42	1,336.27	9,949,829.73	9,949.83
3	1,389,430.90	3,486,720.90	538.96	1,616.88	12,039,293.98	12,039.29
4	1,681,211.39	5,167,932.29	652.14	1,956.43	14,567,545.71	14,567.55
5	2,034,265.78	7,202,198.07	789.09	2,367.28	17,626,730.31	17,626.73
6	2,461,461.59	9,663,659.66	954.80	2,864.40	21,328,343.68	21,328.34
7	2,978,368.53	12,642,028.19	1,155.31	3,465.93	25,807,295.85	25,807.30
8	3,603,825.92	16,245,854.11	1,397.92	4,193.77	31,226,827.98	31,226.83
9	4,360,629.36	20,606,483.48	1,691.49	5,074.46	37,784,461.86	37,784.46
10	5,276,361.53	25,882,845.01	2,046.70	6,140.10	45,719,198.84	45,719.20
11	6,384,397.45	32,267,242.46	2,476.51	7,429.52	55,320,230.60	55,320.23
12	7,725,120.92	39,992,363.38	2,996.57	8,989.72	66,937,479.03	66,937.48
13	9,347,396.31	49,339,759.69	3,625.86	10,877.57	80,994,349.62	80,994.35
14	11,310,349.53	60,650,109.22	4,387.28	13,161.85	98,003,163.05	98,003.16
15	13,685,522.94	74,335,632.16	5,308.61	15,925.84	118,583,827.28	118,583.83
16	16,559,482.75	90,895,114.91	6,423.42	19,270.27	143,486,431.01	143,486.43

17	20,036,974.13	110,932,089.04	7,772.34	23,317.03	173,618,581.53	173,618.58
18	24,244,738.70	135,176,827.74	9,404.53	28,213.60	210,078,483.65	210,078.48
19	29,336,133.83	164,512,961.57	11,379.49	34,138.46	254,194,965.21	254,194.97
20	35,496,721.93	200,009,683.50	13,769.18	41,307.54	307,575,907.91	307,575.91

Tabla 3.4.3c: Presentación de los resultados escenario intermedio. **Fuente:** Elaboración propia.

Resultados Escenario Optimista

Se muestran a continuación los resultados para el escenario optimista de los contemplados:

Parámetros de partida – Escenario optimista	
Población inicial [habitantes]	1,402,749.00
Tasa de crecimiento poblacional [%]	1.21
PPC [kg/habitantes/día]	1.2
Rendimiento sistema [%]	80
Funcionamiento [hr/años]	8760
Vida útil [Años]	20
PCI biogás [kWh/m ³]	5
Residuos totales [t/día]	4000
FORSU [t/día]	2990
FORSU [%]	65
Total residuos [t/año]	1,091,350.00
Costo promedio Carbón [USD/t]	48.50

Tabla 3.4.3d Datos de partida escenario optimista. **Fuente:** Elaboración propia.

Año	Residuos		Generación de biogás [m ³ /hr]	Potencia disponible [kW]	Producción Eléctrica	
	Anuales [t]	Acumulados [t]			kWh/año	MWh/año
1	1,091,350.00	1,091,350.00	564.45	2,257.78	16,811,466.22	16,811.47
2	1,320,533.50	2,411,883.50	682.98	2,731.92	20,341,874.12	20,341.87
3	1,597,845.54	4,009,729.04	826.41	3,305.62	24,613,667.69	24,613.67
4	1,933,393.10	5,943,122.13	999.95	3,999.80	29,782,537.90	29,782.54
5	2,339,405.65	8,282,527.78	1,209.94	4,839.76	36,036,870.86	36,036.87
6	2,830,680.83	11,113,208.61	1,464.03	5,856.11	43,604,613.74	43,604.61
7	3,425,123.81	14,538,332.42	1,771.47	7,085.90	52,761,582.63	52,761.58
8	4,144,399.81	18,682,732.23	2,143.48	8,573.93	63,841,514.98	63,841.51
9	5,014,723.77	23,697,456.00	2,593.62	10,374.46	77,248,233.13	77,248.23

10	6,067,815.76	29,765,271.76	3,138.27	12,553.10	93,470,362.08	93,470.36
11	7,342,057.07	37,107,328.83	3,797.31	15,189.25	113,099,138.12	113,099.14
12	8,883,889.05	45,991,217.88	4,594.75	18,378.99	136,849,957.12	136,849.96
13	10,749,505.76	56,740,723.64	5,559.64	22,238.58	165,588,448.12	165,588.45
14	13,006,901.96	69,747,625.60	6,727.17	26,908.68	200,362,022.23	200,362.02
15	15,738,351.38	85,485,976.98	8,139.88	32,559.50	242,438,046.89	242,438.05
16	19,043,405.17	104,529,382.15	9,849.25	39,397.00	293,350,036.74	293,350.04
17	23,042,520.25	127,571,902.40	11,917.59	47,670.37	354,953,544.46	354,953.54
18	27,881,449.50	155,453,351.90	14,420.29	57,681.14	429,493,788.79	429,493.79
19	33,736,553.90	189,189,905.80	17,448.55	69,794.18	519,687,484.44	519,687.48
20	40,821,230.22	230,011,136.02	21,112.74	84,450.96	628,821,856.17	628,821.86

Tabla 3.4.3e: Presentación de resultados escenario optimista. **Fuente:** Elaboración propia.

Resultados Escenario Pesimista

Se muestran a continuación los resultados para el escenario pesimista de los contemplados:

Parámetros de partida – Escenario pesimista	
Población inicial [habitantes]	1,402,749.00
Tasa de crecimiento poblacional [%]	1.21
PPC [kg/habitantes/día]	1.2
Rendimiento sistema [%]	40
Funcionamiento [hr/años]	8760
Vida útil [Años]	20
PCI biogas [kWh/m3]	5
Residuos totales [t/día]	4000
FORSU [t/día]	2210
FORSU [%]	65
Total residuos [t/año]	806,650.00
Costo promedio Carbón [USD/t]	48.50

Tabla 4.3.3f: Datos de partida escenario pesimista. **Fuente:** Elaboración propia.

Año	Residuos		Generación de biogás	Producción Eléctrica		
	Anuales [t]	Acumulados [t]	[m ³ /hr]	Potencia disponible [kW]	kWh/año	MWh/año
1	806,650.00	806,650.00	208.60	417.20	3,106,466.58	3,106.47
2	976,046.50	1,782,696.50	252.41	504.81	3,758,824.57	3,758.82
3	1,181,016.27	2,963,712.77	305.41	610.82	4,548,177.72	4,548.18

4	1,429,029.68	4,392,742.45	369.55	739.09	5,503,295.05	5,503.30
5	1,729,125.91	6,121,868.36	447.15	894.30	6,658,987.01	6,658.99
6	2,092,242.36	8,214,110.71	541.05	1,082.11	8,057,374.28	8,057.37
7	2,531,613.25	10,745,723.96	654.68	1,309.35	9,749,422.88	9,749.42
8	3,063,252.03	13,808,976.00	792.16	1,584.31	11,796,801.68	11,796.80
9	3,706,534.96	17,515,510.96	958.51	1,917.02	14,274,130.03	14,274.13
10	4,484,907.30	22,000,418.26	1,159.80	2,319.59	17,271,697.34	17,271.70
11	5,426,737.83	27,427,156.09	1,403.35	2,806.71	20,898,753.78	20,898.75
12	6,566,352.78	33,993,508.87	1,698.06	3,396.12	25,287,492.08	25,287.49
13	7,945,286.86	41,938,795.73	2,054.65	4,109.30	30,597,865.41	30,597.87
14	9,613,797.10	51,552,592.84	2,486.13	4,972.26	37,023,417.15	37,023.42
15	11,632,694.50	63,185,287.33	3,008.21	6,016.43	44,798,334.75	44,798.33
16	14,075,560.34	77,260,847.67	3,639.94	7,279.88	54,205,985.05	54,205.99
17	17,031,428.01	94,292,275.69	4,404.33	8,808.65	65,589,241.91	65,589.24
18	20,608,027.89	114,900,303.58	5,329.24	10,658.47	79,362,982.71	79,362.98
19	24,935,713.75	139,836,017.33	6,448.38	12,896.75	96,029,209.08	96,029.21
20	30,172,213.64	170,008,230.97	7,802.53	15,605.07	116,195,342.99	116,195.34

Tabla 3.4.3g: Presentación de resultados escenario pesimista. **Fuente:** Elaboración propia.

3.5. Cálculo de emisiones a evitar

Para el cálculo de las emisiones de CO₂ evitadas se hizo la comparación con 5 distintos tipos de carbones, se utilizó el carbón y no petróleo o sus derivados, porque es la materia prima de una central termoeléctrica en República Dominicana, con la cual se hará una comparación más adelante. Usando el PCI de cada tipo de carbón, provisto en la tabla de combustibles y su poder calorífico del IDEA, se calculó la necesidad de este para producir la potencia obtenida en el primer año de cada uno de los escenarios anteriores, los resultados se muestran en las tablas 3.5a, b y c.

PRODUCIENDO LA ENERGÍA CON CARBÓN MINERAL									
Tipo de carbón	Poder calorífico inferior (PCI)	Flujo para la potencia eléctrica requerida	Masa requerida al año para la producción eléctrica al año		Factor de emisiones	Emisiones de CO ₂ a emitir en Rep. Dom. Al año		Gasto anual en RD al año	
	kWh/kg	kg/h	kg	t	kgCO ₂ /kg	kgCO ₂	TCO ₂	USD/año	RD\$/año
Turba	5.92	311.08	2,725,103.49	3,004.52	2.39	6,512,997.34	7,180.81	145,719.43	6,848,813.01
Lignito	7.89	233.31	2,043,827.62	2,253.39	2.82	5,763,593.88	6,354.57	109,289.57	5,136,609.76
Hulla	8.50	216.54	1,896,885.76	2,091.38	3.03	5,747,563.86	6,336.90	101,432.15	4,767,311.02

Antracita	9.61	191.51	1,677,592.61	1,849.61	3.43	5,754,142.65	6,344.15	89,705.89	4,216,176.80
Bituminoso	9.72	189.32	1,658,420.12	1,828.47	3.47	5,754,717.83	6,344.78	88,680.68	4,167,991.92

Tabla 3.5a: Resultados escenario intermedio. **Fuente:** Elaboración propia.

PRODUCIENDO LA ENERGÍA CON CARBÓN MINERAL									
Tipo de carbón	Poder calorífico inferior (PCI)	Flujo para la potencia eléctrica requerida	Masa requerida al año para la producción eléctrica al año		Factor de emisiones	Emisiones de CO ₂ a emitir en Rep. Dom. Al año		Gasto anual en RD al año	
	kWh/kg	kg/h	Kg	t	kgCO ₂ /kg	kgCO ₂	TCO ₂	USD/año	RD\$/año
Turba	5.92	477.00	4,178,492.02	4,606.94	2.39	9,986,595.92	11,010.58	223,436.45	10,501,513.29
Lignito	7.89	357.75	3,133,869.01	3,455.20	2.82	8,837,510.62	9,743.67	167,577.34	7,876,134.97
Hulla	8.50	332.03	2,908,558.17	3,206.79	3.03	8,812,931.25	9,716.57	155,529.30	7,309,876.90
Antracita	9.61	293.64	2,572,308.67	2,836.06	3.43	8,823,018.74	9,727.69	137,549.03	6,464,804.42
Bituminoso	9.72	290.29	2,542,910.86	2,803.65	3.47	8,823,900.67	9,728.67	135,977.04	6,390,920.94

Tabla 3.5b: Resultados escenario optimista. **Fuente:** Elaboración propia.

PRODUCIENDO LA ENERGÍA CON CARBÓN MINERAL									
Tipo de carbón	Poder calorífico inferior (PCI)	Flujo para la potencia eléctrica requerida	Masa requerida al año para la producción eléctrica al año		Factor de emisiones	Emisiones de CO ₂ a emitir en Rep. Dom. Al año		Gasto anual en RD al año	
	kWh/kg	kg/h	kg	t	kgCO ₂ /kg	kgCO ₂	TCO ₂	USD/año	RD\$/año
Turba	5.92	176.28	1,544,225.31	1,702.56	2.39	3,690,698.49	4,069.13	82,574.34	3,880,994.04
Lignito	7.89	132.21	1,158,168.98	1,276.92	2.82	3,266,036.53	3,600.92	61,930.76	2,910,745.53
Hulla	8.50	122.71	1,074,901.93	1,185.12	3.03	3,256,952.85	3,590.91	57,478.22	2,701,476.24
Antracita	9.61	108.52	950,635.81	1,048.11	3.43	3,260,680.84	3,595.02	50,833.34	2,389,166.85
Bituminoso	9.72	107.28	939,771.40	1,036.13	3.47	3,261,006.77	3,595.38	50,252.38	2,361,862.09

Tabla 3.5c: Resultados escenario pesimista. **Fuente:** Elaboración propia.

3.6. Impacto Ambiental y Social

Las ventajas del biogás son numerosas. Para verlas es necesario hacerlo desde diferentes perspectivas:

- Desde el punto de vista medioambiental, la utilización de biogás contribuye a la reducción de emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero a la atmósfera. Además, al ser fácilmente biodegradable, no incide negativamente en la contaminación de suelos.
- Desde el punto de vista energético, los biocarburantes constituyen una fuente energética renovable y limpia. Además, su utilización contribuye a reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles y otorga una mayor seguridad en cuanto al abastecimiento energético.
- Los beneficios para la sociedad, incluso cuando se calculan parcialmente y de manera conservadora, son lo suficientemente cuantiosos como para justificar la adopción a gran escala de dichas tecnologías. La magnitud de los beneficios que puede percibir la sociedad con la adopción de las tecnologías de energías renovables constituye un respaldo pleno a políticas públicas y medidas regulatorias que faciliten su despliegue. Entender la magnitud de estos beneficios también resulta útil al planificar la eliminación de subsidios a combustibles fósiles.

En el caso de República Dominicana y su situación desfavorable con relación a la generación de residuos, al mal manejo de estos y con la energía eléctrica; invertir en una metodología que no solo reduzca una situación negativa, sino que a su vez aporte mejorando otras que de igual modo están en mal estado, significa para el país no solo beneficio ambiental y energético, sino también mejora social, tecnológica y hasta política.

3.7. Comparación del proyecto con la Central Termoeléctrica Punta Catalina

La construcción de las dos plantas a carbón en Punta Catalina, Baní, provincia Peravia, es parte del plan integral que está desarrollando el Gobierno en el sector eléctrico, que ha tenido como puntos fundamentales el cambio de matriz de generación, la reducción de las pérdidas en la distribución y la eficiencia en la gestión.

El Gobierno ha concentrado sus esfuerzos en la terminación de la Central Termoeléctrica Punta Catalina convencido de que esta central será de gran ayuda para abaratar y estabilizar el costo de compra de energía eléctrica por parte de las EDEs y para el cambio de la matriz de generación, uno de los elementos necesarios para mejorar el suministro de energía eléctrica, reducir la dependencia de los combustibles derivados de petróleo y reducir del déficit del sector.

Esta central es uno de los grandes proyectos de infraestructura de este Gobierno en su tarea de mejorar la calidad del sistema eléctrico, cuyo único interés ha sido y es, lograr un parque de generación que permita dar un servicio de electricidad ininterrumpido, y que a su vez sea sostenible

económicamente para la población, la tabla 3.7 muestra las características más relevantes de la Central Termoeléctrica Punta Catalina y las de la propuesta.

	Propuesta	Punta Catalina
Capacidad Instalada (MW)	1	752
Inversión (US\$)	1,366,950	2,040,000,000
Precio/MW (US\$)	1,366,950	2,712,765
Emisiones de gCO ₂ /kWh	0	789
Materia Prima	FORSU	Carbón
Costo Materia Prima (US\$/t)	0	77.78

Tabla 3.7: Comparación Central termoeléctrica vs. Propuesta. **Fuente:** Elaboración propia.

ANÁLISIS ECONÓMICO

4. Análisis económico

4.1. Parámetros de inversión

En esta sección se analizan los costos involucrados, tanto de inversión como de operación y mantenimiento, para el escenario intermedio de los tres escenarios analizados. En primer lugar, cabe comentar la dificultad al analizar los costes de las diferentes tecnologías y, sobre todo de las tecnologías con escasas referencias, como es el caso de la utilizada en el proyecto, ya que los resultados son sensibles a unos factores particulares de cada ubicación, entre otros, su tamaño, y la tipología de residuos.

Los beneficios económicos de las energías renovables son superiores a sus costos, La energía renovable cada vez es más competitiva frente a otras fuentes de energía convencionales. Además, se crean miles de puestos de trabajo tanto en fabricación, como en instalación, mantenimiento y comercialización, que contribuyen en gran manera a la economía del país.

Como en República Dominicana no existen tecnologías de aprovechamiento de FORSU a través de digestión anaerobia mediante pozos de extracción, para el análisis económico se utilizó como referencia los precios mostrados en un informe del Banco Interamericano de Desarrollo BID, titulado Generación de Electricidad a partir de biogás capturado de los Residuos Sólidos Urbanos, publicado en marzo de 2017 y se realizó un análisis de sensibilidad en el caso de que en República Dominicana el costo pueda ser mayor o menor que los usados en ese artículo.

A continuación, se detallan los costes tomados en cuenta para la estimación del análisis económico:

Costos de inversión. Los costos de inversión considerados fueron el costo de los moto-generadores (combustión interna alternativos), el sistema de tratamiento de biogás, y la conexión a la red eléctrica, considerando el tendido y una estación transformadora. Se consideraron también los costos de ingeniería y de mano de obra.

Costos O&M fijos. Se consideraron el costo de los técnicos dedicados a tiempo completo a la operación y mantenimiento del sistema de generación.

Costos O&M variables. Se consideraron el costo de la O&M de los moto-generadores (cambios de aceite, filtros, etc.), el costo de mantenimiento de la instalación eléctrica y conexión a la red.

Amortización de equipos. Se consideraron la amortización lineal de los moto-generadores para una vida útil de 20 años.

A continuación, se muestra la distribución porcentual de la inversión en una planta de producción de biogás de vertedero, ver tabla y gráfico 4.1b.

INVERSIONES	
Ingeniería dirección de obras y otros	7%
Edificio de Instalaciones	12%
Central de extracción de biogás	32%
Equipos de generación eléctrica	32%
Acometida de red eléctrica	17%

Tabla 4.1 Distribución porcentual de la inversión total. **Fuente:** Banco Interamericano de Desarrollo.



Gráfico 4.1 Distribución porcentual de la inversión total. **Fuente:** Elaboración propia.

4.1.1. Presentación de los resultados

A continuación, se muestran los resultados de las estimaciones en cuanto a la inversión económica a realizar, se consideraron los gastos y los precios de referencia antes mencionados, ver tabla 4.1.1a.

DETALLES DE INVERSIÓN				
Motor-Generador	\$ 700.00	US\$/kW	\$ 743,400.00	US\$
Sistema de tratamiento	\$ 63,500.00	US\$/500kW	\$ 127,000.00	
	\$ 37,000.00	US\$/km de línea	\$ 126,500.00	

Conexión a la red eléctrica	\$ 17,000.00	US\$/500kW		
Obra civil	\$ 118,000.00	US\$	\$ 118,000.00	
Ingeniería	\$ 63,500.00	US\$	\$ 63,500.00	
Inversión (US\$)			\$ 1,178,400.00	
Costos fijos	\$ 29,000.00	US\$ año	\$ 29,000.00	US\$ año
Costos variables (motor)	\$ 21,000.00	US\$/500kw	\$ 42,000.00	
Costos variables (instalación eléctrica)	\$ 3,350.00	US\$ año	\$ 3,350.00	
Costos variables (Sist. De extracción y tratamiento)	\$ 4,200.00	US\$ año	\$ 4,200.00	
ITBIS	\$ 110,000.00	US\$/año	\$ 110,000.00	
Total Gastos US\$/año			\$ 188,550.00	
Inversión + gastos/año			\$ 1,366,950.00	

Tabla 4.1.1a: Detalles de la inversión y gastos. **Fuente:** Elaboración propia.

Como no se dispone de proyectos como este en República Dominicana, fue imposible usar los precios reales para la inversión y como se explicó anteriormente, a los precios usados de referencia se le realizó la adición y reducción del 15% del total calculado anteriormente, en caso de que al momento de llevarse a cabo la ejecución de este resulte que los precios considerados puedan resultar mayores o menores, para la equivalencia del monto que sería en pesos dominicanos (RD\$) se usó la tasa de cambio con valor a 47.5RD\$.

De igual modo se hizo una primera estimación de la rentabilidad para este tipo de proyecto que puede valorarse utilizando los siguientes índices:

Periodo de retorno simple: es el tiempo que se tarda en recuperar la inversión

$$P. R = \frac{\text{Inversión (US\$)}}{\text{ingresos-gastos (anuales US$/año)}} \quad (7)$$

Índice de energía: es el costo del kWh generado

$$I. E = \frac{\text{Inversión (US\$)}}{\text{Energía producida (kWh/año)}} \quad (8)$$

Índice de potencia: es el coste de kW instalado

$$I. P = \frac{\text{Inversión (US\$)}}{\text{Potencia Instalada (kW)}} \quad (9)$$

VAN: valor actual neto

$$VAN = \frac{Vt}{(1+k)^t} - I_0 \quad (10)$$

Donde:

Vt = representa los flujos de caja en cada periodo t.

I_0 = es el valor del desembolso inicial de la inversión.

k = es el tipo de interés

El cálculo de estos índices se realizó para cada uno de los tres casos del monto invertido y los resultados se pueden ver en la tabla 4.1.1c, donde en el escenario intermedio la inversión se recuperaría en menos de un año, exactamente 9 meses, 23 días, 2 horas y 24 minutos.

Análisis de Sensibilidad		
Parámetro	US\$	RD\$
Inversión media	\$ 1,366,950.00	\$ 64,930,125.00
15% mas	\$ 1,571,992.50	\$ 74,669,643.75
15% menos	\$ 1,161,907.50	\$ 55,190,606.25

Tabla 4.1.1b: Análisis de sensibilidad. **Fuente:** Elaboración propia.

	Inversión media	15% mas	15% menos
Periodo de retorno simple	P.R = Inversión / (ingresos-gastos) anuales		
Años	0.80	0.92	0.68
Índice de Energía	I.E= Inversión/Energía producida (kWh/año)		
US\$/kWh	0.17	0.19	0.14
Índice de potencia	I.P= Inversión /Potencia instalada		
US\$/kW	\$ 1,287.15	\$ 1,480.22	\$ 1,094.07

Tabla4.1.1c: Resultados estimación índices de rentabilidad. **Fuente:** Elaboración propia.

4.1.2. Rentabilidad Económica

Para la estimación de la rentabilidad económica se utilizó el precio promedio de la venta de la energía en República Dominicana, tomado de la página de la Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas y Estatales (CDEEE), que es 23 cUS\$, los resultados de los cálculos se muestran en las tablas 4.1.2a, b y c.

Parámetros	Valor	Unidad de medida
------------	-------	------------------

Potencia Instalada	1064	kW
Ratio medio inversión	\$ 1,284.73	US\$/kW
Inversión	\$1,366,950.00	US\$/año
Horas funcionamiento	8760	hr/año
Energía producida	\$ 8,222,999.78	kWh/año
Precio venta de energía en RD	0.23	US\$/kWh
Ingresos venta de energía	1,891,289.95	US\$/kWh
Gastos	\$ 188,550.00	US\$/año

Tabla 4.1.2a: Parámetros iniciales e ingresos por venta de energía. **Fuente:** Elaboración propia.

Parámetros iniciales para TIR y VAN	
Variable	Valor
Inversión inicial	\$ 1,366,950.00
Vida útil (años)	20
Índice de precio al consumo (IPC)	2.50%
Gastos totales	\$ 188,550.00
Tasa de interés	5%
Tasa de interés	7%

Tabla 4.1.2b: Parámetros para calcular VAN y TIR **Fuente:** Elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestra el flujo de efectivo a lo largo de la vida útil considerada para el proyecto, con relación a los ingresos proveniente de la venta de la energía, del mismo modo se incluyó en la tabla una columna que incluye los gastos adicionales que se incluirían si la producción de esta energía se llevara a cabo con carbón bituminoso, el de mayor PCI de los mostrados en el apartado 3.8, ver resultados en las tablas 4.1.2c y d.

Año	Ingreso (US\$)	Gastos (US\$)	Flujo de caja (US\$)	Gastos en Carbón bituminoso (US\$)
0	0	0	-1,366,950.00	142,218.21
1	1,891,289.95	188,550.00	1,702,739.95	145,773.67

Planta de Producción de Energía Eléctrica a Partir de Biogás de Vertedero, aplicado en República Dominicana.

2	2,288,460.84	193,263.75	2,095,197.09	149,418.01
3	2,769,037.61	198,095.34	2,570,942.27	153,153.46
4	3,350,535.51	203,047.73	3,147,487.79	156,982.29
5	4,054,147.97	208,123.92	3,846,024.05	160,906.85
6	4,905,519.05	213,327.02	4,692,192.03	164,929.52
7	5,935,678.05	218,660.19	5,717,017.85	169,052.76
8	7,182,170.44	224,126.70	6,958,043.74	173,279.08
9	8,690,426.23	229,729.87	8,460,696.36	177,611.06
10	10,515,415.73	235,473.11	10,279,942.62	182,051.33
11	12,723,653.04	241,359.94	12,482,293.10	186,602.62
12	15,395,620.18	247,393.94	15,148,226.24	191,267.68
13	18,628,700.41	253,578.79	18,375,121.63	196,049.37
14	22,540,727.50	259,918.26	22,280,809.24	200,950.61
15	27,274,280.28	266,416.21	27,007,864.06	205,974.37
16	33,001,879.13	273,076.62	32,728,802.51	211,123.73
17	39,932,273.75	279,903.53	39,652,370.22	216,401.83
18	48,318,051.24	286,901.12	48,031,150.12	221,811.87
19	58,464,842.00	294,073.65	58,170,768.35	227,357.17
20	70,742,458.82	301,425.49	70,441,033.33	233,041.10

Tabla 4.1.2c: Flujo de efectivo e inversión en carbón bituminoso. **Fuente:** Elaboración propia.

VAN (i=5%) US\$	\$ 7,403,122.60
VAN (i=7%) US\$	\$ 4,943,105.09
TIR (%)	147%

Tabla 4.1.2d: Resultados cálculos VAN y TIR **Fuente:** Elaboración propia.

Como muestra la tabla anterior el porcentaje que iguala el VAN a cero sería 147%, y los valores actuales netos para una tasa de 5% y 7%.

Conclusiones

El uso de energías provenientes de fuentes renovables es una alternativa de inversión la cual permite reducir la dependencia de los combustibles fósiles y contribuye al cuidado medioambiental de una nación, así como favorece la economía por el hecho de dejar de invertir en combustibles, que en algunos casos no existen en el país de explotación y uso.

La Republica Dominicana tiene carencias en la gestión del sector eléctrico, así como en el manejo de los residuos sólidos urbanos, es por ello que con este proyecto se trazaron los objetivos de darle un manejo efectivo a los residuos o al menos el mayor porcentaje de ellos, utilizándolos para aportar a una situación existente como es el sector eléctrico y reducir la otra situación desfavorable como es el manejo de los residuos.

A raíz de la investigación, y en función a los objetivos planteados al inicio de la misma, se pueden resaltar las siguientes conclusiones:

- La República Dominicana no cuenta con registros ordenados de los proyectos que se han intentado llevar a cabo con relación al aprovechamiento energético de los residuos sólidos urbanos, tampoco se lleva un control detallado de los desechos que se depositan en los vertederos.
- No existe actualmente ningún mecanismo de separación de desechos a gran escala, solo el trabajo que realizan los “buzos” en el vertedero.
- Invertir en alternativas como esta resulta factible, porque se tiene abundantes recursos para su aprovechamiento, lo cual conlleva a no tener que recurrir a paros por escasez de materia prima, ya que el mal manejo de los RSU es una problemática nacional.
- Al no ser una tecnología conocida y/o aplicada en el país, se dimensiono a baja escala, para que, al momento de la ejecución, de darse la oportunidad, se incurra en las menores variaciones posibles.
- Por ser uno de los países que maneja un precio de venta de energía, por encima de la mayoría de los países de Latinoamérica y el resto del mundo, la inversión resulta factible, ya que en este caso se recupera antes del primer año.

- Existen diversas maneras de aprovechamiento de RSU, en el país solo existen 9 proyectos similares, los cuales no tienen registros detallados, por consecuente impide ser una referencia para investigaciones como esta.
- La ejecución de este proyecto no solo aportaría al sector eléctrico y de los desperdicios en República Dominicana, sino al medioambiente de igual manera, ya que producir la energía eléctrica que se obtendría usando biogás, a partir de un combustible fósil, representará la emisión de contaminantes y gases de efecto invernadero, además del costo adicional que representa la compra de la materia prima.

Luego de ver los inconvenientes que tuvieron lugar en el estudio de campo in situ, al momento de realizar la investigación de lugar para el proyecto y por las anteriores conclusiones se precisa hacer las siguientes recomendaciones:

- Al estado dominicano, velar por el correcto cumplimiento de lo establecido en las leyes que rigen dicho país, con relación a cómo deben hacerse las cosas y a las funciones de ciertas instituciones.
- Gestionar que los proyectos en los que se invierte para mejorar las situaciones en las que se encuentra el país, ya sean energética o de problemas medioambientales y sociales, vayan de la mano con los acuerdos firmados por el mismo, como es el caso del acuerdo de Paris, que busca reducir las emisiones de GEIs para el 2030.
- Las investigaciones y correcta documentación de estas, proyectos enfocados al aprovechamiento de los recursos renovables en la Republica Dominicana y al fomento de un medioambiente y entorno social sostenibles.

Referencias Bibliográficas

- ✓ Reyes Pérez, G. (1996). Valorización de los desechos orgánicos con tecnología apropiada para RD. Santo Domingo, República Dominicana.
- ✓ Agencia de Cooperación Internacional de Japón y Ayuntamiento Distrito Nacional. (2006). Estudio Del Plan De Manejo Integrado De Los Desechos Sólidos En Santo Domingo De Guzmán Distrito Nacional Republica Dominicana. Santo Domingo, República Dominicana.
- ✓ Méndez María T., Heisen V., Mirabal M. (2015). 3R Reducir, Reusar, Reciclar. Santo Domingo, República Dominicana.
- ✓ Ferreras R. (2015). Los desechos sólidos en la República Dominicana: su proceso y destino final. Santo Domingo, República Dominicana.
- ✓ Guerrero Chalas M., Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2014). Política para la gestión integral de Residuos sólidos Municipales (RSM). Santo Domingo, República Dominicana.
- ✓ Sáez A., Urdaneta G. (2014). Manejo de Residuos Sólidos en América Latina y el Caribe. Zulia, Venezuela.
- ✓ De los Santos, J. (2012). El problema de la acumulación de desechos sólidos en las calles de Santo Domingo Este y alternativas de solución. Tesis para optar por el título de Máster en Desarrollo Urbano y Territorial Sostenible. Recuperado de <http://biblioteca.funlode.net.do>
- ✓ United States Agency of International Development (USAID). (2011). Problemática actual de los desechos sólidos República Dominicana. Recuperado de <http://www.cedaf.org.do>
- ✓ Alcántara, Y. (2014, 15 de enero) ¿Por qué fracasan los proyectos para Duquesa? *Diario Libre*. Recuperado de <http://www.diariolibre.com>
- ✓ Toledano C. (2012). Energías Renovables: lo que hay que saber. España
- ✓ Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). (2017). EnerLAC. Revista Energética de Latinoamérica y el Caribe. Quito, Ecuador
- ✓ (2014). La energía eléctrica en la República Dominicana: reto estatal y sostenibilidad del sector. *Diario Libre*. Recuperado en <https://www.diariolibre.com/opinion/la-energa-elctrica-en-la-repblica-dominicana-reto-estatal-y-sostenibilidad-del-sector-DKdl579291>

- ✓ De La Cruz S. (2017). República Dominicana, el país con más apagones en AL y el Caribe. *El Dinero*. Recuperado en <https://www.eldinero.com.do/40325/republica-dominicana-el-pais-con-mas-apagones-en-al-y-el-caribe/>
- ✓ Vergara W., Isbell P. Rios A., Gómez J. (2014). Beneficios para la adopción de fuentes renovables de energía en América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo.
- ✓ Dirección de Información, Análisis y Programación Estratégica. (2017). Informe Esecial Central Termoeléctrica Punta Catalina. Santo Domingo, República Dominicana.
- ✓ Gómez F. (2016). Generación de Energía a partir de la biomasa. República Dominicana.
- ✓ Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2011). Situación y Potencial de Valorización Energética Directa de Residuos, Estudio Técnico PER 2011-2020. Madrid.
- ✓ Carreras N. (2010). Introducción a la gestión de vertederos. Casares, Málaga.
- ✓ Andrés P., Rodríguez R. (2008). Gestión y Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos.
- ✓ Espinosa M., Torres M., Arrechea A. (2006). La Fracción Orgánica de Los Residuos Sólidos Urbanos como Fuente Potencial de Producción de Biogás. La Habana, Cuba.
- ✓ Blanco G., Santalla E., Córdoba V., Levy A. (2017). Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: un análisis teórico-práctico. Banco Interamericano de Desarrollo.

Consultados

- ✓ Hongting M., Yang C., Xinyu L., Zequn D., Weiye Z. (2015). Revisión del estado típico de disposición de desechos sólidos municipales y tecnología energética. China.
- ✓ Hassan A., Arafat K., Jijakli A. (2013). Rendimiento Medioambiental Y Potencial De Recuperación De Energía De Cinco Procesos De Tratamiento De Residuos Sólidos Urbanos. Malasia, Emiratos Arabes Unidos.
- ✓ Matsakas L., Qiuju G., Jansson J., Ulrika R., Christakopoulos P. (2017). Conversión verde de desechos sólidos municipales en combustibles y productos químicos. Valparaiso, Chile.
- ✓ Méndez Muñiz J., Cuervo García R. ECA Instituto de Tecnología y Formación. (2da. Edición). (2012). Energía Solar Fotovoltaica. Recuperado en <https://books.google.es/>
- ✓ Gutiérrez Estrada S. (2009). Residuos sólidos municipales III. Guanajuato, México.

- ✓ Glover B. (2009). Biogas Capture and Utilization: An Effective, Affordable Way to Reduce Greenhouse Gas Emissions and Meet Local Energy Needs, Environmental and Energy Study Institute. Washington DC. Estados Unidos.
- ✓ Kean Fong W., Sotos M., Doust M., Schultz S. Marques A., Deng-Beck C. Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria. World Resources Institute
- ✓ López Arriaza D. (2016) Modelo para el Diseño de Sistemas de Captación y Aprovechamiento de Biogás producido en Rellenos Sanitarios. Santiago de Chile, Chile.
- ✓ BP Statistical Review of World Energy (2017).
- ✓ Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE. (2007) Biomasa: Digestores anaerobios.

Leyes y/o Normativas

- ✓ **Ley 64-00 Medio Ambiente y Recursos Naturales**
- ✓ **Ley No. 42-01 Ley General de Salud**
- ✓ **Ley No. 1-12. Que establece la Estrategia Nacional de Desarrollo 2030**
- ✓ **Ley No. 136-03 Código de Protección niños/as y adolescentes**
- ✓ **Ley No. 66-97 Ley General de Educación**
- ✓ **Ley No. 176-07 del Distrito Nacional y los Municipios**
- ✓ **Ley 57-07. Sobre Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables de Energía y de sus Regímenes Especiales.**
- ✓ **Norma para la Gestión Ambiental de Residuos Sólidos No Peligrosos.**
- ✓ **Ordenanza Sustitutiva de Aseo Público.**
- ✓ **Ley No. 126-09 que aprueba el Reglamento sobre los Desechos y Residuos Generados**

Páginas Web visitadas

- ✓ <http://www.cne.gob.do/estadisticas-energeticas/>
- ✓ <http://sanut.com/energia/>
- ✓ <http://www.cogersa.es/metaspacesportal/14498/19174>
- ✓ <https://www.gepower.com/gas/reciprocating-engines/jenbacher/type-2>
- ✓ <http://www.idae.es/>
- ✓ <https://www.google.es/maps>
- ✓ <https://www.cne.gob.do/>
- ✓ <http://cdeee.gob.do/cdeeesite/>
- ✓ <http://www.sie.gob.do/>