



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS  
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

*Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo  
Departamento de Ingeniería Industrial*

*Tesis presentada en opción al grado académico de  
Master en Ciencias en Ingeniería Industrial*

*Título: Procedimiento para diseño de instalaciones  
de biogás con fines energéticos*

*Autora: Ing. Isdiany Saure Rodríguez*

*Tutores: Dr. C. Fernando Marrero Delgado*

*Dr. C. Osvaldo Romero Romero*

2009-2010

A close-up photograph of Fidel Castro Ruz, the former leader of Cuba. He is shown from the chest up, wearing a green military-style jacket with a red star and yellow emblem on the shoulder. He has a full grey beard and is looking slightly to the right of the camera. The background is dark and out of focus. In the bottom right corner, there are several black microphones on stands.

**“...Nosotros no estamos esperando que aparezca mucho petróleo, porque hemos descubierto, afortunadamente, algo mucho más importante, la utilización de energías renovables, que es como encontrar un gran yacimiento”.**

**Fidel Castro Ruz**

# *Dedicatoria*

A decorative graphic consisting of three lines: a dark blue horizontal line, a light blue horizontal line below it, and a dark blue vertical line on the right side that intersects both horizontal lines.

*Le dedico mi investigación a las dos personas más importantes de mi vida, mis padres, los que me han enseñado a transitar en la vida por el camino correcto, a ellos les debo el que hoy este aquí. Con todo mi corazón a mami y papi.*

*A todos*

*Muchas Gracias*

*Agradecimientos*



---

---

*Eterno agradecimiento a mi familia; a mi mamá, a mi papá, mi hermana y mi esposo, que se han esforzado a mi lado durante toda mi vida y por todo el amor y la confianza que han depositado en mi.*

*Les agradezco inmensamente a mis tutores quienes brindaron toda su experiencia y sabiduría en aras de apoyar esta investigación.*

*Agradezco a todas las personas que de una forma u otra me han ayudado, pienso que este resultado de estudios y sacrificios.*

*A todos*

*Muchas Gracias*

# *Abstract*



## **Abstract**

The biogás production is an ideal source of energy for countries of the first world and developing, for the characteristic of using as matter prevails, efluents and residuals of main productions, transforming it into an opportunity for Cuba like source of electric power generation.

In the country some intents exist of producing biogás to industrial scale but in none of the cases it has been possible the use of the energy potentialities of the gas, either for errors made in their structural and technological design or that it was not conceived with this objective from initial stages.

In the present investigation these inadequacies are overcome by means of the development of a general procedure for the design of biogás facilities with energy ends, with a specific procedure for the planning of the installation that supports the process of taking of decisions for the construction of a plant of this type.

Finally they were possible to integrate a group of tools that you/they contribute to the selection, localization, distribution and economic, social and environmental evaluation of a biogás installation among those that are: you interview, interviews, experts' methods, group dynamics, technical of localization, distribution, multicriterios, among others.

# *Resumen*



---

---

## Resumen

La producción de biogás es una fuente ideal de energía para países del primer mundo y en vías de desarrollo, por la característica de utilizar como materia prima, efluentes y residuos de producciones principales, convirtiéndolo en una oportunidad para Cuba como fuente de generación de energía eléctrica.

En el país existen algunos intentos de producir biogás a escala industrial pero en ninguno de los casos ha sido posible el aprovechamiento de las potencialidades energéticas del gas, ya sea por errores cometidos en su diseño estructural y tecnológico o que no fue concebido con este objetivo desde etapas iniciales.

En la presente investigación se superan estas insuficiencias mediante el desarrollo de un procedimiento general para el diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos, con un procedimiento específico para la planeación de la instalación, que soporta el proceso de toma de decisiones para la construcción de una planta de este tipo.

Finalmente se lograron integrar un conjunto de herramientas que contribuyen a la selección, localización, distribución y evaluación económica, social y ambiental de una instalación de biogás entre las que se encuentran: encuestas, entrevistas, métodos de expertos, dinámica de grupo, técnicas de localización, distribución, multicriterios, entre otras.

# *Índice*





---

---

## Índice

<b>Introducción</b>	1
<b>Capítulo I: Marco Teórico y Referencial de la investigación</b>	
Introducción	6
1.1 Situación energética mundial	7
1.2 Situación energética en Cuba	8
1.3 Otras fuentes de energía	9
1.4 Biogás, alternativa de producción energética internacional	13
1.4.1 Tendencias actuales de la producción de biogás	15
1.5 Biogás, alternativa de producción energética nacional	16
1.5.1 Estado actual de la producción de biogás en Cuba	18
1.6 Procedimientos para el diseño de instalaciones	20
1.6.1 Modelos seguidos para el diseño de plantas de biogás en Cuba	23
1.7 Regulaciones que establece el CITMA para el diseño de plantas en el país	24
1.8 Conclusiones parciales	24
<b>Capítulo II: Procedimiento para el diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos</b>	
Introducción	26
2.1 Aspectos generales para la construcción del procedimiento propuesto	26
2.1.1 Premisas de construcción	26
2.1.2 Objetivo del procedimiento	27
2.1.3 Principios en los que se sustenta el procedimiento	27
2.2 Desarrollo del procedimiento para el diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos	28
2.2.1 Etapa 1: Análisis de la situación actual del área objeto de estudio	28
2.2.2 Etapa 2: Planeación de la Instalación	31
2.2.3 Etapa 3: Evaluación de la factibilidad económica, social y ambiental de las alternativas de inversión	39
2.3 Conclusiones parciales	42

---

---

<b>Capítulo III: Aplicación del procedimiento para el diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos</b>	
Introducción	43
3.1 Desarrollo del procedimiento para el diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos en la provincia Sancti Spiritus	43
3.1.1 Etapa 1: Análisis de la situación actual en la provincia Sancti Spiritus	43
3.1.2 Etapa 2: Planeación de la Instalación	48
3.1.3 Etapa 3: Evaluación de la factibilidad económica, social y ambiental de la alternativa de inversión	56
3.2 Conclusiones parciales	58
<b>Conclusiones generales</b>	60
<b>Recomendaciones</b>	61
<b>Referencias bibliográficas</b>	62
<b>Anexos</b>	69

# *Introducción*



---

---

## Introducción

La situación actual del panorama energético es muy controvertida. El incremento de la población en el mundo, la demanda de energía y la contaminación ambiental crecen de forma acelerada, sin embargo la producción de energía no se incrementa de la misma manera.

De las fuentes de energía que se dispone son múltiples, pero solo unas pocas tienen una importante aportación al abastecimiento, justamente aquellas que por sus previsible efectos futuros o experiencias del pasado, han ocasionado un importante rechazo popular. El mundo está frente a un dilema energético: se necesita más energía pero no se aceptan las fuentes que permiten su abastecimiento, hasta tal punto que la energía, base del desarrollo, es considerada hoy, como un “mal necesario”.

Los hidrocarburos son una de las grandes bases energéticas de la sociedad, pero son de tipo no renovables, que una vez agotadas las reservas en el mundo no podrán ser repuestas.

Los recursos energéticos son el conjunto de medios con que los países del mundo intentan cubrir sus necesidades de energía. La energía es la base de la civilización industrial, sin ella la vida moderna dejaría de existir. A largo plazo es posible que las prácticas de conservación de energía proporcionen el tiempo suficiente para explotar nuevas posibilidades tecnológicas. Mientras tanto, el mundo seguirá siendo vulnerable a trastornos en el suministro de petróleo, que se convirtió en la principal fuente de energía en la actualidad.

La crisis energética de la década de los 70, que introdujo una nueva línea de pensamiento en materia de energía y sus formas tradicionales, ha dado paso a la búsqueda de energías renovables como sustitutos del petróleo, sus derivados y demás combustibles fósiles, los cuales tienden a agotarse en un futuro cercano y a su vez producen gases de efecto invernadero durante su transformación.

Las actuales circunstancias ambientales que configuran los riesgos derivados del cambio climático han obligado a pensar en la sustitución acelerada de los combustibles fósiles por fuentes renovables de energía.

Las formas de energía renovable son muchas en la naturaleza e incluyen la energía solar, la eólica, energía marítima, geotérmica y energía de la biomasa, energía producida por la fermentación anaerobia de materiales orgánicos, etc.

Los energéticos renovables no producen el efecto de los fósiles, solamente la biomasa produce dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en su uso, sin embargo a juicio de los expertos, la cantidad emitida puede ser balanceada con la fijación de esta sustancia durante el proceso de fotosíntesis, por ello si es usada adecuadamente y de forma sustentable, el balance neto es cero.

El desarrollo de nuevas fuentes renovables y producciones alternativas locales ha sido un aspecto importante de la aplicación de la nueva política económica seguida por el país con el aprovechamiento de efluentes y residuos de producciones principales.

Diseños de biofermentadores anaeróbicos, asociados a un motor convertido a biogás, y energía fotovoltaica, contribuyen a establecer una fuente de energía renovable no contaminante, disminuyendo el consumo de madera y leña; esto sería algo más que una alternativa energética, una opción ecológica.

Por lo que se puede plantear que la generación de energía eléctrica es otra de las alternativas de diversificación de las producciones de una planta de biogás, lo que puede constituir una oportunidad para Cuba, si se tienen en cuenta las transformaciones del Sistema Electroenergético Nacional, que entre sus prioridades está la generación a partir de la utilización de grupos electrógenos (motores de combustión interna) que consumen diesel y fuel oil, como combustible y para cual se reportan trabajos como CIPAV (1997), que asegura que el biogás puede sustituir a éstos hasta en un 80%.

La problemática radica en como producir biogás a escala industrial con fines energéticos, es decir, en Cuba existen algunos intentos de producir biogás a escala industrial, se puede mencionar la Empresa Mielera Heriberto Duquesne, en Remedios, Villa Clara (Obaya Abreu ,2004), la planta demostrativa de la empresa alemana Biogas Nord, en el Complejo Azucarero Enrique Varona González con su Destilería Nauyú (Levys, 2006), la planta de biogás del central Antonio Guiteras,

ubicada en Las Tunas, y está en fase de prueba la planta productora de biogás, considerada única de este tipo en el país, en áreas del vertedero de la calle 100, en la capital cubana; en ninguno de los casos ha sido posible el aprovechamiento de las potencialidades energéticas del gas, ya sea por errores cometidos en su diseño estructural y tecnológico o que no fue concebido con este objetivo desde las etapas iniciales.

Además existe referencia de autores como Bretaña del Campo (2007), Martín Martín (1996), Ramírez Rodríguez (2004), que no conciben el diseño de plantas de biogás a escala industrial, es decir, centran su investigación en el diseño de biodigestores para un caso de estudio a pequeña escala.

En la bibliografía consultada solo se encontró la Estrategia desarrollada por Barreto Torrella (2006), para la inserción industrial de la digestión anaerobia en el desarrollo regional, como el procedimiento más integral sobre el diseño de instalaciones de biogás, aunque el mismo no distingue el proceso de digestión anaerobia con fines energéticos, ni como sistema de producción, además de no incluir en ningunas de las etapas: el pronóstico de la demanda del producto a realizar, técnicas de microlocalización de la instalación y distribución en planta, trata el proceso de producción elemental, es decir, relación de los componentes: fuente generadora de materia prima, proceso productivo y destino de los productos, sin tener en cuenta los procesos auxiliares que incluye la obtención de energía eléctrica a partir de biogás y el sistema de manejo de materiales.

Por todo lo antes expuesto, resulta necesario contar con alguna herramienta que permita el diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos, para lograr la identificación de los principales indicadores en el proceso de diseño para su futura aplicación, como alternativa a la producción energética a gran escala y que facilite, las perspectivas de desarrollo energético en Cuba y en especial de la provincia Sancti Spiritus.

Lo anteriormente planteado, conduce a reconocer como **problema científico** de la investigación, el siguiente:

No existen diseños de instalaciones biogás con fines energéticos que permitan la implementación de esta tecnología a nivel territorial, con los condicionantes y

particularidades no solo del entorno empresarial cubano sino también desde el punto de vista del desarrollo local del territorio.

De acuerdo con lo anteriormente planteado, así como, de la revisión bibliográfica especializada y otras fuentes en la construcción del marco teórico o referencial de la investigación, se formuló la **Hipótesis de investigación** siguiente: si se desarrolla un procedimiento para realizar el diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos, que considere las condicionantes y particularidades no solo del entorno empresarial cubano, sino también desde el punto de vista del desarrollo local del territorio, será posible implementar esta tecnología a nivel territorial.

Esta hipótesis quedará validada si:

1. Se logra desarrollar un procedimiento que permite el diseño de instalaciones de biogás teniendo en cuenta las condicionantes y particularidades no solo del entorno empresarial cubano, sino también desde el punto de vista del desarrollo local del territorio.
2. Se logra identificar principales indicadores en el proceso de diseño para la implementación de este tipo de tecnología y utilizar eficientemente los residuos generados por las entidades del territorio.

Todo lo anterior conduce a plantear en la investigación, el sistema de objetivos siguientes:

**Objetivo general:** Desarrollar un procedimiento que posibilite el diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos.

Este objetivo general se desglosa en los **objetivos específicos** siguientes:

1. Identificar y caracterizar los diferentes procedimientos que se utilizan para el diseño de instalaciones para fundamentar teóricamente la selección del procedimiento a emplear.
2. Identificar los principales principios, objetivos, entradas, salidas y herramientas que soportan el procedimiento a diseñar.
3. Diseñar el procedimiento para instalaciones de biogás con fines energéticos.
4. Implementar de forma parcial el procedimiento diseñado a un caso de estudio.

5. Evaluar los resultados que se obtienen con la aplicación.

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron como herramientas y técnicas principales: la entrevista, la observación, el análisis de datos, dinámica de grupos, técnicas multicriterios, de localización y distribución de instalaciones; además se emplearon métodos de investigación científica como: método hipotético-deductivo, método histórico-lógico y el dialéctico, método analítico-sintético, entre otros.

La Empresa azucarera Melanio Hernández, tomada como caso de estudio para la aplicación del procedimiento propuesto, obtendrá beneficios sociales, asociados al tratamiento adecuado de los residuos generados durante el proceso de producción, al eliminar los impuestos establecidos por el vertimiento de residuos que afectan al medio ambiente, y a la reducción de emisiones de dióxido de carbono y metano calculados en 87883,77 toneladas al año, lo que fundamenta la **relevancia o importancia social** de la investigación.

El **valor teórico** de la investigación radica en sintetizar a través de marco teórico y referencial, un conjunto de conceptos y técnicas que pueden ser empleadas, así como, en la ampliación de los conocimientos adquiridos. En el trabajo se enfatizará en los procedimientos existentes para el diseño de instalaciones biogás.

El **valor metodológico** se manifiesta durante el transcurso de la investigación, en la obtención de conocimientos, herramientas y procedimientos que podrán ser integrados para el diseño de instalaciones. Además de proporcionar un procedimiento de utilidad práctica el cual podrá ser utilizado por otras empresas o por otros investigadores que deseen estudiarlo para su uso o perfección.

El trabajo se compone de una introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones y bibliografía, además de la inclusión de un grupo de anexos necesarios para comprender los resultados alcanzados.

# *Capítulo I*



---

---

## Capítulo I: Marco Teórico y Referencial de la investigación

### Introducción

Este capítulo tiene como objetivo crear una base como sustento al problema científico a solucionar en la investigación, precisado en la introducción de esta tesis. La estrategia seguida por el autor para la construcción del Marco Teórico y Referencial (ver Figura 1.1) se estructuró de forma tal que permitiera el análisis del estado del arte y de la práctica en la temática objeto de estudio, permitiendo sentar las bases teórico-prácticas del proceso de investigación. Se realizó un análisis crítico de la bibliografía existente y otras fuentes con vistas a precisar los principales aspectos conceptuales y de la práctica involucrados en la investigación.

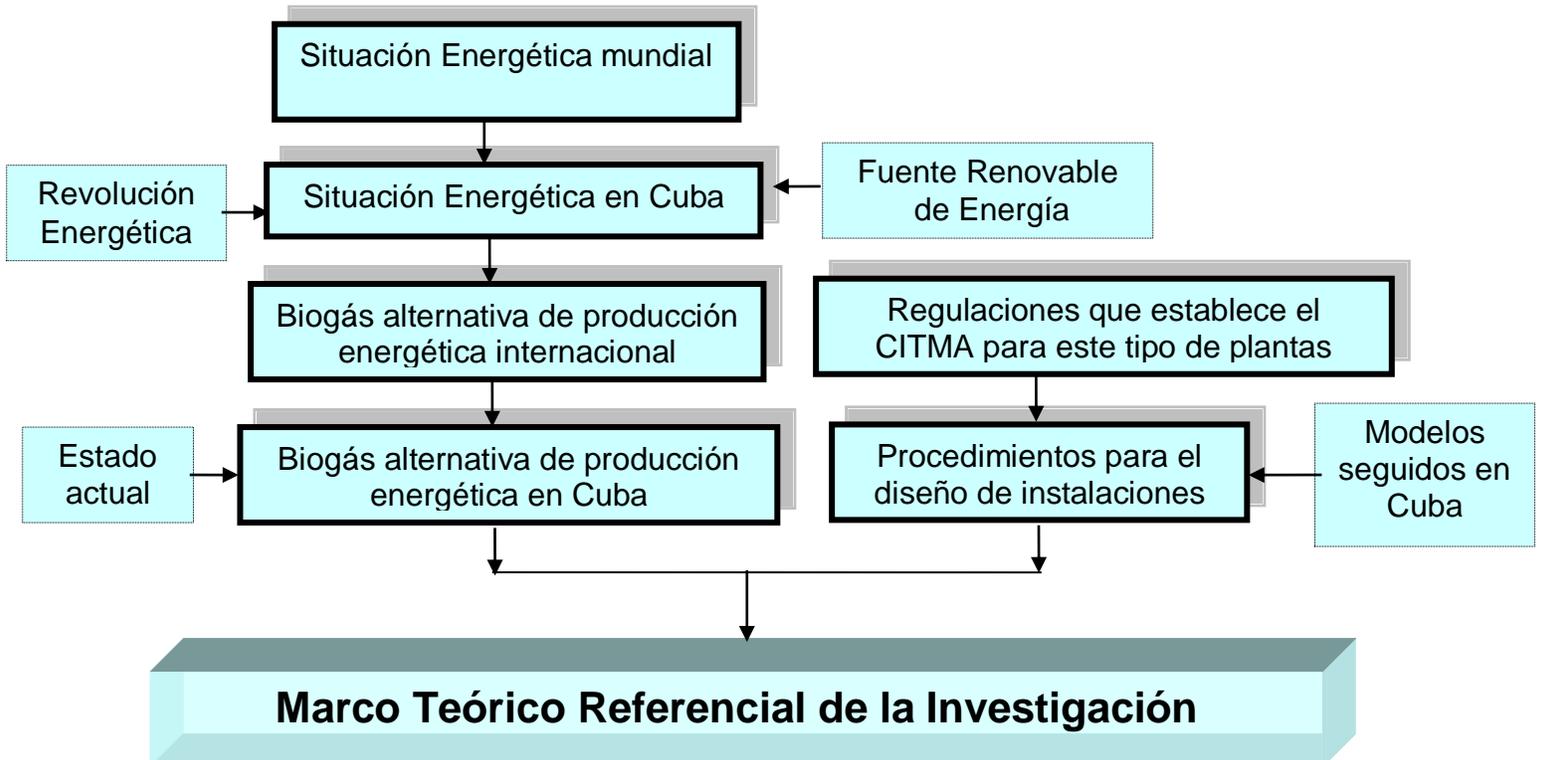


Figura 1.1: Hilo conductor seguido en la construcción del marco teórico y referencial de la investigación.

## **1.1 Situación energética mundial**

El consumo de energía, por lo general, es valorado como un índice de progreso económico y social de un país. Por eso, durante mucho tiempo, las consecuencias medioambientales y sociales de los patrones de consumo de energía, fueron dejadas a un lado, el acceso a la energía ha sido siempre un prerequisite del desarrollo económico; la prosperidad que trae, estimula la demanda de más servicios y de mejor calidad; sin embargo, en materia de energía, la única manera de tener un futuro seguro es producirla y utilizarla de manera sostenible.

El agotamiento paulatino de los recursos energéticos existentes, su impacto en el cambio climático, la salud, la conservación y ahorro de la energía, la disponibilidad real de alternativas basadas en fuentes renovables y su dependencia de la evolución de la población del planeta y de los nuevos descubrimientos científicos en este campo, son hoy un tema muy discutido y continuaran siendo medulares para el futuro de la humanidad.

En la actualidad los hidrocarburos son una de las grandes bases energéticas de la sociedad, pero son energías de tipo no renovable, es decir una vez agotadas no podrán ser repuestas. (Arrastía Ávila, 2009)

El modo irracional en que han sido utilizados estos recursos no renovables ha dañado considerablemente la naturaleza, como enfatizara oportunamente el líder de la Revolución Cubana, Fidel, al apuntar que en apenas un siglo se han quemado y lanzado al aire y a los mares, como desechos de gases y productos derivados, gran parte de las reservas de hidrocarburos que la naturaleza tardó ciento de millones de años en crear.

Se estima que, de acuerdo a los ritmos actuales, las reservas globales de petróleo se agotarán en unos cuarenta años, mientras las del gas natural y carbón llegarán a su fin en unos sesenta y doscientos años, respectivamente., según cálculos actuales reportados por de la British Petroleum (2006).

Otras estimaciones menos optimistas hacen pensar en que la humanidad podría encontrarse, a la vuelta de unos diez años, al borde de una grave crisis energética de consecuencias impredecibles. (Arrastía Ávila, 2009)

El suministro del petróleo está controlado en gran medida por las compañías petroleras nacionales de países con reservas abundantes de petróleo barato, entre ellos los Emiratos Árabes Unidos, Arabia Saudita, Venezuela y Kuwait. Muchos de estos países forman parte de un cartel conocido como OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo). Puesto que la OPEP controla una gran proporción de la producción de petróleo, ejerce una fuerte influencia en el precio mundial del petróleo. Cuando la OPEP decide reducir las cuotas de producción a sus países miembros, esto tiende a elevar el precio del petróleo por cuanto que el suministro disminuye (British Petroleum, 2005).

Los mayores consumidores de petróleo en el mundo lo constituyen EUA, China y Japón, con alrededor del 37.2% del consumo mundial, mientras que las dos terceras partes de las reservas probadas de petróleo están en el Medio Oriente: Arabia Saudita 22.1%, Irán 11.1%, Irak 9.7% Kuwait 8.3% y Emiratos Árabes Unidos 8.3% (British Petroleum, 2006).

De seguir esta tendencia, algunos analistas calculan que para 2015 los países del Golfo Árabe- Pérsico controlarán el 95% de la capacidad de exportación a nivel mundial, puesto que los demás países con reservas disponibles tendrán que absorberlas para consumo doméstico.

## **1.2 Situación energética en Cuba**

Al triunfo de la Revolución en 1959 Cuba contaba con una capacidad de generación de 470 MW y sus instalaciones se repartían entre dos sistemas eléctricos independientes: uno para la zona centro occidental y el otro para la oriental. El total del servicio abarcaba el 56% de la población cubana. Este servicio no llegaba a una gran parte de las zonas rurales. En 1966 la situación de la generación de electricidad mejoró en el país con la adquisición y entrada en servicio de generadores y plantas termoeléctricas provenientes de la URSS y de otros países de Europa del Este, altas consumidoras de fuel oil. La capacidad instalada fue progresivamente en aumento, y hoy existe una potencia instalada de 4605MW, que es nueve veces mayor con respecto al año 1959. Con un suministro de energía a través del SEN al 95 % de la población. (Pérez Escoso, 2009).

Al desaparecer el mercado soviético, seguro y de precios diferenciados, creó una situación en el Sistema Electro energético Nacional (SEN) que obligó a utilizar el crudo cubano, de alta viscosidad por el azufre que contiene, cuestión que con el decursar de los años se hizo insostenible y provocó que en septiembre del 2004 el SEN colapsara.

Ante esta situación, la máxima dirección del país de forma valiente y clara analizó ante la opinión pública nacional e internacional esta problemática y decidió la toma de un grupo de decisiones importantes que cambiarían totalmente la concepción de la generación eléctrica en Cuba.

Como principales medidas adoptadas para la transformación del sistema se planteó la adquisición e instalación de equipos de generación más eficientes y seguros con grupos electrógenos y motores convenientemente ubicados, la intensificación acelerada del programa para incrementar el aprovechamiento del gas acompañante del petróleo nacional en la generación de electricidad mediante la tecnología del ciclo combinado.

Las redes de distribución dado su estado anticuado e ineficiente, están afectando el costo y la calidad de la electricidad por lo que se planteó su rehabilitación total; a partir del Programa de Ahorro de Energía en Cuba (PAEC), la sustitución inmediata y masiva de una serie de artefactos y equipos bastante antiguos e ineficientes, así como, el desarrollo de las investigaciones para el uso de las energías renovables (Castro Ruz, 2006).

Como parte de las medidas adoptadas hasta el año 2009 se realizaron montajes y puestas en marcha de 863 grupos electrógenos de Diesel, sincronizados en sub-estaciones para una potencia total de 1183 MW, la culminación de este programa aportara al SEN una disponibilidad de 1308 MW; se instalaron además 314 grupos de emergencia con un potencia total de 127MW, también se iniciaron las actividades del programa de instalación de grupos electrógenos con fuel oil con 13.6 MW sincronizados hasta el 31 de diciembre. (Geysel, 2006).

En resumen, aun en la actualidad el sistema electroenergético nacional basa su generación en el uso de los llamados combustibles convencionales, que continúan agotándose y contaminando el entorno, por tanto, la introducción y el desarrollo de

fuentes renovables de energía son aspectos importantes a incluir en la política energética del país, cuyo uso no se ha desarrollado de forma acelerada.

### 1.3 Otras fuentes de energía

El uso de las energías renovables no es un hecho novedoso, sin embargo la aparición de los combustibles fósiles las relegó por muchos años al olvido (Borroto Bermúdez, 1999). En la actualidad el panorama ha cambiado, por una parte los problemas medioambientales y por otra parte, la convulsa situación del mundo del petróleo (portador energético fundamental en la actualidad).

Existen diversas fuentes de energía que son consideradas como renovables y las mismas se pueden clasificar, de acuerdo con el gráfico de la figura 1.2, en: geotérmicas, solar, eólica, hidráulica y biomasa.

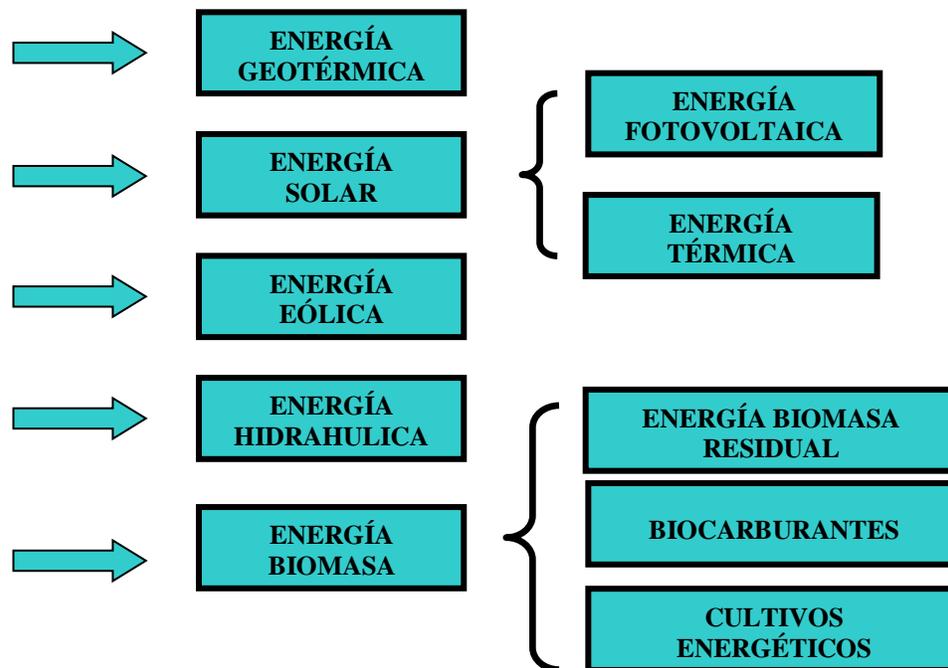


Figura 1.2 Fuentes de energías renovables. Fuente: Herminia, et al. (2006).

En Cuba resulta necesario continuar profundizando en los estudios de evaluación e identificación de las tecnologías más correctas para la utilización de las fuentes de energía desde la realidad de cada territorio, así como sus impactos ambientales y las

nuevas potencialidades de recursos nacionales especialmente en aquellos de carácter renovable que contribuyan a impedir el continuo deterioro del medioambiente, proponiendo las tecnologías más adecuadas para su aprovechamiento y sistematizando los balances energéticos en cada territorio.

Actualmente en el país las fuentes renovables de energía aportan un valor de 1063 miles toneladas equivalentes de petróleo (tep), a través de los dispositivos instalados de las mismas, distribuidos en biomasa (1037 miles tep), energía hidráulica (12,7 miles tep), energía eólica (10,86 miles tep) y energía solar (2,56 miles tep), como se muestra en el gráfico 1.1 y 1.2.

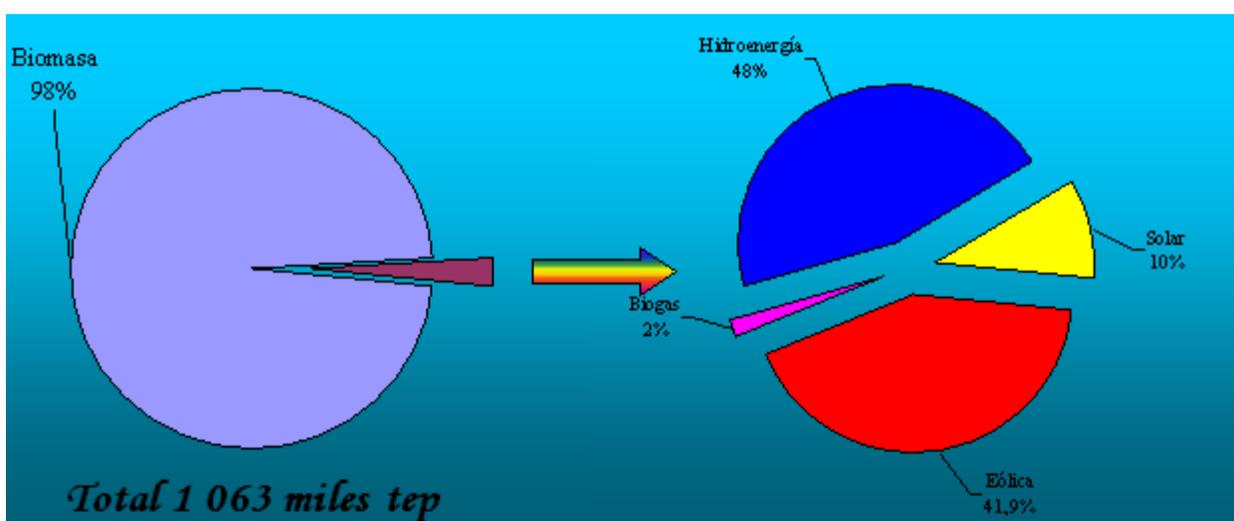


Gráfico 1.1: Energía producida por las fuentes renovables de energía. Fuente: Anuario Estadístico de Cuba 2008, Oficina Nacional de Estadísticas, 2009.

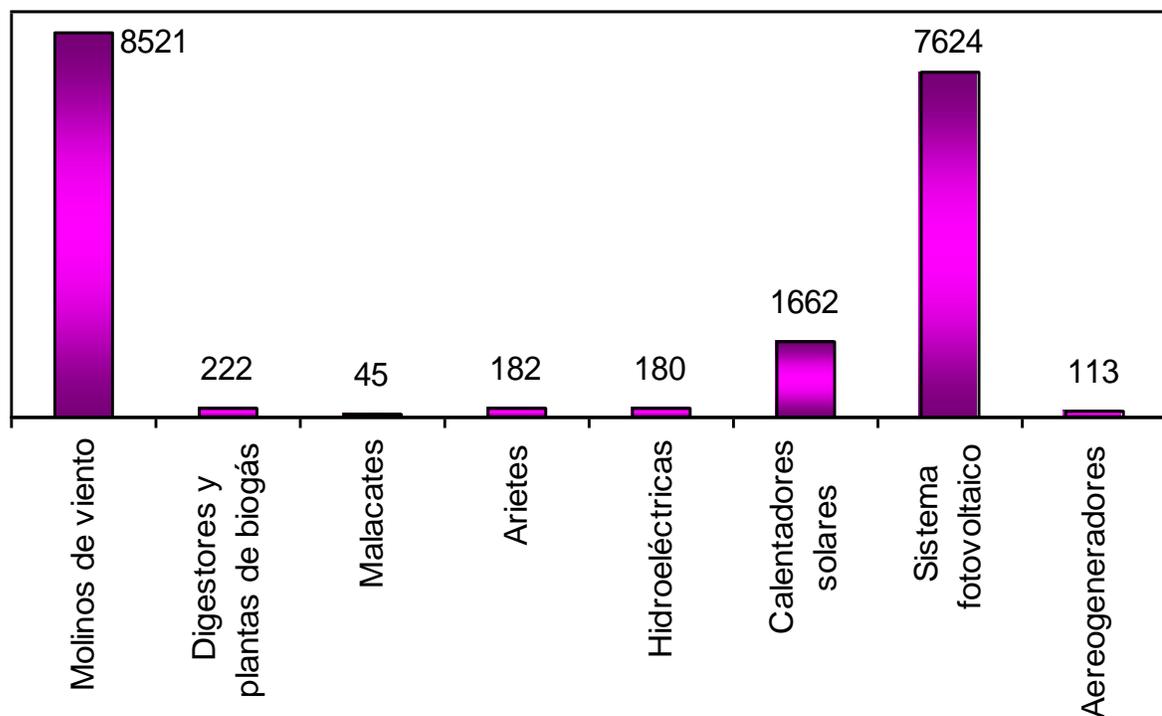


Gráfico 1.2 Cantidad de dispositivos instalados hasta el 2008. Fuente: Anuario Estadístico de Cuba 2008, Oficina Nacional de Estadísticas, 2009.

La energía solar, consecuencia del aprovechamiento directo de la radiación solar, se utiliza mediante dos grupos de tecnologías según sus características: energía térmica o calor mediante colectores térmicos o calentadores solares y energía eléctrica mediante la generación de electricidad con celdas fotovoltaicas en paneles solares u otros dispositivos fotovoltaicos. Hasta la fecha el aprovechamiento de la energía solar en Cuba es aún limitado, vinculado principalmente con calentadores solares de uso doméstico y paneles

fotovoltaicos dirigidos fundamentalmente a las telecomunicaciones, retransmisión de televisión, sistemas de iluminación de faros, electrificación de escuelas rurales y de servicios básicos sociales en comunidades aisladas del Sistema Electro Energético Nacional, sin vislumbrarse a corto y mediano plazo un desarrollo fuera de estas direcciones.

La energía eólica es una consecuencia directa de la solar como fuente primaria. Para el aprovechamiento del viento en la generación de electricidad aún no se ha caracterizado suficientemente la potencialidad energética del recurso, condición

básica para proyectar su desarrollo. No obstante, a partir del 2005 han sido varios los logros alcanzados en esta dirección, entre los que se encuentra, la confección del Mapa Eólico Nacional, la prospección del viento en más de 30 zonas, la instalación de 2 parques eólicos y el establecimiento de un programa de desarrollo a mediano plazo que contempla la instalación de más de 500 MW hasta el 2020, además de la apertura de instalaciones fabriles para la fabricación de componentes de los aerogeneradores con el fin de disminuir los costos de inversión.

La energía hidráulica, se aprovecha bajo la acción de la gravedad, ya sea por caída libre del agua o por flujo horizontal, transformándose mecánicamente mediante turbinas en energía eléctrica. Las condiciones geográficas de Cuba, alargada y estrecha, y las pocas potencialidades hidráulicas, con cuencas de poco caudal, no ofrecen posibilidades para construir centrales hidroeléctricas de mediana y gran capacidad, aunque ha sido utilizada a pequeña escala (micro, mini y pequeñas centrales entre 1 y 5 000 kW, pero sin embargo a largo plazo, las perspectivas energéticas con nuevas tecnologías para generar a partir de las salidas de presas, pudieran generar un potencial estimado de 550 MW (MINBAS, 2008).

Dentro de la biomasa residual, se encuentra una fuente de energía explotada durante las penurias económicas y energéticas producidas durante y después de la última guerra mundial. Se trata del gas del estiércol, gas de los pantanos o gas de granja, producido por fermentación del estiércol de animales y de residuos agrícolas en general. Por su origen biológico se le conoce mundialmente como **biogás**, que es una mezcla de gases que contiene metano, anhídrido carbónico, hidrógeno, oxígeno, gases diversos y vestigios de anhídrido sulfuroso. El proceso de fermentación anaeróbica que produce el biogás, genera también una mezcla residual que es un rico fertilizante orgánico de mayor calidad y contenido de nitrógeno que el estiércol fresco y que puede ser utilizado para formar un compost con residuos vegetales o ser distribuido sobre los campos como fertilizante de considerable valor.

Además, la producción de biogás tiene otros efectos económicos, sociales y ambientales, conocidos por la inmensa mayoría de los hombres que se dedican a esta labor a escala internacional y constituyen preocupación cada vez más alta por parte de estos, puesto que sería muy beneficioso para la humanidad toda, que la

generación de energía partir de este sistema. Lo anterior lo reafirma el hecho de que habría una reducción notable en la emisión de gases de efecto invernadero y la reducción de cargas contaminantes  $\text{DBO}_5$  en más del 90 % y del DQO en un 60 – 70 %, así como la disminución de emisiones de  $\text{CO}_2$ , que es un propósito del protocolo de Kyoto, puesto que fue valorado el efecto dañino que tiene para el medio ambiente a partir de los métodos generadores de energía predominantes en la actualidad. Es evidente también, la reducción de olores y de emisiones de gases de efluentes aplicados al terreno en más del 75%, la reducción de la atracción de moscas y ratones, así como la mejoría de la capacidad de separación de sólidos en los residuos y se logra una disminución de más del 60-75% de sólidos volátiles como consecuencia del proceso referido.

Para lograr la generalización de este proceso, que conllevará a la humanidad a nuevos horizontes energéticos, factibles a su bienestar, implica la existencia también de nuevas fuentes de empleo y, por supuesto, que la dependencia actual en cuanto al consumo energético sea sustituido por éste, más económico y sobre todo renovable.

Por tal motivo, resulta oportuna la realización de proyectos que permitan el aprovechamiento de los residuos orgánicos para la producción de energía utilizando el biogás como combustible.

#### **1.4 Biogás, alternativa de producción energética internacional**

Los orígenes de la producción de biogás, según un breve recuento que hace (Hernández, 1990) en el segundo Forum Nacional de Energía, se remontan al siglo XVII, exactamente en 1667 que fue cuando se identificó el gas metano ( $\text{CH}_4$ ) por Shiley, llamándosele “Gas de los pantanos”.

Durante la II Guerra Mundial, en Francia y Alemania se construyeron grandes fábricas productoras de biogás que se emplearon en abastecer de energía gaseosa a tractores y vehículos.

En 1941 los franceses Ducellier e Isman desarrollaron las primeras plantas denominadas “Constrúyala usted mismo”, que consistían en digestores de Bach o

lotes para campesinos. Casi todas estas fábricas de biogás cesaron de funcionar en el decenio de 1950 – 1959 al desarrollarse el uso de los combustibles fósiles, por la comodidad, simplicidad y bajos costos que significaban (Montalvo Martínez y Lorna Guerrero, 2003).

Durante 1950, en Asia y particularmente en la India, se conocía el uso de procesos fermentativos para producir el biogás y tratar ecológicamente los residuales orgánicos de forma artesanal; allí se desarrollaron modelos simples de cámaras de fermentación, más conocidos como biodigestores, para la producción de energía, bioabonos insuperables y saneamiento ambiental necesarios en los hogares (Turzo, 1984).

China es el país que ha llevado a la práctica el uso del biogás en mayor escala. En el año 2003, existían más de 6.7 millones de digestores rurales en funcionamiento. Estos proveen gas para cubrir necesidades de cocción e iluminación, a la vez que van recuperando suelos degradados a través de los siglos (Lugones León, 2003).

La India tiene hoy uno de los programas más grandes a escala mundial de energías renovables. Sus actividades cubren las principales tecnologías disponibles como biogás, biomasa, energía solar térmica y fotovoltaica, energía eólica, pequeñas hidroeléctricas y otras tecnologías emergentes.

En América Latina, Guatemala (1954) fue el primer país en iniciar el desarrollo de la tecnología del biogás utilizando volúmenes muy bajos de agua y desechos vegetales y/o animales. Posteriormente, México desarrolla también una tecnología de digestión apropiada en este campo, construyendo plantas de biogás para uso doméstico de muy costo bajo y de difusión fácil.

En el año 2001, CIPRES (Centro para la Investigación, la promoción y el Desarrollo Rural y Social) comenzó a implementar nuevas tecnologías de digestión aplicadas, como una alternativa al deterioro de las condiciones socioeconómicas, ambientales y en general de desarrollo humano en el sector rural de Nicaragua. Donde se construyeron 50 biodigestores para uso doméstico y agrícola en comunidades rurales. El objetivo fundamental era lograr que en todos los hogares campesinos se disminuyera la utilización de la leña para cocinar (León, 2003).

Existen otros ejemplos del aprovechamiento del biogás como fuente de energía pero con estos elementos se puede afirmar que desde sus orígenes la producción de biogás ha estado destinada al uso de éste como combustible en la cocción de alimentos, la iluminación, el accionamiento de vehículos con los motores de combustión interna, el saneamiento ambiental y la producción de bioabonos.

#### **1.4.1 Tendencias actuales de la producción de biogás**

En la actualidad la tendencia del uso del biogás como combustible ha estado encaminado hacia la generación de electricidad, por ejemplo, en el libro **“Producción y uso de biogás”** del Ministerio Federal Alemán para la Protección del Consumidor, la Alimentación y la Agricultura, 2004, se da información sobre el incremento de las instalaciones que generan energía eléctrica a partir de biogás. En Alemania de 850 plantas que existían en 1999 se incrementaron a 3711 en el 2008, con una potencia eléctrica total instalada de 1271 MW (ver gráfico 1.3) lo que evidencia que la construcción de estas plantas a tenido como fin la producción de electricidad.

En Madrid, se puso en marcha en 2003 una planta en la localidad de Pinto donde se tratan residuos y se exportan 117.000 MWh /año de electricidad a la red eléctrica que llega a unos 40 000 hogares.

También en América Latina se han realizado esfuerzos aislados, y de esta forma en Colombia, durante el primer semestre de 1997, CIPAV dio inicio a un proyecto para la utilización del biogás como reemplazo del combustible diesel en motores de combustión interna para la generación eléctrica.

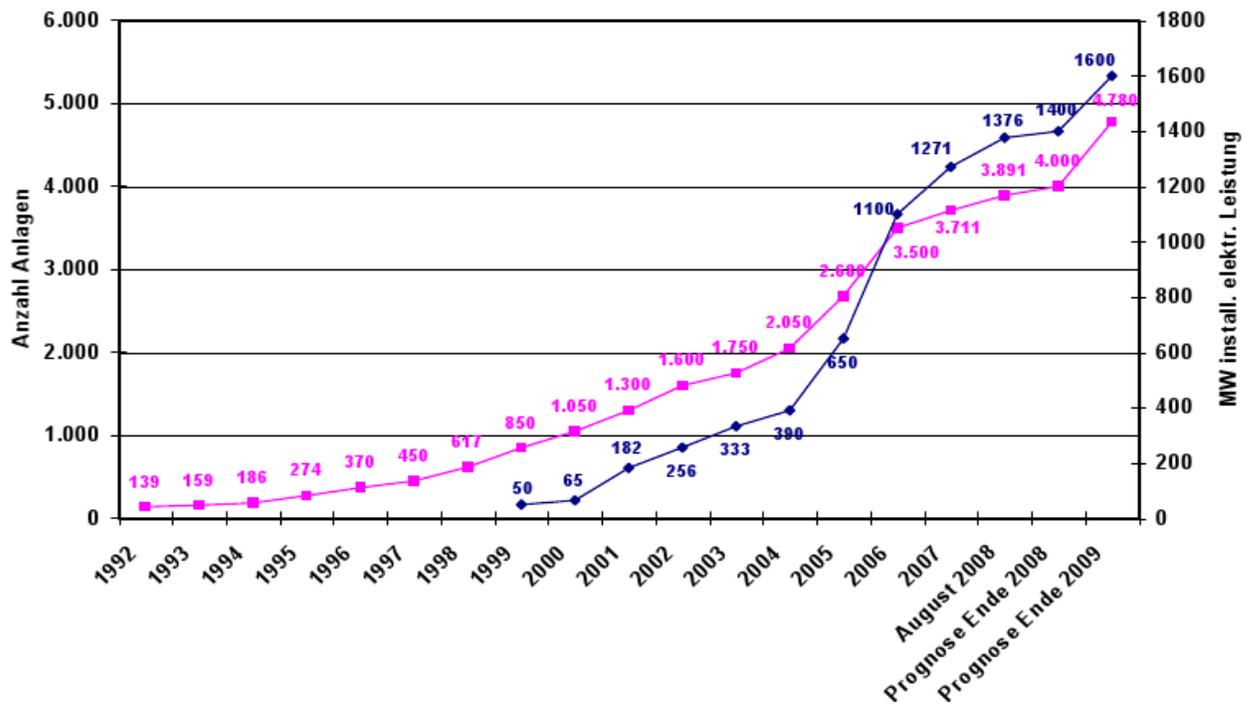


Gráfico 1.3. Desarrollo del número de instalaciones de biogás y la potencia total instalada en Alemania desde 1999-2008. Fuente: Fachverband biogas, 2008.

Por todo lo anterior se puede plantear que la generación de energía eléctrica es otra de las alternativas de diversificación de las producciones de una planta de biogás lo que puede constituir una oportunidad para Cuba, si se tienen en cuenta las transformaciones del sistema electroenergético nacional que basa ahora la generación en la utilización de grupos electrógenos (Motores de combustión interna) que consumen diésel y fuel oil como combustible y para los cual se reportan trabajos como CIPAV (1997), que asegura que el biogás puede sustituir a estos hasta en un 80 %, sumando los beneficios económicos y sociales a nivel local y regional.

Por tanto, es oportuno pensar que la producción de biogás podría destinarse hacia la generación de energía eléctrica en Cuba.

### 1.5 Biogás, alternativa de producción energética nacional

Cuba es uno de los primeros países de América Latina donde se introdujo la tecnología del biogás, con la construcción en 1940 de 2 digestores de 471 m<sup>3</sup> cada

uno para obtener biogás a partir de residuales industriales en la cervecera del Cotorro, en La Habana. Esta planta se puso en funcionamiento en 1948 por lo que la tecnología del biogás ha sido aplicada e investigada en Cuba desde la primera mitad del siglo XX (Guardado, 2006).

Dadas las características de la base productiva del país, la aplicación de tecnologías para la producción de biogás ha estado dirigida fundamentalmente a residuales de la producción azucarera y fábricas de derivados de la caña de azúcar (Valdés, 1990; Fonte y Martínez, 1996; Pérez y Mazorra, 1996; y Fonte, 1997, citado por Sánchez), de plantas procesadoras de café y de instalaciones pecuarias (Sánchez, 2003).

Guardado (2004), refleja que en Cuba al principio de la década del ochenta, llegaron a construirse más de 4000 digestores de pequeña escala que en breve tiempo dejaron de utilizarse, fundamentalmente, por sus características de explotación y diseño. En la actualidad funcionan más de 500 unidades de las cuales la mayoría son de nueva construcción y obedecen a un diseño más racional y noble en su explotación. El objetivo fundamental es suministrar la energía necesaria para la cocción de alimentos e iluminación a viviendas, vaquerías, comedores, etc. El proceso de desactivación se ha producido por no existir atención adecuada a estas instalaciones desde la base hasta la dirección en el territorio (Zamora, 2003), por lo que las plantas de biogás se han comportado como un problema más para el Ministerio de la Agricultura.

Más tarde, a principio de los años 90, se retoma el tema del biogás pero involucrando un número mayor de territorios del país a partir de un programa de difusión consistente en la calificación de técnicos y usuarios (Guardado, 2006).

Las principales causas que ocasionaron la desactivación de las plantas de biogás (98,5 %) (Barreto Torrella, 2003) fueron:

- La existencia de un deterioro paulatino de las plantas por falta de mantenimiento.
- Poca cultura sobre esta fuente de energía; déficit constatado en el no reconocimiento de la importancia real del empleo del biogás y sus efluentes.
- Variación de la estructura socioeconómica. Con la electrificación, las plantas instaladas en vaquerías, en las cuales el biogás se utilizaba para la iluminación, quedan olvidadas al no existir ni viviendas ni comedores obreros

en las cercanías. Se da el caso en que la planta no puede satisfacer nuevas demandas.

- Se han presentado problemas de diseño y explotación de las plantas que impiden la obtención del volumen total de gas biológico.

El potencial de biogás en Cuba, en las condiciones actuales, está en el orden de 152 mil toneladas de combustible convencional por año, proveniente de unas 78 toneladas de vertimientos biodegradables que constituyen hoy en día, en su conjunto, una de las principales fuentes de contaminación del país. Por esta razón se deriva la importancia de soluciones más efectivas y viables para el tratamiento de estos contaminantes mediante la digestión anaerobia en las plantas de biogás.

### **1.5.1 Estado actual de la producción de biogás en Cuba**

La difícil situación económica por la que ha atravesado el país en los últimos años, ha incidido en cierta medida sobre la explotación irracional de los recursos naturales para satisfacer las necesidades energéticas y ha limitado emprender acciones necesarias para su protección. Sin embargo, en tanto la capacidad para aprender y extraer experiencias de las dificultades, es también consustancial al proceso cubano, la idea de la sostenibilidad lejos de debilitarse se ha reforzado, por cuanto se ha adquirido mayor conciencia y nuevas habilidades para emplear de modo racional los recursos naturales y fuentes de energía renovable. El potencial que representan hoy las energías renovables tiene una relevancia creciente de cara a la búsqueda de una concepción energética que conduzca hacia un desarrollo pleno y armónico con el medio ambiente (Arrastra Ávila, 2002). Para Cuba, alcanzar la autosuficiencia energética es una cuestión estratégica, pues esta será una garantía en el mantenimiento de la soberanía y la independencia nacional.

La política de la utilización de fuentes de energía renovables (Berriz, 2000) se viene empleando desde las décadas de los setenta, y desde los años ochenta se ejecutaron varias Plantas de Biogás en diferentes provincias (Guardado, 2004), destacándose la Provincia Villa Clara con la creación del Grupo de Biogás en el año 1993, con la función de crear una cultura a todos los niveles sobre el uso y los beneficios de la tecnología del biogás.

Durante la realización del quinto Taller Nacional de biogás se corroboró por los especialistas de las distintas provincias la experiencia en el montaje y explotación de estos sistemas, específicamente en los modelos de volúmenes desde 8 hasta 47 m<sup>3</sup>. Se reportan que los volúmenes de biodigestores más usados son los de 10, 14, 22.5 y 42 m<sup>3</sup> (Sánchez, 2005).

Existen algunas experiencias satisfactorias en el uso del tipo hindú, tal es el caso de Espineira (2003), con una planta de 11 años de explotación para una producción máxima de 1.2m<sup>3</sup> de gas no comprimido con un tiempo de retención de 48 a 50 días. En el tiempo de trabajo ha producido 4818 m<sup>3</sup> de gas metano no comprimido, ahorrándose un equivalente de 3377 Kg. de kerosén y 48.18 Ton de bioabono, el cual es un excelente mejorador y acondicionador de suelos, habiéndose empleado como parte del sustrato para viveros de frutales.

También se han construido alrededor de 15 biodigestores de forma tubular de polietileno distribuidos en la región occidental, dirigida hacia los campesinos de pequeñas granjas, propuesto por Sosa (1999), que por lo general necesitan escasos recursos.

Además, como intentos de producir biogás a escala industrial, se puede mencionar, el caso del ICIDCA, que ha desarrollado una tecnología basada en reactores del tipo UASB, de origen holandés, única de su tipo en el país y de 3000 m<sup>3</sup> de capacidad. La misma ha sido destinada al tratamiento de las aguas residuales de la Empresa Mielera Heriberto Duquesne, en Remedios, Villa Clara (Obaya Abreu, 2004). Esta planta tiene en cuenta en su diseño el pretratamiento de los sustratos, la digestión anaerobia, la purificación, el uso final del biogás y empleo de los bioabonos, pero dificultades en la etapa de purificación han obstaculizado el aprovechamiento del gas en un generador de vapor, lo que atenta contra el entorno por la quema directa del combustible al medio ambiente, contra la recuperación de la inversión y contra el rendimiento energético de la planta.

Otro ejemplo es, la planta demostrativa que la empresa alemana Biogas Nord, con apoyo profesional del Centro de Investigaciones en Bioalimentos de Morón, ejecutó para el Complejo Azucarero Enrique Varona González con su Destilería Nauyú, municipio Chambas, provincia Ciego de Ávila. La finalidad del proyecto era

básicamente la demostración de una tecnología para el tratamiento de los desechos orgánicos de un central azucarero con destilería: la cachaza, la vinaza y si fuera posible otros desechos orgánicos, para la producción de energía; pero en la actualidad el biogás producido está siendo enviado a la atmósfera (Levys, 2006).

También como otro ejemplo está la planta de biogás del central Antonio Guiteras, ubicada en Las Tunas, que opera desde los años 90, con eficiencias de producción de biogás comparables con los de Biogás Nord y que ya han escalado los problemas de la asimilación de tecnologías a los cuales no está exenta esta nueva planta.

Además está en fase a prueba la planta productora de biogás, considerada única de este tipo en el país, en áreas del vertedero de la calle 100, en la capital cubana; que recibe unos 15 metros cúbicos diarios de residuales provenientes de los agromercados, podas de árboles y del sistema de recogida selectiva que se aplica de manera experimental en el municipio capitalino y entrega actualmente 60 kw-h de energía eléctrica.

Por tanto, a partir de los ejemplos expuestos y sus principales dificultades, es oportuno pensar que la producción de biogás en Cuba podría destinarse hacia la generación de energía eléctrica, a partir de un diseño adecuado de una planta de producción de biogás a escala industrial.

### **1.6 Procedimientos para el diseño de instalaciones**

Hernández Pérez (1986) refiere que la proyección de fábricas data del año 1790, realizándose por primera vez un estudio previo a la creación de una pequeña industria, en la cual se distribuyó el área a utilizar y se señaló la ubicación de los diferentes equipos, mecanismos, etc., a través de dibujos grabados en planchas de cobre por Thomas Ellicot. Este primitivo trabajo fue el comienzo para convertirse en un objetivo económico el estudio del planeamiento de las fábricas para los propietarios de esa época, así empezó esta actividad a desarrollarse, incorporándose a la especialización del trabajo de planeamiento a partir de 1910, el manejo de materiales, agrupación de las máquinas y procesos similares, alinear las áreas de trabajo en filas ordenadas, delimitando pasillos y conservándolos limpios, hasta llegar a ser una disciplina científica.

En la actualidad según Krajewski & Ritzman (1990) las decisiones de diseño, concernientes al subsistema de operaciones y que implican compromisos a largo plazo son:

- Diseño del producto
- Diseño del proceso
- Mano de obra
- Nuevas tecnologías
- Capacidad
- Localización
- Distribución en planta
- Aprovechamiento

Por tanto; las decisiones de diseño se enmarcan en la selección de las estrategias, de ellas depende en gran medida el éxito de las empresas, pues diseñar correctamente el producto, el proceso, seleccionar el personal, la tecnología adecuada, así como la solución apropiada a los problemas relacionados con la capacidad, la distribución en planta y la ubicación de las instalaciones traen consigo un buen funcionamiento de la organización (Gómez Figueroa, 2007).

Estudiosos estiman que del 20 al 50% de los gastos totales de operación en que se incurre dentro del área de fabricación, se pueden atribuir a la disposición de la planta, y que una distribución eficiente reduce probablemente esos costos por lo menos del 10 al 30%. Si la distribución eficiente se aprovecha de esa forma, la productividad anual de fabricación aumentaría aproximadamente tres veces más, por lo que se puede decir entonces que la distribución de la planta es una de las tareas más significativas y una de las más críticas para mejorar la tasa de productividad.

Las decisiones de distribución en planta de una instalación se encuentran estrechamente relacionadas con el proceso inversionista del país en el que se realice. En Cuba este proceso se rige por la Resolución 91 del 2006 del Ministerio de Economía y Planificación en la cual se establecen las indicaciones para el proceso inversionista.

El estudio de metodologías para el diseño de distribuciones en planta industriales, se produjo fundamentalmente en la década de los años 50, y entre sus autores

destacan Immer (1950) y Buffa (1955). Luego en el año 1961, Muther presenta “Systematic Layout Planning” o método S.L.P que incorpora el flujo de materiales, y es común para el diseño de todo tipo de distribuciones en planta, independientemente de su naturaleza: plantas industriales, hospitales, oficinas, locales comerciales, etc.

Además se reconoce otros métodos para determinar una distribución en planta o layout, los más utilizados son los siguientes:

- Modelo lineal de ordenamiento (Método Húngaro): El algoritmo modela un problema de asignación como una matriz de costos  $n \times m$  y construye una solución del problema primal partiendo de una solución no admisible. La gran ventaja del método es que es fuertemente polinómico.
- Método Triangular: este método pertenece a los de carácter aproximado o heurísticos, por lo que su resultado no debe ser considerado como óptimo, aunque sí como una excelente guía para la organización espacial según el principio de taller (estructura de taller) y de grupo o red (estructura de grupo).
- Método de los Momentos de Carga: se emplea con el objetivo de reducir los retrocesos en el flujo de producción de una serie de productos o piezas que poseen secuencias de elaboración similares, pero no iguales; y que su producción se organiza espacialmente según el principio de líneas (estructura en líneas).
- Método relacional basado en la teoría de redes: este método es operativo para determinar la posición relativa de diferentes unidades sobre la base de relaciones deseadas de cercanía o adyacencia entre ellas. Solo es factible su aplicación cuando la distribución se realiza a un solo nivel de piso.
- Método de los eslabones: para la aplicación del método debe partirse de las siguientes informaciones: secciones y necesidades de superficie; información de la producción (productos, secuencia de fabricación, volumen de producción, entre otros), basándose en la secuencia de fabricación de los diferentes productos.

Atendiendo a las principales características de los métodos descritos anteriormente, se escoge el Systematic Layout Planning, por ser universalmente aplicable, reúne las ventajas de otros métodos (instinto e intuición, participación total o enfoque de "contentar a todos" y flujo de materiales) y organiza el proceso de planificación total de manera racional. Además está generalmente aceptado como el más realísticamente analítico de todos los métodos desarrollados, pues sustituye la mecánica de la resolución del problema por el análisis inteligente y la síntesis creativa que acompaña el procedimiento.

### **1.6.1 Modelos seguidos para el diseño de plantas de biogás en Cuba**

Muchos autores como: Posluszny (2004), López (2000), León Mursili (2006), Zamora (2001), Montalvo Martínez y Lorna Guerrero (2003), Savran (2005), Bretaña del Campo (2007), Martín Martín (1996), Ramírez Rodríguez (2004); han escrito sobre el diseño de plantas de biogás, ya sea a menor o mayor escala, pero todos se han limitado al diseño, construcción o selección de la tecnología, algunos en unas etapas y otros de forma más profunda en todas sus etapas como Barrera Cardoso (2008), sin embargo no se encontró en la bibliografía consultada, el diseño de la instalación para la producción de biogás, es decir, no establecen la gestión de operaciones a través de la planeación de instalaciones, en la cual a partir del producto identificado y la tecnología a utilizar, se realiza el diseño de la instalación.

Como procedimiento más integral sobre el diseño de instalaciones de biogás en la bibliografía consultada se encontró la Estrategia desarrollada por Barreto Torrella (2006) para la inserción industrial de la digestión anaerobia en el desarrollo regional, y la misma propone realizar un tratamiento sistémico al proceso productivo en relación a sus componentes en un subsistema central constituido por la fuente generadora de materia prima, el proceso productivo y el destino de los productos, con un enfoque holístico y considerando la incertidumbre en la disponibilidad de la materia prima, en la eficiencia de producción y en la demanda de los productos, además de la inclusión de un análisis de factibilidad al sistema de producción y sus relaciones con el entorno.

No obstante este procedimiento no distingue el proceso de digestión anaerobia con fines energéticos, como sistema de producción, el cual no incluye:

- Pronóstico de la demanda del producto a realizar.
- Técnicas de microlocalización de la instalación y distribución en planta.
- Trata el proceso de producción elemental, es decir, relación de los componentes: fuente generadora de materia prima, proceso productivo y destino de los productos, sin tener en cuenta los procesos auxiliares que incluye la obtención de energía eléctrica a partir de biogás.
- Sistema de manejo de materiales.

### **1.7 Regulaciones que establece el CITMA para el diseño de plantas en el país**

En Cuba existen y se producen enormes cantidades de residuos orgánicos, provenientes de la industria agropecuaria, la industria azucarera y sus derivados, de la alimenticia, de origen urbano, etc., que contribuyen seriamente a la contaminación ambiental, fundamentalmente, de las aguas superficiales y subterráneas, por lo que se hace imprescindible purificar estos residuos antes de su vertimiento al medio ambiente, pero para realizar cualquier alteración de éste, ya sea de forma directa e indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada, es necesario cumplir con las regulaciones que establece el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, el cual establece, cumplir con la Resolución no.77/99, que incurre en el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental, teniendo en cuenta las disposiciones generales siguientes:

- a) Solicitud de Licencia ambiental
- b) Estudio de impacto ambiental, en los casos en que proceda
- c) La evaluación propiamente dicha, a cargo del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente
- d) El otorgamiento o no de la Licencia ambiental. Estos términos aparecen referenciados en el anexo 1.

### **1.8 Conclusiones parciales**

1. El sistema electro energético nacional cubano basa su generación en el uso de los combustibles fósiles, que continúan agotándose y contaminando el entorno, por tanto, la introducción y el desarrollo de fuentes renovables de energía son aspectos importantes a incluir en la política energética del país, cuyo uso no se ha desarrollado de forma acelerada.
2. La utilización de la biomasa residual estimada en 78 toneladas de vertimientos biodegradables, utilizando el biogás como combustible, podría destinarse hacia la generación de energía eléctrica, de acuerdo a las nuevas tendencias de formas de generación descentralizada del país.
3. En la literatura científica consultada no se refiere la producción de biogás con fines energéticos a través de la planeación de instalaciones, en la cual a partir del producto identificado y la tecnología a utilizar, se realiza el diseño de la instalación.
4. Se identificó como base para resolver el objeto de estudio práctico de la investigación, la Estrategia desarrollada por Barreto Torrella (2006) para la inserción industrial de la digestión anaerobia en el desarrollo regional, aunque este no distingue el proceso de digestión anaerobia con fines energéticos, ni como sistema de producción, además de no incluir en ningunas de las etapas: el pronóstico de la demanda del producto a realizar, técnicas de micro localización de la instalación y distribución en planta y el sistema de manejo de materiales.

---

---

## **Capítulo II: Procedimiento para el diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos**

### **Introducción**

Para dar solución al problema científico planteado en la investigación y como respuesta a lo expuesto en el Marco teórico referencial de la investigación, se expone en este capítulo un procedimiento general y sus procedimientos específicos para el diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos, como elemento imprescindible para el levantamiento de este tipo de plantas, de forma coherente con los objetivos estratégicos de la provincia y el país.

### **2.1 Aspectos generales para la construcción del procedimiento propuesto**

Como base para el desarrollo del procedimiento propuesto para el diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos, se escogió la Estrategia de Barreto Torrella (2006) para la inserción industrial de la digestión anaerobia en el desarrollo regional, y las decisiones de la planeación de instalaciones que incluyen: diseño del producto, diseño del proceso, mano de obra, nuevas tecnologías, capacidad, localización, distribución en planta y aprovisionamiento; todos estos elementos fueron combinados, para aplicarlos al diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos, tal como se describirá más adelante.

#### **2.1.1 Premisas de construcción**

La construcción del procedimiento se realizó sobre las premisas siguientes:

1. Evita desestimar el empleo de técnicas y métodos de la Gestión de Operaciones como ayuda a la toma de decisiones.
2. Constituye una parte indisoluble del proceso de planeación estratégica.
3. Las técnicas y herramientas desarrolladas para la implementación del procedimiento general, permiten considerarlo dialécticamente, en continuo perfeccionamiento.

No obstante a su enfoque integral, el énfasis recae en los procesos de distribución de las diferentes áreas (que integra una instalación) y en el transporte y manejo de todos sus materiales, ya sea de materia prima, producción en proceso o producto final.

### **2.1.2 Objetivo del procedimiento**

El objetivo del procedimiento lo constituye: Facilitar el proceso de diseño a través de la planeación de instalaciones, para producir biogás con fines energéticos.

### **2.1.3 Principios en los que se sustenta el procedimiento**

El procedimiento desarrollado se sustenta en los principios siguientes:

1. **Mejoramiento continuo:** El procedimiento contempla el regreso a etapas anteriores con el objetivo de ir mejorando diferentes aspectos que puedan presentarse con deficiencias.
2. **Adaptabilidad:** Es lo suficientemente general como para ser aplicado al diseño de otras plantas en el país.
3. **Aprendizaje:** Contempla métodos de trabajo en grupo, entrevistas y métodos de expertos para la selección de criterios de decisión, de factores para evaluar estos y la determinación de sus importancias relativas, además de lograr el consenso entre los involucrados en estos procesos.
4. **Parsimonia:** La estructuración del procedimiento, su consistencia lógica y flexibilidad permiten llevar a cabo un proceso complejo de forma relativamente simple.
5. **Pertinencia:** La posibilidad que tiene el procedimiento de ser (hasta el momento parcialmente) aplicado, sin consecuencias negativas para los clientes.
6. **Flexibilidad:** La posibilidad que tiene de aplicarse al diseño de plantas en otras provincias con características no necesariamente idénticas a las seleccionadas dentro del universo investigado.
7. **Suficiencia:** Referida a la disponibilidad de toda la información (y su tratamiento) que se requiere para su aplicación en estos procesos.
8. **Consistencia lógica:** En función de la ejecución de sus pasos en la secuencia planteada, en correspondencia con la lógica de ejecución de este tipo de estudio.
9. **Perspectiva o generalidad:** Dada la posibilidad de su extensión como instrumento metodológico para ejecutar estos estudios en otros procesos similares.

### **Entradas**

Como entradas el procedimiento tiene:

1. Opiniones de los expertos sobre tipos de residuos a utilizar, criterios de selección de la tecnología, etc.
2. Datos sobre los espacios y relaciones entre las actividades y operaciones correspondientes según el tipo de tecnología a utilizar, así como de los recursos que intervienen en ellos.

### **Salidas**

Las salidas principales del procedimiento son:

1. Pronóstico de la demanda de los productos a obtener.
2. Selección del potencial de biomasa factible a utilizar.
3. Localización de la instalación.
4. Selección de la tecnología a utilizar.
5. Diseño preliminar de la planta.

## **2.2 Desarrollo del procedimiento para el diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos**

El procedimiento desarrollado para el diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos se ha estructurado en 3 etapas, como se muestra en la figura 2.1.

A continuación se describen cada una sus etapas.

### **2.2.1 Etapa 1: Análisis de la situación actual del área objeto de estudio**

Esta primera etapa tiene particular importancia, pues se realizará un análisis del contexto real del área en estudio, revelando las directrices y políticas trazadas por los organismos rectores en cuanto a uso, explotación y futuras tendencias de las disímiles fuentes energéticas, que serán usados para las etapas que suceden a esta, en el procedimiento general.

Para el estudio de esta etapa es necesario partir de cinco aspectos fundamentales:

- ❖ Caracterización del área objeto de estudio.
- ❖ Determinación de la demanda de energía eléctrica.
  - ✓ Diagnóstico Energético de primer grado (DEPG)
- ❖ Pronóstico de la demanda de los productos a obtener.
- ❖ Determinación del potencial de biomasa factible a utilizar.
- ❖ Análisis de los documentos legales ambientales de la inversión a ejecutar.

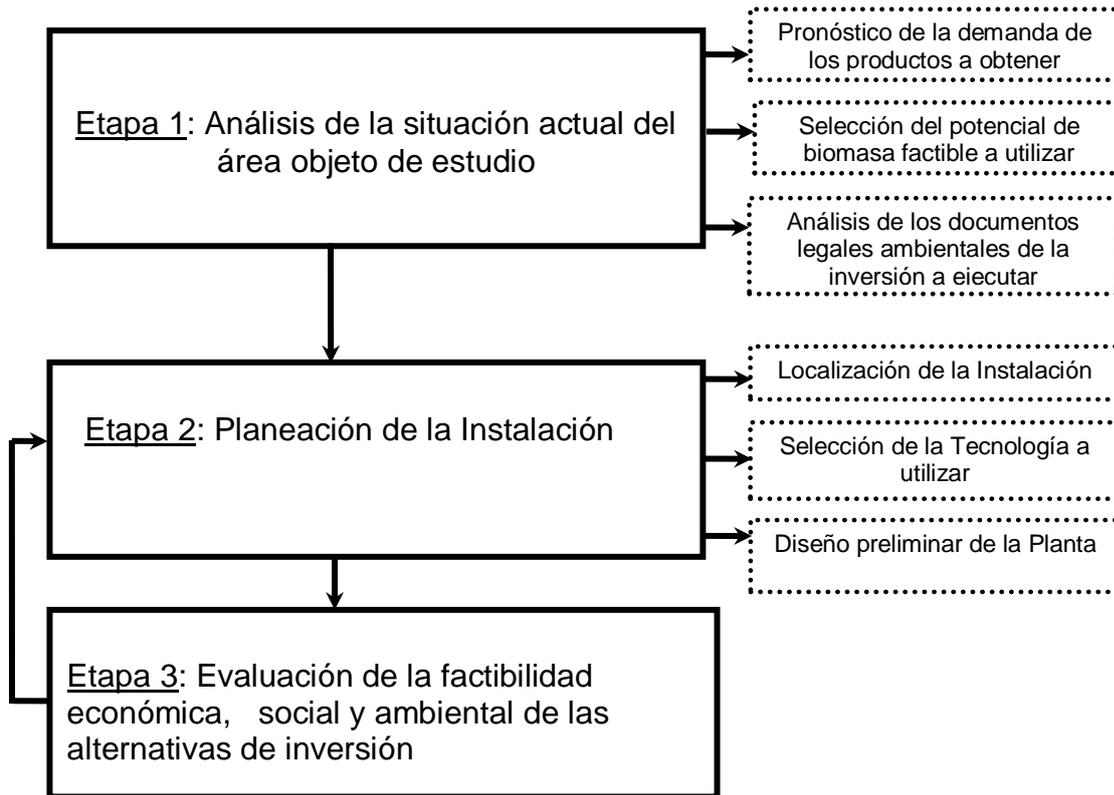


Figura 2.1. Procedimiento para el diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos.

### **Caracterización del área objeto de estudio**

En este aspecto el objetivo es describir las condiciones naturales de la región, que constituyen la base física sobre la que se desarrolla la actividad económica y social, que permiten destacar características geográficas, como la identificación y determinación de: extensión territorial, población, comunicación, flora y fauna, el sistema hídrico y orográfico, así como, la superficie forestal y describir el sistema actual de distribución de la energía y sus principales componentes.

### **Determinación de la demanda de energía eléctrica**

#### *Diagnóstico Energético de primer grado (DEPG)*

Para llevar a cabo la investigación, se realizó una búsqueda bibliográfica sobre los diferentes tipos de metodologías o procedimientos existentes para la realización de un diagnóstico energético, utilizados por diferentes autores, resultando como idóneo el procedimiento establecido por Hernández Fernández (2003), debido a que los intereses perseguidos, a partir de: consumos específicos de energía, tendencias actuales del Sistema Electroenergético, etc. responden al objetivo de la investigación, y a las exigencias y circunstancias actuales en Cuba.

Descripción del Diagnóstico Energético de primer grado (DEPG) (Ver figura 2.2)

Se realiza un análisis de la información estadística de consumos y gastos por concepto de energía eléctrica y combustibles. Además se deben detectar y cuantificar los costos y ahorros posibles, producto de la administración de la demanda de energía eléctrica. Se resalta que en este tipo de estudio no se pretende efectuar un análisis exhaustivo del uso de la energía, sino precisar medidas por concepto de ahorro a mediano y largo plazo.

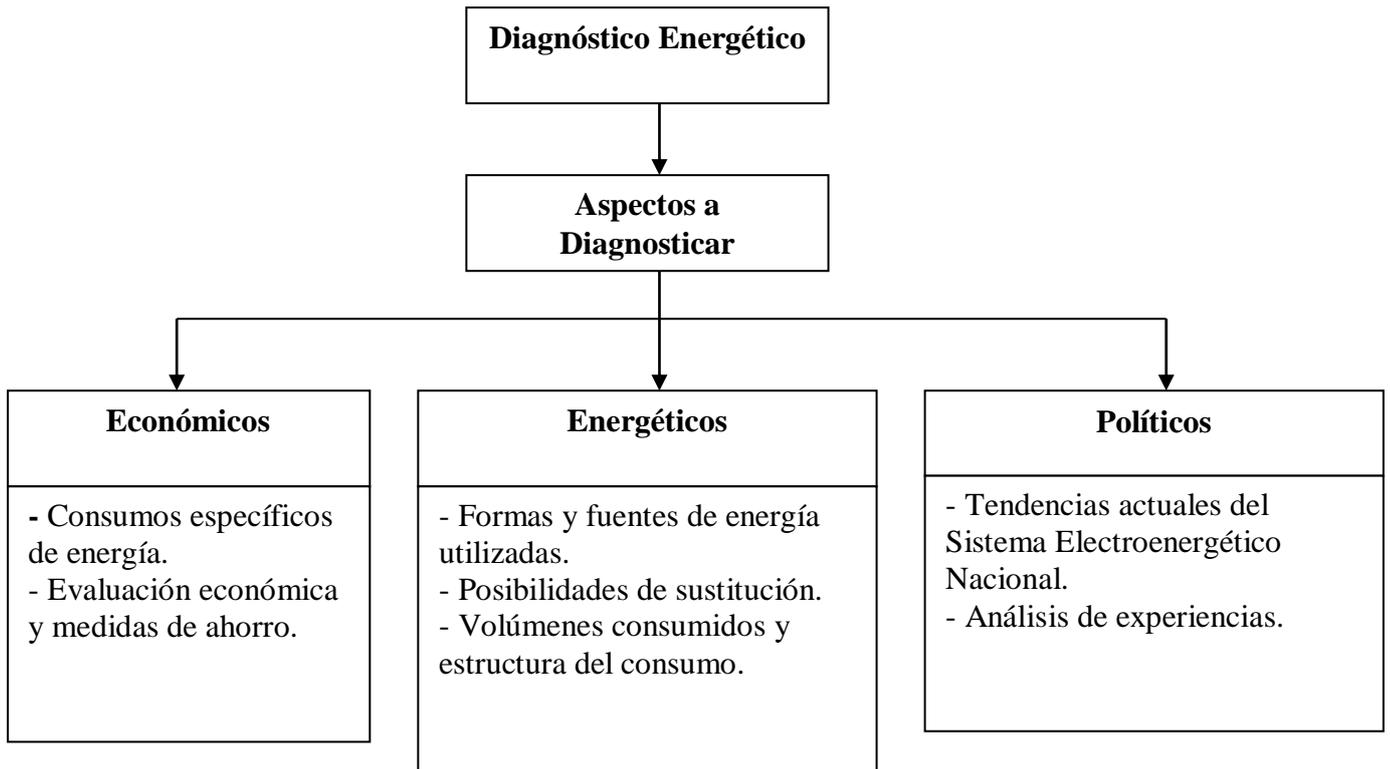


Figura 2.2: Esquema de Diagnóstico Energético de primer grado (DEPG). Fuente: Elaboración propia basado en Hernández Fernández (2003).

*Aspectos a diagnosticar*

**Económicos:** Precios actuales y cambios posibles de los precios de los recursos energéticos y su impacto en los costos totales, consumos específicos de energía, evaluación económica de las medidas de ahorro y precio de la energía eléctrica (kw).

**Energéticos:** Formas y fuentes de energía utilizadas, posibilidades de sustitución, volúmenes consumidos y estructura del consumo.

**Políticos:** Tendencias actuales del Sistema Electroenergético Nacional. Análisis de experiencias: Ámbito nacional.

**Áreas de aplicación:** Sectores o áreas registradas como importantes consumidores de energía eléctrica.

### **Pronóstico de la demanda de los productos a obtener**

En este aspecto, se considera que la producción de energía a partir del biogás, por tratarse de una fuente renovable de energía que genera además de energía eléctrica, energía térmica, bioabonos y efluente líquido, capaces de sustituir, estos dos últimos, agroquímicos causantes del deterioro de los suelos; tienen un mercado seguro para todos sus productos.

### **Determinación del potencial de biomasa factible a utilizar**

La determinación del potencial de biomasa factible a utilizar en el área investigada, no será objeto de estudio, pues es parte de análisis de otras investigaciones, referida en Oria Gómez (2010); no obstante se analizarán los diferentes tipos de residuos y sus principales usos actualmente.

### **Análisis de los documentos legales-ambientales de la inversión a ejecutar**

En el análisis de los documentos legales-ambientales de la inversión a ejecutar, es estrictamente necesario realizar por la entidad ejecutora de la inversión, un proceso de evaluación de impacto ambiental, que resultará de un estudio previo de impacto ambiental, el cual tendrá como resultado el otorgamiento de la Licencia ambiental, para luego proceder a la propuesta que se describe en la etapa siguiente.

## **2.2.2 Etapa 2: Planeación de la Instalación**

En la Administración de Operaciones se incluye tanto las decisiones relativas al diseño del sistema de operaciones como las relativas a la operación y control de éste. Las decisiones relativas al diseño del sistema de operaciones incluyen el diseño del producto, del proceso y de las tareas, la planeación de la capacidad, la localización y la distribución física. Las decisiones referentes a las operaciones y el control influyen en aspectos como la planeación, programación y control de la producción y del inventario, las compras, el mantenimiento y el control de la calidad (Domínguez Machuca et al., 1995; Heizer y Render, 2005).

Para Schroeder (2006) la Administración de Operaciones tiene la responsabilidad de cinco importantes áreas de decisión, en las cuales se influye a través del procedimiento, en algunas con más incidencias que en otras, según el objetivo seguido por esta investigación, y estas son:

**Proceso:** determinarán el proceso físico o instalación que se utiliza para producir el producto, incluyendo decisiones del tipo de equipo y tecnología, flujo de proceso, la distribución de la planta, así como, todos los demás aspectos de las instalaciones físicas.

**Capacidad:** determinará el tamaño de la instalación física a construir y entre otras, la cantidad de personas en la función de operaciones.

**Inventarios:** los sistemas de control de inventarios se utilizarán para administrar los materiales (tipos de residuos a utilizar, entre otros) desde su compra o adquisición.

**Fuerza de trabajo:** estas decisiones incluyen la selección, contratación, despido, capacitación, supervisión y compensación del personal a trabajar.

**Calidad:** se deberá asegurar que la calidad se mantenga en el producto en todas las etapas de las operaciones: como establecer estándares, capacitar gente e inspeccionar los productos para obtener un resultado de calidad.

Teniendo en cuenta los aspectos anteriormente mencionados, se propone como procedimiento específico para la planeación de la instalación, correspondiente a la segunda etapa, el que se muestra en la figura 2.3.

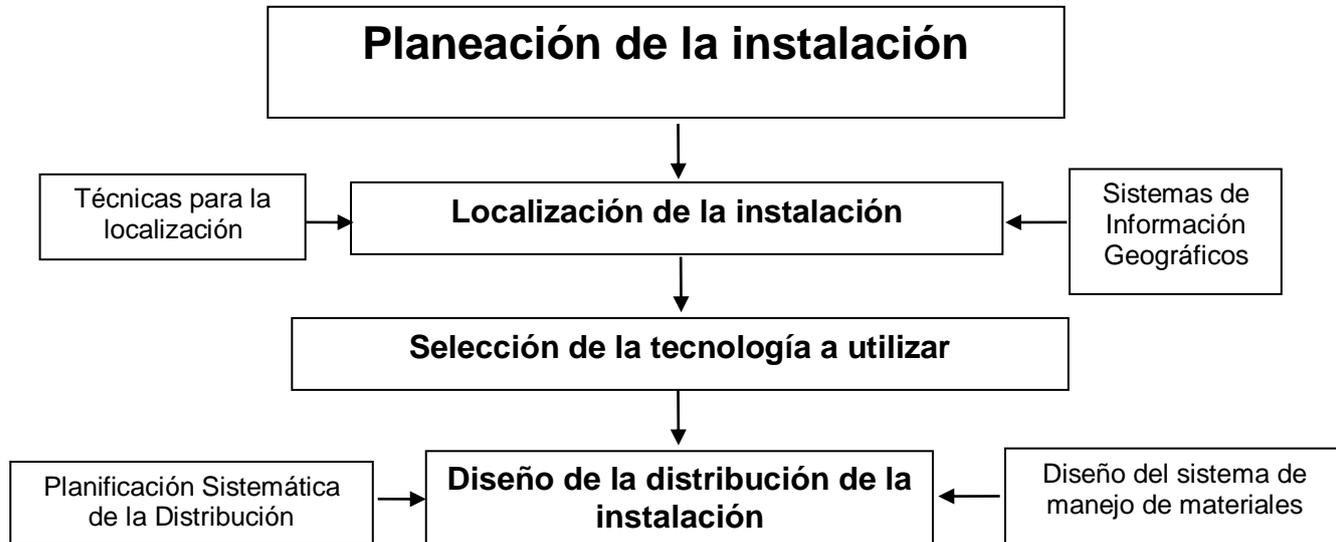


Figura 2.3 Procedimiento específico para la Planeación de la instalación.

El procedimiento describe en 3 pasos como se realiza la planeación de la instalación, detallándose a continuación.

### **Paso 1: Localización de la instalación**

Para analizar la localización de la instalación se hizo un estudio bibliográfico para la elección de las técnicas de selección del objeto de estudio, teniendo en cuenta factores de localización como la disponibilidad de mercado, la cantidad de residuos disponibles, el volumen de gas que se podría generar con cada uno de ellos y los costos dados por una tecnología determinada, la cual se ejecutará por la propuesta de Oria Gómez (2010), a partir de esta se realiza una caracterización de la empresa proveedora de la materia prima, así como de los sustratos a emplear para la producción de biogás y se determina el área del emplazamiento final de la instalación, a través del método de Jerarquías Analíticas (AHP) (Saaty, 1980), caracterizado por su capacidad para medir el grado de consistencia presente en los juicios subjetivos de los expertos, y además permite ordenar las mejores alternativas dentro de un grupo, a partir de la opinión de los expertos seleccionados. Su procedimiento consta de los pasos siguientes:

1. Construcción de una jerarquía de decisión: consiste en separar el problema de decisión en una jerarquía de sus elementos. Tomando en consideración lo anterior, se deciden dos niveles: el nivel 1, perteneciente a los criterios y el nivel 2, perteneciente a los factores.
2. Determinación de la importancia relativa de los atributos y subatributos: la determinación de la importancia relativa de los atributos y subatributos, se realiza según la escala siguiente:
  - 1: el criterio i es igual de importante que el criterio j.
  - 3: el criterio i tiene una débil predominancia con respecto al criterio j.
  - 5: el criterio i predomina sobre el criterio j.
  - 7: el criterio i tiene una fuerte predominancia sobre el criterio j.
  - 9: el criterio i es absolutamente predominante sobre el criterio jQuedando los valores 2, 4, 6 y 8 para situaciones de compromiso.

Para la determinación de la importancia relativa de los atributos (criterios) y subatributos (factores), se utiliza el método de grupos nominales, para lo cual, se escogen expertos que comparan por parejas de criterios o de factores cuánto es más importante uno que otro, según la escala antes mencionada.

3. Determinación de la razón de inconsistencia: como se afirmó anteriormente, una de las ventajas del método AHP consiste en su capacidad para medir el grado de consistencia presente en los juicios subjetivos de los expertos. Este

se mide a través de la determinación de la razón de inconsistencia (RI) de los juicios. Si RI no es mayor igual que 0.1 (Consistencia superior al 90%), Saaty (1980) sugiere que la consistencia, por lo general, es aceptable.

Finalmente se elabora la matriz de jerarquía de Saaty para seleccionar el área del emplazamiento final.

## **Paso 2: Selección de la tecnología a utilizar**

Para determinar el tipo de tecnología a utilizar, se escoge la propuesta de Barrera Cardoso (2008), a través de Estrategias para la asimilación de tecnologías, por la profundidad e identificación referida en las etapas que incurre la producción de energía a partir del biogás como combustible, en la cual se agrupan los sustratos (materia prima) en tres grupos:

- **1er Grupo:** Sustratos con alto contenido de sólidos totales (8-10 %) y de compleja biodegradabilidad. (López Torres, 2000)
- **2do Grupo:** Sustratos con alto contenido de sólidos totales (8-10 %) de menor complejidad para su biodegradabilidad. (Linke, 2006)
- **3er Grupo:** Sustratos altamente diluidos con concentración de sólidos en suspensión (S.S) < 2g/l según Montalvo Martínez, Lorna Guerrero (2003).

Y se identifican 5 etapas para la producción de biogás con fines energéticos en cada grupo, las cuales son:

1. **Pretratamiento:** esta primera etapa facilita la interacción microorganismo – sustrato, mediante un tanque con agitador para garantizar el mezclado y de ser necesario se añade hidróxido de calcio para neutralizar el pH hasta 6.8 – 7.6.

### Características tecnológicas del tanque con agitador

- El volumen del tanque se estima sumando el volumen de vinaza y el volumen de residual.

$$V_{Tanque} = V_{vinaza} + V_{Residuelliqúido} \quad (m^3) \quad (1)$$

- Como  $V_{Tanque} = \pi * r^2 * h$  entonces se asume un radio (r) y se calcula la altura (h).
- El tipo de agitador de hélice a utilizar se determina por el recomendado por Rosabal (1998), con bajos consumos eléctricos, de n = 300 rpm (valor recomendado para este tipo de agitador).

- 2. Digestión:** es la etapa principal del proceso, en la cual se produce el gas combustible, los bioabonos y se reduce la carga contaminante del residuo, tiene por objeto descomponer materias orgánicas y/o inorgánicas en un digestor hermético, sin oxígeno molecular, prosiguiendo el proceso hasta que se produzca metano, dióxido de carbono y otros gases.

Características tecnológicas del digestor

- Para el dimensionamiento del digestor se utilizarán las siguientes ecuaciones:

$$V_{Digestor} = Q_{gdía} * TRH \text{ (m}^3\text{)} \quad (2)$$

$$Q_{biogás} = V_{Digestor} * Pv \text{ (m}^3\text{biogás/día)} \quad (3)$$

Donde:

$Q_{gdía}$ : Carga o cantidad de mezcla de residuos que provienen de la etapa anterior.

$TRH$ : Tiempo de retención hidráulica.

$Pv$ : Productividad volumétrica.

- La carga orgánica que puede asimilar el digestor en kg SV/d se determina con el volumen calculado ( $V_{Digestor}$ ) multiplicado por la carga orgánica ( $KgSV/m^3 \cdot d$ ) capaz de asimilar el digestor seleccionado.

- 3. Purificación:** durante la purificación del biogás se elimina el dióxido de carbono, para elevar el poder calórico del combustible o sulfuro de hidrógeno, para evitar la corrosión de los metales en los equipos que se pongan en contacto con él. Generalmente la calidad con que se debe obtener el biogás está en función de su destino final, por ejemplo cuando se habla de biogás para producir energía eléctrica (objetivo de la investigación) se hace necesario eliminar la presencia del sulfuro de hidrógeno hasta un 0.01 %.

Características tecnológicas en la etapa de purificación:

- El volumen del gasómetro o tanque purificador se determinará por la siguiente ecuación:

$$V_{gasómetro} = Q_{biogás} * (1d / 24h) * (1h / 60min) * 30min \quad (4)$$

- Se calcula el flujo de aire necesario ( $Q_{Aire}$ ), como el 2 % del  $Q_{biogás}$  calculado, que se necesita para un soplador de 1 l/min. con una potencia de 100 W y 110 V (*Patente No. CU 23003: Procedimiento para la purificación del biogás*).

- 4. Compresión y almacenamiento:** consta de un sistema de compresión acoplado a una bala de almacenamiento, generalmente a una presión 15 atmósferas con su posterior conexión a válvulas reguladoras de presión en función de los requerimientos de cada tipo de consumidor. En el caso objeto de estudio se prescindirá esta etapa pues el objetivo es producir biogás para generar energía eléctrica con flujo continuo.
- 5. Generación de energía eléctrica:** la producción de energía eléctrica a partir del biogás como combustible, se realiza a través de motores de combustión interna, que trabajan con una eficiencia 25 % (Barreto Torrella, 2006).

Características tecnológicas de los motores:

- Se asume la operación del motor de combustión interna durante un período seleccionado y con este tiempo ( $t$ ) se calcula el flujo de biogás que alimenta al mismo en  $m^3/h$  ( $Q_{MCI}$ ), a partir del gas producido en la etapa de digestión.

$$Q_{MCI} = Q_{\text{día}} * t$$

(5)

- Se calcula la potencia que es capaz de entregar el combustible por la siguiente ecuación:

$$N_g = Q_{MCI} * P_C * \frac{1,163W}{1kcal/h} * \frac{1kw}{1000W}$$

(6)

- A partir de la potencia que es capaz de entregar el combustible ( $N_g$ ), y la eficiencia eléctrica  $\eta$  (tomada de la tabla 2.1, como valor medio de los valores dados para este tipo de tecnología), se calcula la potencia eléctrica de la unidad ( $N_R$ ) en kw.
- Para obtener el valor de energía eléctrica y térmica que se logra a partir del motor de combustión interna, se utilizan los índices de plantas alemanas, por no existir en el país experiencia industrial, en el uso del biogás para generar electricidad, y estos son:
- ✓ 2,23 kWh<sub>e</sub>/m<sup>3</sup> biogás: Energía eléctrica producida a partir de 1 m<sup>3</sup> de biogás.
  - ✓ 3,32 kWh<sub>t</sub>/m<sup>3</sup> biogás: Energía térmica producida a partir de 1 m<sup>3</sup> de biogás.

Tabla: 2.1 Características de las tecnologías de generación y cogeneración distribuidas.

Tecnología	Combustible	Potencia MW	$\eta$ Eléctric a	$\eta$ Globa l	Inversión USD/KW	O&M USD/KW H
<i>Motores diesel Otto</i>	<i>Gaseoso o líquido</i>	<i>0.003-20</i>	<i>25-45</i>	<i>65-92</i>	<i>300-1450</i>	<i>0.007- 0.014</i>

Fuente: Marcos, Aníbal, Inocente (2003).

### **Paso 3: Diseño de la distribución de la instalación**

La distribución de la instalación se desarrolla a través de la Planificación Sistemática de la Distribución (ver figura 2.3), escogida como herramienta para el diseño a partir de la literatura científica especializada (ver epígrafe 1.6)

Consiste en una estructura que comienza con el estudio de los datos de entrada para determinar el flujo de materiales. Una vez que se conocen las consideraciones con respecto al flujo de materiales y a la relación de actividades, y se ha generado el diagrama de relaciones correspondiente, es el momento de evaluar los requerimientos de espacio para la distribución. Sin embargo, desde un punto de vista práctico, frecuentemente se encuentra que la solución está restringida por la cantidad y configuración del espacio disponible. Dichas restricciones pueden representarse en la forma de una instalación existente o la disponibilidad de capital para una nueva instalación (siendo este el caso). Por lo cual, se considera no solo los requerimientos de espacio, sino también la disponibilidad de espacio. Todos estos pasos se realizarán con las herramientas que soporta la Planificación Sistemática de la Distribución, las cuales son: *flujo de materiales*, *gráfico de relaciones*, *diagrama de relaciones*, *necesidades de espacio* (cálculo de cada área según la tecnología), *diagrama de relaciones de espacio*, *representación de la distribución en planta* través de:

1. Dibujos y diagramas
2. Plantillas y tableros de distribución

### 3. Modelo tridimensional

Además *evaluación de distribuciones alternativas*: con el objetivo de establecer un compromiso de los diversos factores, consideraciones y tipos de distribución, entre los que establecen:

1. Hacer una lista de las ventajas e inconvenientes. Es la manera más sencilla de evaluar alternativas; escribir simplemente las ventajas e inconvenientes de cada distribución que se evalúa.
2. Análisis por factores: seleccionando factores o consideraciones en base a los cuales se tomará la decisión. Se da a cada factor un valor ponderado de acuerdo a su importancia. Luego todas las alternativas son valoradas a la vez con respecto a cada factor. Esto aumenta la objetividad de los que puede ser un proceso muy subjetivo de toma de decisiones (Uso de técnicas matemáticas multicriterios).

Con todos los elementos anteriormente señalados se obtiene el diseño preliminar de la instalación.

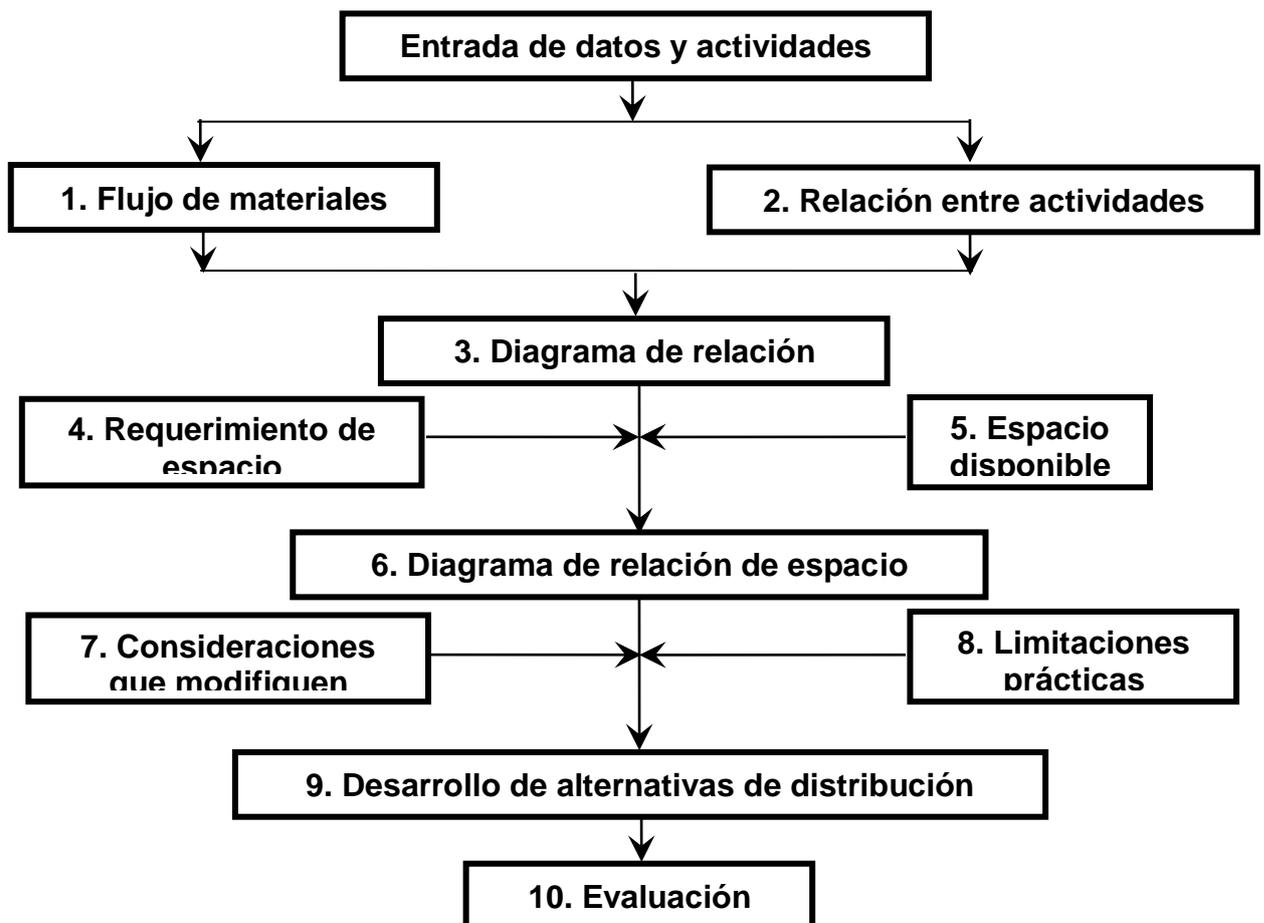


Figura 2.3: Diagrama de Planificación Sistemática de la Distribución. Fuente: Muther (1961).

### **2.2.3 Etapa 3: Evaluación de la factibilidad económica, social y ambiental de las alternativas de inversión**

El estudio de factibilidad se lleva a cabo a partir de un nivel de conocimiento sobre la inversión y de la proyección de sus beneficios tal que, constituye la última oportunidad de disminuir la incertidumbre de la inversión en cuestión a un estado mínimo, y como resultado de su evaluación se toma la decisión de invertir.

Para realizar el balance económico, social y ambiental de la implantación del sistema de producción de biogás para generar energía eléctrica como principal producto a obtener, hay que considerar por un lado todos los beneficios asociados a dicha actividad y por el otro, todos los gastos que se generan, además de la determinación del costo total invertido.

Dentro de los beneficios se encuentran:

- Valor del propio biogás: para determinar el valor que tiene el biogás obtenido en el proceso de digestión anaerobia, se tendrá presente su aprovechamiento en las dos opciones principales, el aprovechamiento térmico y el eléctrico. Cuando se extrae energía térmica, se expresará como el ahorro en combustible convencional que se obtiene, para lo cual se determinará la cantidad de combustible convencional que aporta la misma energía que el biogás obtenido y luego considerar el precio del mismo. En el caso de la transformación del biogás en energía eléctrica, se tendrá en cuenta el rendimiento de dicha operación y se valorará al precio de la tarifa que se aplique, ya sea para su consumo o venta.
  - ✓ Ventas de energía eléctrica al SEN a un costo promedio de 41.40 \$/MWh y un factor de precio del combustible de 1.8. (Departamento Comercial empresa eléctrica Sancti Spiritus).
- Revalorización de los residuos tratados tras ser sometidos a la digestión anaerobia: al ser sometidos los residuos a la digestión anaerobia, se obtendrá al final del proceso dos lodos estabilizados que se podrán utilizar como abono. Estos lodos suponen un valor añadido al proceso, pues sus características tras la digestión son mejores que las de los residuos iniciales por varios motivos: la depuración que han llevado a cabo los microorganismos, la inclusión en las mismas de la propia flora bacteriana y su mayor estabilidad química y su menor volumen.

- ✓ Ventas de bioabonos a un precio de 270.00 \$/t. (Departamento economía de la agricultura urbana Sancti Spiritus).
- Gastos que desaparezcan al implantar el aprovechamiento: se considerará principalmente los gastos asociados a las actividades productivas como:
  - ✓ Consumo de fuel oil para el desarrollo de las actividades productivas, es decir, se consumen 0,035 t fuel oil/ hl y 1t fuel oil=2,853 tco<sub>2</sub> (Biogas nord GmbH) y 1m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>= 0,012 tco<sub>2e</sub>.
  - ✓ Producción de energía térmica mediante combustibles convencionales.
  - ✓ Ahorros por sustitución de fertilizantes químicos, correspondientes a urea, superfosfato triple y cloruro de potasio.
  - ✓ Ahorros por reuso de agua para el riego con un costo de 0.10 \$/l. (Departamento Aprovechamiento del agua. Hidráulica Sancti Spiritus)
- Otros: la obtención de biogás como actividad que elimina la carga contaminante de la materia orgánica a partir de la cual se obtiene y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono y de metano, por tanto, implica un beneficio para el Medio Ambiente, pero no sólo eso, sino que al usar el biogás se va a dejar de utilizar combustibles convencionales que son una fuente de energía no renovable. El biogás constituye, por lo tanto, una alternativa energética y debido a que se obtiene a partir de materia orgánica y no de materia fosilizada es una fuente renovable.

Como gastos se destacan:

- Capital Fijo invertido (CFI): la metodología utilizada para determinar el capital fijo invertido para la planta de biogás en la empresa Melanio Hernández fue la recomendada por Peters (2003) y para el cálculo de otros gastos de inversión se contó con información del proyecto de Biogás Nord (Linnenberg, 2004)., asumiendo:
  - a) Vida útil de la planta: 15 años
  - b) Mantenimiento: 10% Capital Fijo Invertido (CFI)
  - c) Mano de Obra: dependerá del trabajo a realizar, el valor de cada unidad de tiempo invertida dependerá de la calificación, del nivel salarial del personal que desempeñe estas labores. En principio, el control correcto de la digestión requerirá de unos conocimientos de la misma, aunque sea a un nivel básico, para poder regular adecuadamente los parámetros de funcionamiento, por lo que están representados por \$ 225 persona al mes.

- d) Seguro: 1% Depreciación
- e) Tasa impositiva: 35 %. (sobre la utilidad antes de impuestos, MINAZ, 1996)
- f) Capital Total Invertido: se calcula mediante los siguientes pasos:
- Cálculo del costo de adquisición de los equipos ( $CAE$ ) que se obtiene como la suma de los costos de cada equipo, como expresa la ecuación:
$$CAE = C_t + C_d + C_s + C_e$$
  - ✓ Etapa de pretratamiento: el costo del tanque ( $C_t$ ) se determinó según la regla de 0.6 (Peters, 2003) utilizando como referencia un tanque de fibra de 35 m<sup>3</sup> y \$ 5 600.00 tomado de plan de inversiones 2008 “Refinería Sergio Soto”.
  - ✓ Etapa de digestión: el costo del digestor ( $C_d$ ) se estimó multiplicando 1042 \$/m<sup>3</sup> de digestor (Moletta, 2005) que incluye los gastos totales de la inversión, por tanto se divide entre 4,8 que es el costo de adquisición del equipamiento (Ulrich., 1990) y se multiplica por el volumen del mismo calculado.
  - ✓ Etapa de purificación: el costo del gasómetro ( $C_s$ ) se calcula considerando los costos dados por la autora de la patente para una producción de biogás de 18 m<sup>3</sup>/d equivalente a \$ 1022.00, teniendo en cuenta la regla de 0.6 (Peters, 2003).
  - ✓ Etapa de generación de energía eléctrica: el costo neto del equipo ( $C_e$ ) se calcula interpolando la potencia eléctrica de la unidad ( $N_R$ ) y los datos sobre el costo de la tecnología en \$/kw de la tabla 2.1.
  - Cálculo del capital total invertido. (CTI), que se determina como la multiplicación de factor Lang (4.8 para plantas que manejan líquidos) (Peter, 2003) por el costo de adquisición de los equipos.
- g) En el primer año se considera la construcción de la instalación y el montaje del equipamiento, trabajando a un 50% de su capacidad productiva, en el segundo año así como el 80% en el tercero, hasta que se normalice la producción a partir del cuarto año.
- h) Para el cálculo de los costos de producción se utilizaron los índices de consumo de materiales y servicios reportados en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Índices de consumo y precios de materiales y servicios para la producción de biogás.

<b>Materiales y servicios</b>	<b>Índice( /m<sup>3</sup> biogás)</b>	<b>Precio (\$)</b>
Cal (t)	0.00033	56.00
<b>Servicios</b>		
Electricidad (kWh)	0.44	0.08
Agua (m <sup>3</sup> )	0.002	0.10

Fuente: Obaya Abreu, 2005; ICIDCA, 2005.

Además se calcularon como indicadores de factibilidad los indicadores dinámicos de inversión VAN, TIR y Periodo de Recuperación se calculan con ayuda de la hoja de cálculo Excel.

### **2.3 Conclusiones parciales**

1. El procedimiento propuesto para el diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos incluye un enfoque integral del proceso de toma de decisiones en este campo de estudio, desarrollado de forma estructural relativamente sencilla, argumentado científicamente y con una reducción del subjetivismo.
2. El procedimiento específico desarrollado para la planeación de la instalación facilita los procesos decisorios de elección de la localización, selección y distribución de la tecnología, para las alternativas de diseño de instalaciones para la producción de biogás con fines energéticos, acorde a las características y objetivos estratégicos de un área geográfica seleccionada.
3. La herramienta seleccionada para la distribución en planta de la instalación constituye un elemento novedoso de la presente investigación, ya que en la literatura consultada no se encontró ninguna referencia al respecto, en la producción de biogás.
4. La evaluación de la factibilidad económica, social y ambiental de la inversión, exalta la importancia de la utilización adecuada de residuos para contribuir a la protección del medio ambiente, a partir de la viabilidad económica.

---

---

## **Capítulo III: Aplicación del procedimiento para el diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos**

### **Introducción**

El presente capítulo se orienta a la comprobación práctica del diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos, con la aplicación de las etapas del procedimiento descrito en el capítulo II, donde el objeto de estudio resultó la ser la provincia Sancti Spiritus.

### **3.1 Desarrollo del procedimiento para el diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos en la provincia Sancti Spiritus**

#### **3.1.1 Etapa 1: Análisis de la situación actual en la provincia Sancti Spiritus**

Para el estudio de esta etapa se determinó el análisis de cinco aspectos fundamentales:

##### **❖ Caracterización del área objeto de estudio**

La provincia Sancti Spiritus, por su superficie es la séptima entre las 14 provincias cubanas. El grueso de su territorio calificado como llanuras, lo que convierte a la agricultura en una de sus principales actividades productivas, en su geografía resalta la presencia de abundantes ríos y arroyos. En uno de ellos, la Zaza, se localiza la presa más grande del país. De ahí se desprende el hecho de que la provincia figure como la de mayor potencial hídrico superficial de la isla.

Formada por ocho municipios, con más de 460 mil habitantes. Entre sus principales renglones exportables se destacan el azúcar y sus derivados, papel y cartulina, tabaco torcido y en rama, langosta, cemento, café, miel y artesanía (López Gonzáles, 2005).

El área agrícola es de 497 mil 617 hectáreas y representa el 73,8 de la superficie total. De ellas, se cultivan 239 mil 514, para un índice de explotación del 48,1 por ciento. Es dedicada a cultivos permanentes más de la mitad de esta (caña de azúcar, pastos y forrajes), y el resto a plantaciones varias. Unas 195 140 hectáreas son pastos naturales.

Por lo anteriormente referido la provincia cuenta con una estructura productiva eminentemente agrícola, por tanto la producción de biogás para generar electricidad de forma descentralizada puede constituir una excelente solución para dar respuesta a las crecientes demandas energéticas, con una mayor seguridad en el servicio eléctrico, disminución de las pérdidas por transmisión de la energía, disminución del impacto ambiental de la generación energética y una mayor rentabilidad para las empresas que operan estas plantas, a la vez que concuerda con los planes actuales del gobierno cubano de ubicar grupos electrógenos de forma descentralizada en el país para aumentar la seguridad energética.

Existe un potencial estimado teóricamente para la producción de biogás que asciende a 80 549 777.03 m<sup>3</sup> anuales a partir de los desechos de la producción pecuaria, agrícola e industrial, incluyendo cañero – azucarera, que posibilitaría la generación de 179.8 GWh de energía eléctrica y 267.9 GWh de energía térmica (López González, 2005).

Pero resulta necesaria la identificación del potencial técnico-económico-ambiental para la producción de biogás, que será definido a continuación.

### **Determinación del potencial de biomasa factible a utilizar**

La selección del potencial de biomasa, como se detalló en el capítulo II, se estableció a partir de las consideraciones descritas por Oria Gómez, (2010), en cuanto a potencial de biomasa a utilizar para la producción de biogás; sin embargo es necesario analizar el estado actual de los mismos y sus usos.

Los principales tipos de residuos que se encuentran en la provincia objeto de estudio son los siguientes:

Residuos Pecuarios (porcinos): existe un gran potencial biodegradable proveniente de los residuales pecuario, ricos en metano. Estos, son sólidos mezclados con agua, que en la actualidad causan un problema para el medio ambiente pues en la mayoría de los casos los sistemas de tratamiento no funcionan adecuadamente, y además causan malos olores en los alrededores de las instalaciones.

Residuos Industriales: no existen grandes industrias que produzcan residuos biodegradables, pero se han tenido en cuenta tres de estas cuyos residuales se unen

en un sistema de 3 lagunas de oxidación, por lo que se analiza este volumen, son el Combinado Lácteo "Río Zaza", la Empacadora "Roberto Quesada " y la Fábrica de conservas. Los residuos fundamentales que se obtienen en cada una de estas industrias son los líquidos, solo en el caso de la Fábrica de conservas, se producen residuos sólidos biodegradables como las semillas de tomate, guayaba y mango pero en la actualidad son empleados como alimentación animal.

Residuos Agroindustriales (caña de azúcar, café, tabaco, arroz): son los más numerosos y en este caso son los que provienen de la industria azucarera, del procesamiento del arroz, del tabaco y del café.

*Residuos azucareros:* provienen de 2 empresas azucareras, "Melanio Hernández" donde se produce azúcar y alcohol y "Uruguay" donde se produce azúcar solamente. De estas producciones se producen 4 tipos de residuos (sólidos y líquidos): residuos agrícolas cañeros (RAC), aguas residuales, cachaza, bagazo, que es usado como combustible y la vinaza.

*Residuos del procesamiento del arroz:* son 3 fundamentalmente, la paja que es un residuo agrícola (que queda en el campo) y los industriales que son la cascarilla (una parte se utiliza como alimento animal y la mayor parte es quemado en los alrededores de la instalación) y el residuo de secadero (es quemado) que está formado por algunas impurezas, restos de ramas y tallo, paja y punta de arroz, todos son sólidos.

*Residuos del procesamiento del tabaco:* se obtiene después de ser procesado, y casi todo es utilizado como nutriente en el campo.

*Residuos del procesamiento del café:* el residuo que se origina, es la cáscara seca y la pulpa (Chase, 1996), estos son procesados en dos territorios de la provincia con estos cultivos, Trinidad y Fomento, actualmente se usan en la elaboración de compost y humus de lombriz (Ríos Orellana, 2010).

Residuos sólidos urbanos: estos han aumentado con el crecimiento de la población y el desarrollo económico, están compuestos por un conjunto de materiales sólidos de origen orgánico e inorgánico, actualmente en la provincia son ubicados e incinerados en los vertederos provocando una gran afectación al medio ambiente.

### Determinación de la demanda de energía eléctrica

El diagnóstico energético utilizado identificó como se distribuye el consumo eléctrico en la provincia por diferentes sectores, los cuales son:

1. Sector residencial.
2. Sector estatal menor (organismos poco consumidores).
3. Sector estatal mayor (organismos altos consumidores).

Desde el año 2006 hasta la fecha la provincia ha tenido un consumo de energía eléctrica de aproximadamente 512882.7Mw por año, del cual el 47,6% fue consumido por el sector residencial, un 19,7 % por el sector estatal menor (organismos poco consumidores), y un 32,7% por el sector estatal mayor (organismos altos consumidores), como se muestra en el gráfico 3.1:

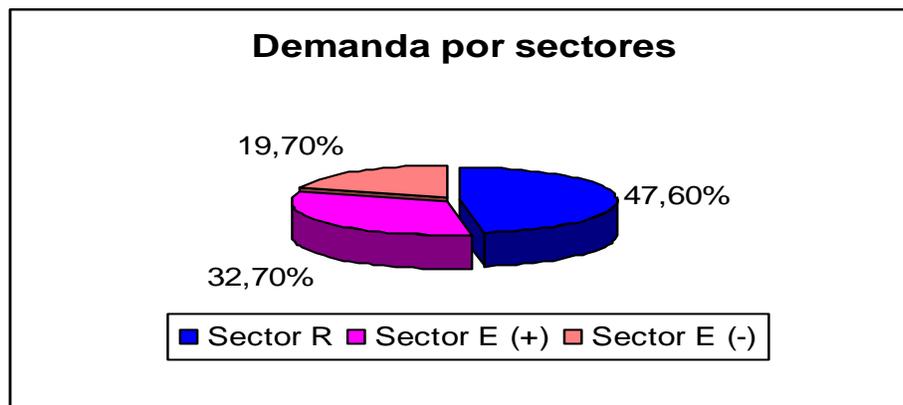


Gráfico 3.1: Demanda de consumo de energía eléctrica por sectores.

Analizando las demandas de consumo expuestas anteriormente y teniendo en cuenta, las características de los posibles escenarios identificados, solo existen posibilidades reales de asimilación de fuentes renovables en el Sector Estatal como alternativa energética, y dentro de este, se determinó que el sector que brinda una mayor factibilidad para la posible utilización del biogás como fuente alternativa de energía es el sector estatal mayor consumidor, pues este reúne condiciones específicas para lograr el objetivo de la investigación, como son:

1. Ubicación concentrada de las instalaciones grandes consumidoras de energía.
2. Localización cercana del potencial de biomasa a utilizar, por los posibles beneficiarios.

3. Alternativa medio-ambiental para el tratamiento de los residuales generados por las empresas involucradas.

Este sector está compuesto por aproximadamente 516 empresas, las cuales están clasificadas de esta forma por consumir mensualmente como mínimo 2000 kwh al mes; de estas, 21 empresas consumen el 78 % (8 855 592 kwh al mes) de la energía eléctrica absorbida por el sector (ver anexo 2), entre los se destacan como municipios consumidores Taguasco, Sancti Spíritus y Trinidad, representados en el MapalInfo como se muestra en la figura 3.1.

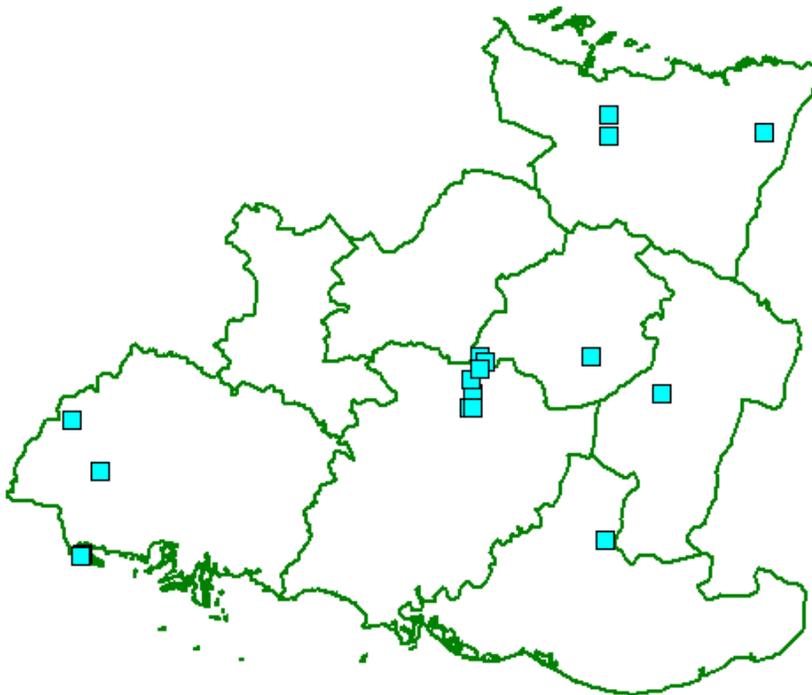


Figura 3.1 Localización geográfica de las principales demandas de energía eléctrica en la provincia.

Por tanto la producción de energía a partir de residuos biodegradables, cercanos a la localización concentrada de empresas altas consumidoras de energía eléctrica, disminuye las pérdidas por transmisión de energía.

### **Pronóstico de la demanda de los productos a obtener**

La producción de biogás con fines energéticos, a partir de los residuales disponibles descritos anteriormente, proveerá como productos principales: la energía eléctrica, energía térmica, bioabonos y efluentes líquidos, capaces de sustituir, estos dos últimos, agroquímicos causantes del deterioro de los suelos; tienen un mercado seguro para todos sus productos.

### **Análisis de los documentos legales-ambientales de la inversión a ejecutar**

Para el análisis de los documentos legales-ambientales de la inversión a ser ejecutada, es necesario destacar el objetivo de la presente investigación como posibilidad de producción de biogás con fines energéticos a través de un procedimiento general, pero en un proceso preinversionista, pues la autora no considera la investigación como interpretación de algunos de los sujetos (atendiendo al carácter de sus funciones) que intervienen en un proceso inversionista, los cuales son: inversionista, proyectista, suministrador y constructor.

#### **3.1.2 Etapa 2: Planeación de la Instalación**

La planeación de la instalación se desarrolla a través del procedimiento específico constituido por 3 pasos como se estableció en el capítulo anterior.

##### **Paso 1: Localización de la instalación**

A partir las técnicas de selección de la localización, para el establecimiento de la planta de producción de biogás, resultó seleccionada las cercanías de la empresa Melanio Hernández y como residual a utilizar la combinación de vinaza y residual líquido (propuesta por Oria Gómez, 2010).

##### *Caracterización de la empresa azucarera Melanio Hernández*

Esta empresa azucarera, productora de azúcar crudo y derivados, perteneciente al Ministerio del Azúcar (MINAZ), se encuentra ubicada en el municipio de Taguasco, provincia de Sancti Spíritus. Fue inaugurada a principios del siglo XX y su destilería en 1944, esta última con una capacidad inicial de producción diaria de 50 000 L de bioetanol, a la que se le fueron aplicando mejoras tecnológicas, ampliándose sus capacidades con la incorporación de una planta de CO<sub>2</sub> en 1989 con potencial de 6,0

t diarias, se mantuvo la producción de levadura *Saccharomyces* seca y en crema con destino a la alimentación animal, en la década del 90 del pasado siglo fue incorporada la producción de rones finos para la exportación y consumo nacional, actualmente su potencial es de 90 000 L. de bioetanol por día y su norma operacional es de 70 000 L de bioetanol 100 GL.

Este complejo fabril genera residuos orgánicos durante la cosecha y el procesamiento de azúcar y alcohol, identificados como: RAC (residuo agrícola de la cosecha de la caña de azúcar), cachaza, aguas residuales y vinazas; con una producción de: 20948.4 t/a de RAC, 12088,8 t/a de cahaza, 253800 m<sup>3</sup>/a de vinaza, 264960 m<sup>3</sup>/a de agua de residuales y además de residuos pecuarios de 1379,7 t/a (auto consumo) que actualmente están siendo utilizados: como cobertura orgánica y la conservación de los suelos (RAC), como abono orgánico directo y en forma de compost (cachaza) y mezclada con aguas residuales (vinaza) en el fertirriego.

Los **residuales líquidos** utilizados en la fertirrigación de los campos de caña disponibles, comparado con los criterios, (MINAZ 2002, NC-27 y Lebrato et al., 2004), en cuanto a los valores de pH, contenidos de grasas y aceites, sólidos gruesos con contenidos de azúcar se clasifican como no aptos para fertirrigación. Proponiéndose utilizar como diluyente de la vinaza para la producción de biogás.

De la misma forma, **la vinaza** (residual líquido de la producción de bioetanol) presenta niveles superiores a los normados por el organismo productor establecido a nivel central, que corresponde un hL de bioetanol por 1.6 m<sup>3</sup> de vinaza, el cumplimiento de este indicador es priorizado, según plantean el Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental de Cuba (CIGEAC), 2003; NC-27 y Lebrato et al. (2004) para lograr producciones más limpias. Hasta el momento no se ha podido definir la solución definitiva de este residual líquido de alta carga contaminante, comportándose muy agresivo al medio ambiente, lo que ha originado paralizaciones de la fábrica (ver anexo 3). La opción de emplearlo en la producción de biogás aportaría un beneficio al medio, además de obtener energía y un fertilizante orgánico más estable. Además el suelo disponible actual (480,74 ha) y futuro proyectado (868,83 ha) no satisface las necesidades para evacuar estos líquidos

residuales, pues el área necesaria para evacuar todos los residuales es 5354,28 ha, casi 7 veces mayor, que el actualmente disponible (Lugones León, 2009).

Actualmente el residual líquido es conducido a través de un sistema de canales secundarios que vierten a un canal principal, el cual posee un separador de sólidos, una trampa de grasas y aceites de lubricación, y un medidor vertedor tipo Thompson de 90°; finalmente estos se almacenan en una laguna tipo "S" de bajo tiempo de retención, donde son mezclados con los residuos de la destilación de bioetanol (ver figura 3.2)

En este paso a partir de la propuesta establecida, se comparan las diferentes áreas a seleccionar para el emplazamiento final, que se obtiene con la aplicación del método de las Jerarquías Analíticas (AHP) (Saaty, 1980), propuesto en el capítulo anterior:

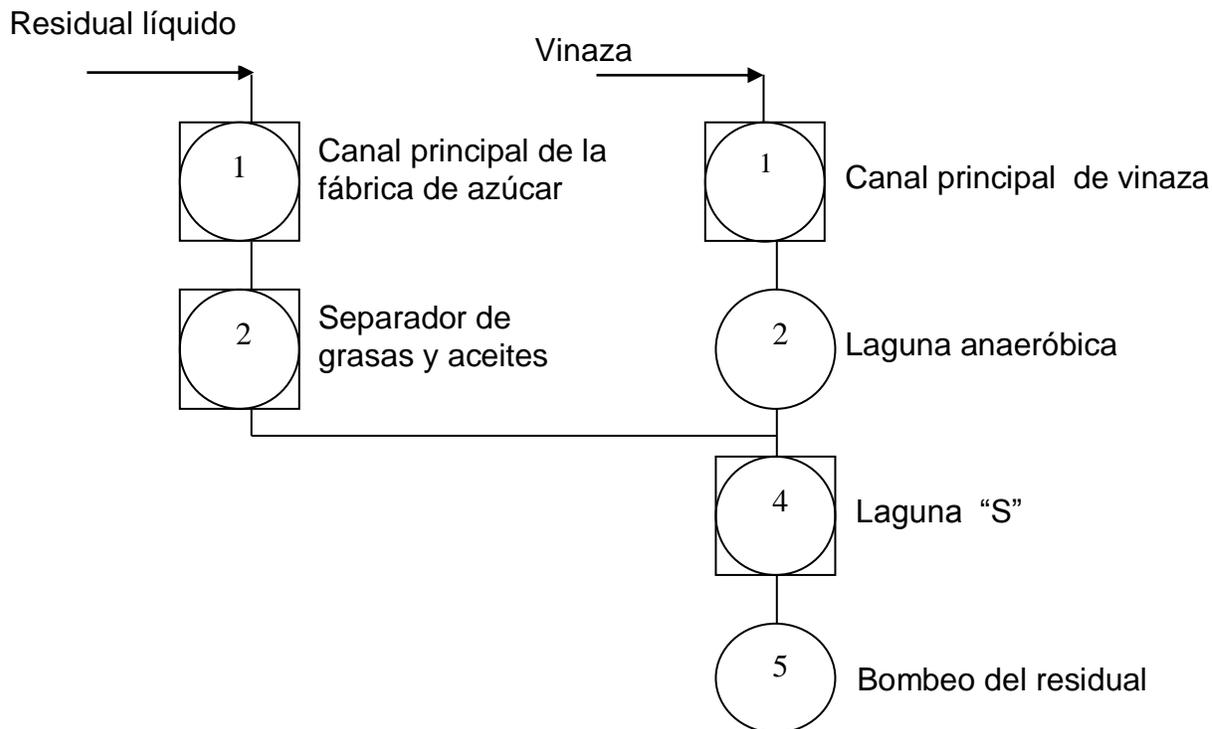


Figura 3.2 Diagrama de flujo del residual hasta su destino final (suelos receptores)

1. Construcción de una jerarquía de decisión

El nivel 1, perteneciente a los criterios está referido a las 3 áreas establecidas para la selección de la instalación final que serían: área 1 (lado izquierdo de la Destilería “Paraíso”), área 2 (debajo de las lagunas de oxidación), y área 3 (frente a la Destilería “Paraíso”) (ver anexo 4); y el nivel 2, perteneciente a los factores, se determinan a través del trabajo con expertos y resultó que la utilización actual del terreno, la cercanía a la fuente de residuos, la cercanía a la disposición final del efluente, la pertenencia del terreno e insuficiencias por anomalías de este, son los factores más importantes a considerar por los expertos para la comparación entre cada uno de los criterios.

2. Determinación de la importancia relativa de los atributos y subatributos.

La determinación de la importancia relativa de cada suministro en la producción de biogás, utilizando el método de trabajo en grupo para la determinación de la importancia relativa, de los factores y criterios, se realizó por la escala establecida por Saaty (1980), y los expertos comparan por parejas de criterios cuánto es más importante uno que otro, teniendo en cuenta cada factor según la escala antes mencionada.

3. Determinación de la razón de inconsistencia.

Para que la consistencia superior al 90%, la razón de inconsistencia (RI) de los juicios de los expertos debe ser menor que 0.1 según lo establecido por Saaty (1980), entonces la consistencia es aceptable.

Los resultados obtenidos se muestran en la matriz de Saaty, representada en el anexo 5.

El área seleccionada (ver figura 3.3), se establece por la columna de la sumatoria total, donde se puede concluir que el orden de prioridad es: área 3, área 2, y área 1.



Figura 3.3 Área seleccionada para la producción de biogás. Fuente: Googlemap 2010.

### **Paso 2: Selección de la tecnología a utilizar**

La selección de la tecnología a utilizar, a partir de la disponibilidad de utilización de los residuos descritos anteriormente (vinaza y residuales líquidos), se seleccionó como tipo de tecnología a utilizar la caracterizada por los sustratos altamente diluidos % S.S < 2g/l del 3er grupo (propuesto por Barrera Cardoso, 2008) que: incluye vinazas, residuales de la torula y residuales líquidos; su tecnología se describirá a continuación:

- 1. Pretratamiento:** para el funcionamiento de esta etapa se asumió un proceso de mezclado continuo, en el cual aplicando las fórmulas establecidas en el capítulo anterior se determinó que  $V_{Tanque} = 100m^3$ , para garantizar un mezclado homogéneo del proceso se establecen 2 tanque de  $V_{Tanque} = 50m^3$  cada uno con  $h = 3m$  y  $r = 2,3m$ , necesario para almacenar el residual de una hora de operación (Figura 3.4)

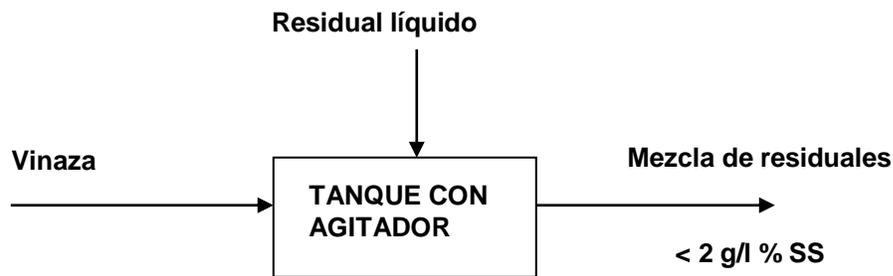


Figura 3.4 Diagrama de bloques de la etapa de pretratamiento. Fuente: Elaboración propia, basado en Barrera Cardoso, 2008.

2. **Digestión:** se escogió como tipo de digester, el digester anaerobio de flujo ascendente con manto de lodo (UASB), se caracteriza por la retención de biomasa en su interior sin necesidad de ningún medio de soporte, gracias a la formación de granos o gránulos. El volumen del reactor calculado por la ecuación (2) fue de 4746 m<sup>3</sup> (Área de 400 m<sup>2</sup>), H= 12 m con un  $TRH = 2d$ , obteniéndose un flujo de biogás de 15187 m<sup>3</sup> de biogás al día, lo que representa en el año 3644928 m<sup>3</sup> de biogás al año a partir del residual utilizado.
3. **Purificación:** se instaló un tanque purificador con un gasómetro incluido, además de un rotámetro (R) y un soplador (S) de aire según se muestra en la figura 3.5, en el cual se pone en contacto el biogás con ciertas bacterias azufradas presentes en la superficie líquida de residuales en presencia de pequeñas cantidades de oxígeno del aire (2 % de la cantidad de biogás a tratar), alcanzándose eficiencias de remoción entre el 84 y el 99 % y reduciendo la cantidad de H<sub>2</sub>S desde un 3 % hasta un 0.007 – 0.01 %. El volumen calculado para el gasómetro fue de 316 m<sup>3</sup>, con un flujo de aire de 72.
4. **Generación de energía eléctrica:** se asumió la operación de este motor de combustión interna durante 24 horas al día, por tanto  $Q_{MCI} = 56952m^3/h$ , con una potencia de entrega del combustible de 364293,468 kW, escogiendo como poder calórico (Pc) del biogás 5500 kcal/m<sup>3</sup> que está dentro del rango dado por Werner (1989)

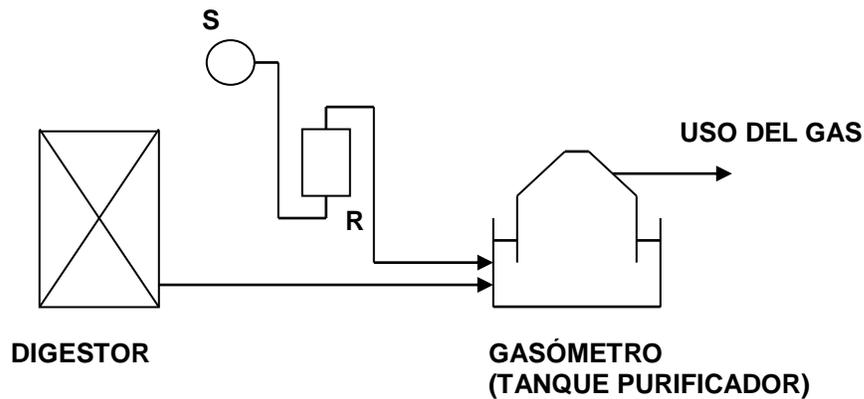


Figura 3.5 Diagrama de bloques de la etapa de purificación. Fuente: Elaboración propia basado en Barrera Cardoso, 2008.

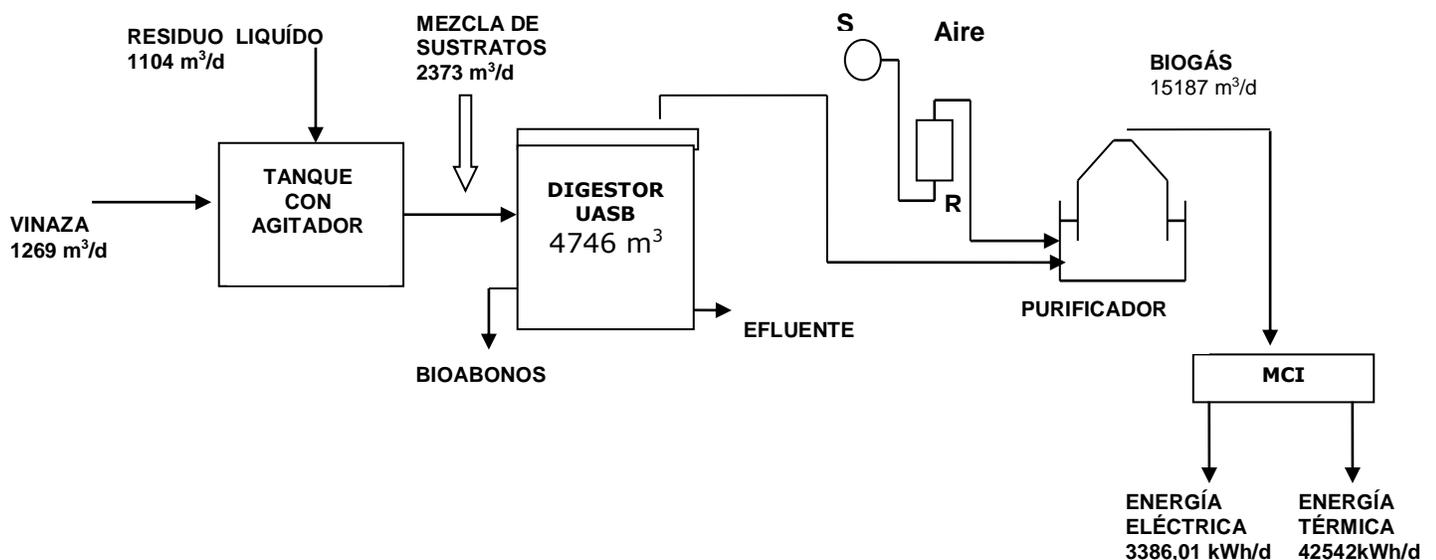


Figura 3.6 Diagrama de flujo dimensionado para la obtención de energía a partir de residuos de la empresa azucarera Melanio Hernández y la destilería "Paraíso".

De esta forma resultó seleccionada la tecnología a utilizar en la instalación, además de las principales corrientes de entrada y salida de cada una de sus etapas (ver figura 3.6) y se propone la entrega de 50420,84 kWh/d de energía térmica para procesos de la empresa y calentamiento de agua para viviendas aledañas y el sacrificio de cerdos; y 3386,01 kWh/d de energía eléctrica se podrá cubrir el 100% de la demanda.

### Paso 3: Diseño de la distribución de la instalación

La distribución de la instalación como se formuló en el capítulo anterior, comienza con la determinación del flujo de materiales, el cual se estableció a partir de la secuencia de operaciones determinadas por la tecnología en el paso anterior del procedimiento (ver figura 3. 7)

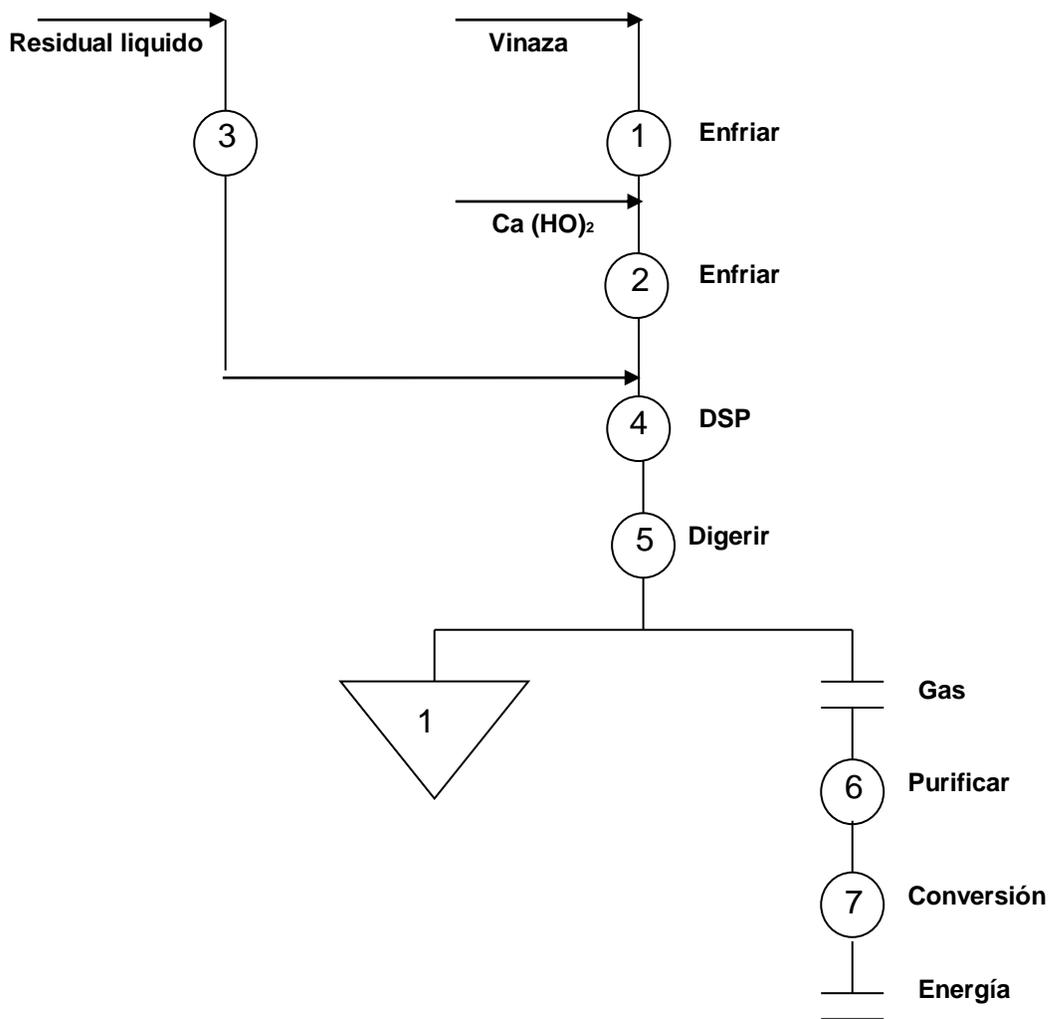
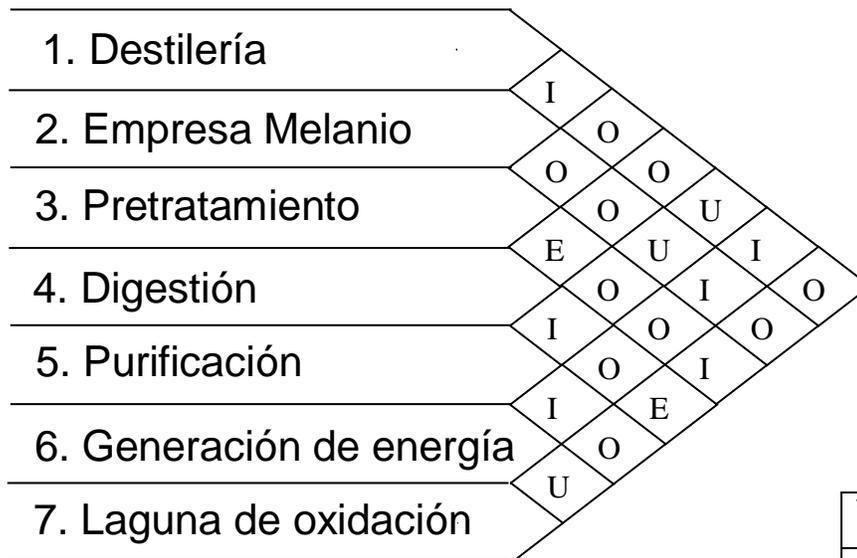


Figura 3.7 Diagrama OTIDA del proceso de obtención de energía.

Luego se estableció el gráfico de relación entre las actividades que integran el proceso, atendiendo al grado de proximidad con la utilización de la escala establecida por el procedimiento (ver figura 3.8)



Valor	Proximidad
A	Absolutamente necesaria
E	Especialmente importante
I	Importante
O	Ordinaria- Normal
U	Sin importancia
λ	No deseable

Figura 3.8 Relación entre las actividades del proceso de producción de biogás.

A partir del diagrama de flujo y el gráfico de relación, se confeccionó el diagrama de relaciones, como representación gráfica de los datos obtenidos hasta el momento (ver figura 3.9)

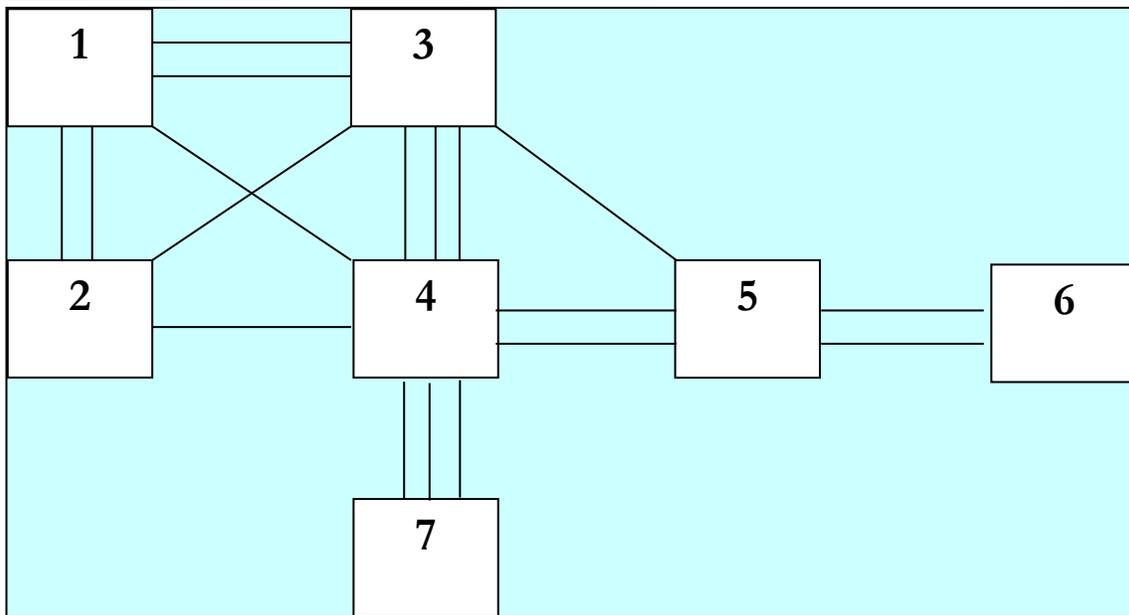


Figura 3.9 Diagrama de relaciones de las actividades que intervienen en el proceso de producción de biogás.

A partir de este punto se comenzó a definir las necesidades de espacio, las cuales fueron especificadas, durante la selección de la tecnología, que fue delimitada como:

- Área de pretratamiento: 34 m<sup>2</sup>
- Área del reactor: 400m<sup>2</sup>
- Área de purificación: 154m<sup>2</sup>
- Área de generación de energía: 8m<sup>2</sup>

Luego se estableció el área disponible para la producción de biogás con fines energéticos, la cual se determinó en el paso 1 del procedimiento (ver figura 3.3)

Una vez confeccionado el diagrama de relaciones y definida el área disponible a utilizar en el desarrollo de los procesos, se realizó el diagrama de relaciones de espacio a escala, como primer esbozo de la determinación de la distribución en planta definitiva, la cual se muestra en el anexo.

Posteriormente, se realizaron ajustes al diagrama para establecer como tipo de flujo que representa el proceso, el flujo en círculos, quedando determinada como la distribución en planta final, la que se muestra en el anexo 6.

### **3.1.3 Etapa 3: Evaluación de la factibilidad económica, social y ambiental de la alternativa de inversión**

Una vez establecida la distribución de instalación, se procedió a realizar la evaluación económica, social y ambiental, a partir de los aspectos establecidos en el anterior capítulo, determinados por los beneficios asociados a la actividad de producción de energía eléctrica (ver gráfico 3.2) y los gastos que se generan durante la misma (ver gráfico 3.3). Como se observa en el gráfico 3.2, la principal fuente de ingreso es la venta de bioabonos y no la venta de la energía eléctrica producida, sin embargo, la producción de biogás para generar energía, produce otros beneficios sociales y ambientales que demuestran su factibilidad como:

- 1 La utilización de la digestión anaerobia disminuye la carga orgánica de los residuos utilizados como materia prima y se consideran químicamente más estables, como consecuencia de la actividad de los microorganismos sobre ellas. Estos lodos son ricos en nutrientes, por lo que pueden ser utilizados como alimento para animales o como abono orgánico, aumentando la materia orgánica del suelo.
- 2 El uso del biogás disminuye la utilización de combustibles convencionales que son una fuente de energía no renovable, reduciendo la dependencia energética de otros países.
- 3 Se reduce las emisiones de metano y dióxido de carbono en 87883,77 t por año.
- 4 Se dejan de emitir gases causantes de efecto invernadero por la sustitución del combustible fósil para generar 812642,4 kWh/a de energía eléctrica cuyas cantidades se muestran en la siguiente tabla 3.1.

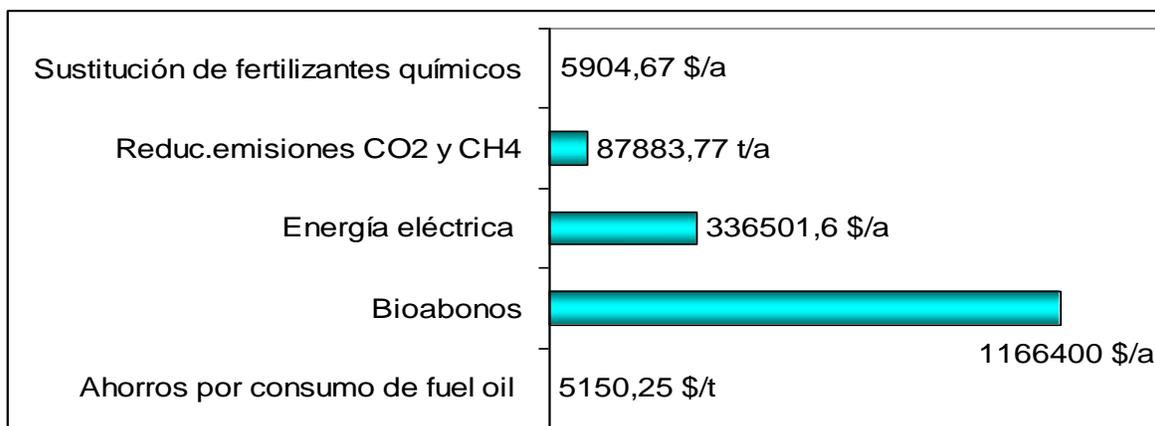


Gráfico 3.2: Beneficios asociados a la actividad de producción de energía eléctrica.

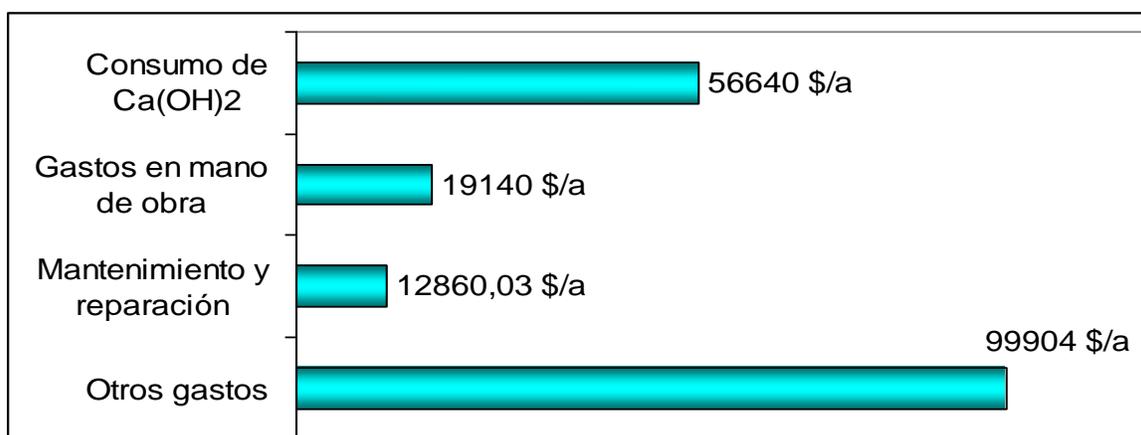


Gráfico 3.3: Gastos asociados a la actividad de producción de energía eléctrica.

Tabla 3.1 Cantidades de gases de efecto invernadero que se dejan de emitir.

Impactos ambientales	Gases	Factor emisión (g/ kWh)	Masa de gases(kg)
Lluvias ácidas	NOX	3.41	11.54
Gases dañinos	CO2	799	2705.42
Efecto invernadero	CO	0.23	0.778
hidrocarburos	HC	0.083	0.281
Lluvias ácidas	SO2	0.0984	0.338

Fuente: Elaboración propia basado en Herminia (2006).

Además se determinaron indicadores dinámicos de rentabilidad resultado del cálculo de los flujos de caja (ver anexo 7), determinados por TIR de 21 % muy superior a la

tasa de descuento utilizada para su cálculo lo que reduce al margen de riesgo por el incremento de la última, con un PRI de 4,17 años y un VAN de \$ 1586982,61. Este resultado es superior al alcanzado por Obaya Abreu (2005) para una planta de producción de biogás a partir de vinazas, quién reportó un PRI de 8.

### **3.2 Conclusiones parciales**

1. El análisis de la situación actual de la provincia de Sancti Spíritus reveló el escenario a incidir para el diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos, a partir de la exploración de la demanda de energía eléctrica como principal producto a obtener del proceso y del potencial de biomasa existente en la región.
2. La planeación de la instalación a partir de la aplicación del método AHP determinó que la localización del emplazamiento para la producción de biogás es el área 3 (frente a la Destilería “Paraíso”), con la utilización de tecnología UASB para la digestión de residuos líquidos de la producción de azúcar y vinazas de la producción de alcohol.
3. La aplicación del procedimiento propuesto para la toma de decisiones de la distribución de la instalación estableció como tipo de flujo de circulación de la materia prima, el circular, facilitando y reduciendo los costos de transportación hacia la laguna de oxidación.
4. La evaluación económica, social y ambiental demostró la factibilidad de la inversión reportando reducciones considerables de gases tóxicos a la atmósfera, ingresos considerables por la venta de energía eléctrica y bioabonos y una TIR de 21% y PRD de 4,17 años.

---

---

## **Conclusiones generales**

Como resultado de la presente investigación pudo arribarse a las conclusiones generales siguientes:

1. El estudio bibliográfico realizado en los marcos de la construcción del marco teórico-referencial de la investigación confirmaron la existencia de una amplia base conceptual sobre el diseño de instalaciones, sin embargo no se encontraron precedentes de la aplicación de herramientas metodológicas de este para la producción de biogás con fines energéticos a través de la planeación de instalaciones, en la cual a partir del producto identificado y la tecnología a utilizar, se realiza el diseño de la instalación.
2. Se logró diseñar un procedimiento que permite el diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos considerando las condicionantes y particularidades no solo del entorno empresarial cubano, sino también desde el punto de vista del desarrollo local del territorio.
3. La aplicación del procedimiento propuesto en la Empresa azucarera “Melanio Hernández” permitió identificar los principales indicadores en el proceso de diseño para la implementación de este tipo de tecnología y utilizar eficientemente los residuos generados por la entidad.

El procedimiento de diseño de instalaciones para la producción de biogás con fines energéticos, incluyendo el procedimiento específico para la planeación de la instalación, contempla elementos de relevancia científica que permiten el incremento sustancial de la efectividad de la toma de decisiones durante el proceso objeto de estudio, lo que permitió el cumplimiento de los objetivos propuestos en la presente Tesis.

---

---

## **Recomendaciones**

Con el fin de motivar la realización de trabajos futuros, que enriquezcan el resultado de la presente investigación, se plantean las recomendaciones siguientes:

1. En el caso de la aplicación mostrada, profundizar en parámetros técnicos en las etapas de pretratamiento, digestión, purificación y generación de energía, durante el proceso de producción de biogás.
2. Realizar una investigación sobre el sistema de manejo de materiales a lo largo de todo el proceso de obtención de energía eléctrica.
3. Continuar el perfeccionamiento del procedimiento general y el procedimiento específico propuesto, adaptando estos a otras empresas y entornos donde serán aplicados.

Continuar la divulgación de los resultados de esta investigación a través de eventos científicos, cursos de postgrado y mediante la presentación de artículos científicos, como una vía de contribuir a la generalización de los resultados obtenidos y a la vez convertirla en un material de consulta.

---

---

## Referencias bibliográficas

1. Abreu Ledón, R. (2004). Modelo y procedimiento para la toma de decisiones de inversión sobre el equipamiento productivo en empresas manufactureras cubanas. Tesis presentada en opción del Grado de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Santa Clara, Cuba.
2. Arrastía Ávila., M.(2002) “Energía para el desarrollo sostenible” ISPEJV Revista “Energía y tu” N19, julio – septiembre.
3. Arrastía Avila, M .A.(2009) Hacia un nuevo paradigma energético. Revisado el 13 de enero del 2009 en <http://digital@juventudrebelde.cu>
4. Barrera Cardoso (2007). “Propuestas tecnológicas para producir biogás con fines energéticos”. Un estudio de caso en la granja Remberto Abad Alemán. Tesis presentada en opción al grado científico de Master en Ciencias. Universidad de Cienfuegos.
5. Barreto Torrella, S. (2003) Para un desarrollo de programas rurales de empleo del biogás. Centro de Estudio para el Desarrollo de la Producción Animal, Universidad de Camagüey.
6. Barreto Torrella, S. (2006) Estrategia para la inserción Industrial de la digestión anaerobia en el desarrollo regional. Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Técnicas.
7. Berriz L.(2000) “Cuba y las fuentes renovables de energía” Cuarta edición, 2000, La Habana Editora de CUBASOLAR. Consultada el 24 de mayo del 2008 en [http://www.cubaenergia.cu/proye\\_enere/proyect\\_enere.htm](http://www.cubaenergia.cu/proye_enere/proyect_enere.htm)
8. Borroto Bermúdez J.(1999). Energización de comunidades rurales ambientalmente sostenibles. Universidad de Cienfuegos. Facultad de Ingeniería Mecánica. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Ediciones LTDA [Colombia](#). pág. 108.
9. Bretaña del Campo, E. Estudio técnico- económico de la instalación de una planta de biomasa para generación eléctrica Universidad Pontificia Comillas Escuela técnica superior de ingeniería (ICAI) Ingeniería en Organización Industrial. 2007.
10. British Petroleum. Statistical Review of World Energy, 2005.

11. British Petroleum. Statistical Review of World Energy, 2006.
12. Buffa, E.S. Secuence analysis for functional layouts. The Journal of Industrial Engineering, nº Marzo, 1955. pp 12-25.
13. Cespón Castro, R. (1995) Sistema de actividades para la proyección tecnológica de instalaciones productivas del tratamiento térmico, en fases primarias inversionistas. . Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Técnicas.
14. Chase, B.; Aquilano, J. & Jacobs, R. (2000). Administración de Producción y Operaciones. Manufactura y Servicios (8<sup>va</sup> Ed.). Editorial Mc Graw Hill Interamericana, S.A., Santa Fe de Bogotá, Colombia.
15. CIGEA Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental de CUBA (2003).
16. CIPAV. Búsqueda de patentes. Proyecto para la utilización del biogás como reemplazo de combustible diesel en motores de combustión interna para la generación de energía eléctrica. 1997
17. Del Río Cidoncha, M.G. Un modelo para el diseño de distribuciones en planta en arquitectura. Tesis Doctoral, Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla, 2002.
18. Dinsdale, R.M., Premier, G.C., Hawkes, F.R., Hawkes, D.L.(2000). Twostage anaerobic codigestion of waste activated sludge and fruit/vegetable waste using inclined tubular digesters. Bioresource technology. Vol. 72. pp. 159-168.
19. Domínguez Machuca, J. A. et al. (1995). Dirección de operaciones: aspectos tácticos y operativos. Editorial Ariel, S.A., Barcelona, España.
20. Espineira, P.(2003) Biogás familiar: mas de 11 años de experiencia y resultados. XV forum provincial de ciencia y técnica. Sancti Spíritus. Cuba.
21. Fernández Sánchez, E (2008). "Cuba prepara planta para producir biogás de vertedero basura". Consultado en Mayo 2009 en: <http://www.radiolaprimerisima.com/noticias/alba/30334>.
22. Fernández Sánchez, E. (1993). Dirección de la Producción I. Fundamentos Estratégicos. Editorial Civitas, S.A., España.
23. Geysel (2006) Informe de Asamblea anual.

24. Gómez Figueroa O., Diéguez Matellán E. & Negrín Sosa E. (2007). Localización y distribución en planta de instalaciones de producción y servicios. Apuntes para un libro de texto. CD 4to año Ingeniería Industrial para la Tarea Álvaro Reynoso. Ministerio de Educación Superior, Ciudad de la Habana, Cuba
25. Guardado J. A. (2004) .Sistemas de ciclo cerrado, una alternativa para la agricultura sustentable” Conferencia Latinoamericana de Agricultura Sustentable.
26. Guardado, C J A. (2006). El Arte del Biogás y su Integración en Cuba. Proyecto GBN”. X Taller Nacional con participación extranjera: “Actualización y perspectiva para la producción de biogás en cuba”. Sancti Spiritus.
27. Heizer, J. y Render, B. (2005). Principles of operations management (6ª Ed.). Editorial Prentice Hall
28. Herminia, J. et al. (2006). Tabloide universidad para todos. Protección ambiental y producciones más limpias.
29. Hernández, C. A. Segundo Forum Nacional de Energía. Biogás, Comisión Nacional de Energía (CNE). 1990.
30. Hernández Fernández, O. (2003) Implementación del diagnóstico energético de primer grado en la provincia de Pinar del Río. Revisado el 15 de marzo del 2007 en [http://www.elguardian.cu/energía/proyect\\_enere.htm](http://www.elguardian.cu/energía/proyect_enere.htm)
31. Hernández Pérez, G. y Günter Woithe (1986) Fundamentos de la proyección de fábricas de construcción de maquinarias. Editorial: Pueblo y Educación, La Habana, Cuba, 1986 (1º. Edición).
32. Immer, J.R.(1950) *Layout planning techniques*. Mc Graw Hill, New York.
33. Indicadores socioeconómicos de Cuba (2003). Revista Panorama Económico y Social de Cuba. Sitio web: [www.medioambiente.cu/download/2003/Indicadores%20socioecon%F3micos.pdf](http://www.medioambiente.cu/download/2003/Indicadores%20socioecon%F3micos.pdf)
34. Índices, X Taller Nacional de Biogás con participación extranjera, Sancti Spiritus, 2006.

35. IPROYAZ. (1998) "Ampliación sistema de riego residuales CAI - Destilería Melanio Hernández". Informe Interno.
36. Krajewski, L. J. & Ritzman, L. P. (2000). Administración de operaciones. Estrategia y análisis (5ª Ed.). Editorial Pearson Educación, México.
37. Lebrato M, J. et al (2004). Tecnologías no Convencionales de Tratamientos de Agua. Universidad de Sevilla: Editorial; CEP S.I. Tomo I.
38. León G. S. (2003). CONTRUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DE BIODIGESTORES EN COMUNIDADES RURALES DE NICARAGUA. (CIPRES).
39. León Mursuli; A.; Barreras Cardoso, E. y Romero Romero, O. (2006) Recopilación bibliográfica de tecnologías existentes en Cuba y el Mundo para producir biogás.
40. Levys, A. (2005) Diseño y Construcción del Sistema Biogás Nord en el Central Enrique José Varona. CD-ROOM X Taller Nacional de Biogás con participación extranjera.
41. Linke, B. ; Schelle , H (2000). Solid State Anaerobic Digestión of Organic Wastes.
42. López González, Contreras Velásquez Romero Romero, (2005). "Estimación de la producción de biogás con fines energéticos en la provincia Sancti Spíritus" Evento Internacional "Entorno Agrario" Centro Universitario José Martí Pérez Sancti Spíritus.
43. López González, L. et al. (2007). La producción de biogás en la Empresa Melanio Hernández, una alternativa energética. Revista Centro Azúcar. Vol 34, 3/2007. ISSN 0253 5777. Pág. 83-86.
44. López Torres, M. (2000) Procedimiento de pretratamiento para mejorar la digestión anaerobia de residuos sólidos. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en ciencias técnicas. CNIC. Ciudad de la Habana.
45. Lugones León, B. (2003) Análisis de biodigestores. Revista Energía y Tú, No 22; abril- junio; pag. 12-15.
46. Lugones León, B. (2009) Diagnóstico del sistema de fertirrigación, con la utilización de las aguas residuales del complejo fabril de la empresa Melanio

- Hernández. Informe de investigación terminada. Universidad de Cienfuegos, Cuba.
47. Marcos, A., Aníbal. B. y Inocente P. (2003) Nexos entre la generación descentralizada y las fuentes renovables de energía.
48. Marrero Delgado, F. (2001). Procedimientos para la toma de decisiones logísticas con enfoque multicriterio en la cadena de corte, alza y transporte de la caña de azúcar. Aplicaciones en CAI de la provincia Villa Clara. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias técnicas. ISPJAE, Cuba
49. Maynard, H. B. (1984). Manual de Ingeniería y Organización Industrial. Editorial ENPES. MES. Ciudad de la Habana, Cuba.
50. MINAZ (1996) Metodología para la elaboración de las fundamentaciones económico financieras de los proyectos de Inversión de Análisis y aprobación de forma centralizada”. Dpto Evaluación económica. Viceministro de Economía. Cuba.
51. MINAZ (2002). Metodología. Utilización de los Residuales de la Industria Azucarera en el Fertirriego de la caña de azúcar. Dirección Nacional de Riego y Drenaje – INCA. p. 3.
52. Moletta R. (2005) Water Science and technology. Vol 51. No 1. p 137-144.
53. Montalvo Martínez, S. y Lorna Guerrero, S. (2003). Tratamiento anaerobio de residuos. Producción de biogás. Universidad Técnica Federico Santa María, Pág 413.
54. Muther, R. (1961) Systematic Layout Planning. Industrial Education Institute, Boston.
55. NC-27.(1999) Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana. Edición 1999.
56. Obaya Abreu, M .C. et al. (2005) Tratamiento combinado de las vinazas de destilería y residuales azucareros en reactores UASB. Revista Tecnología del agua. Nro. 249, junio. Pág. 78-85.

57. Oficina Nacional de Estadísticas (ONE, 2009). Anuario Estadístico de Cuba 2008 La Habana, Cuba. p 340.
58. Oria Gómez, Y. (2010) Procedimiento para conformar la red logística de la producción de biogás en la provincia. Investigación paralela a esta.
59. Peters M. S., Timmerhaus K. D. (2003) "Plant Design and Economics for Chemical Engineering".
60. Ramírez Rodríguez, L. (2004) Generación eléctrica por medio de biogás. Trabajo de Diploma de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica.
61. Ríos Orellana (2010). Documentos Archivados en la Dirección Provincial de la Agricultura, Sancti Spíritus.
62. Romero Romero, O. (1997). Evaluación técnico económica de diferentes variantes para cogenerar en un central con destilería anexa Tesis para optar por el grado científico de Master en Ciencias en eficiencia energética y Diseño térmico. Universidad de Cienfuegos.
63. Romero Romero, O. (2005) "Metodología para incrementar el aporte de electricidad con bagazo y alternativa de combustible para generar fuera de zafra". Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias. UCLV.
64. Rosaball J., Valle M. (1989) "Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas" Tomo II. Editora ENPES. La Habana.
65. Pérez Escoso, A. (2009). El SEN cubano, sus antecedentes, desarrollo y situación en los últimos años. Medidas para reducir las afectaciones eléctricas. Revisado el 27 de octubre del 2009 en <http://www.cubaenergía.cu>
66. Posluszny, José Antonio 2004 Energía De La Biomasa, Tecnologías Para Emprendimientos De Mediana Escala.
67. Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGraw Hill.
68. Saaty, T. L. (1995). Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World. RWS Publications, 3<sup>d</sup> edition. Pittsburgh.
69. Salvendy, G. (1982). Handbook of Industrial Engineering. Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, Cuba.

70. Savran, Valentina.(2004) Censo digestores construidos en Sancti Spiritus. IX Taller Nacional de Biogás efectuado en Camaguey. III Simposio Internacional de Arquitectura e Ingeniería al Servicio del Medio Ambiente ARINSEMA.
71. Schroeder, R. (2006). Administración de operaciones. (9° Edición). Editorial Mc Graw Hill. Interamericana, D. F., México
72. Sosa, R. (1999) Construcción y evaluación de un biodigestor tubular de polietileno. Tesis para optar por el título de Máster en Ciencias.
73. Taboada Rodríguez, C. (1990). "Organización y Planificación de la Producción. (Parte I) Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana, Cuba.
74. Turzo, E. et al. (1984). Estudio del tiempo de retención (T.R.) y de sinergia de deyecciones de ganado, en el proceso de fermentación anaerobia. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, pp. 6-47.
75. ULRICH, G. D. Procesos de Ingeniería Química. 1990.
76. Werner, J.(1989) Symposiun on Anaerobic Digestion. Wales. Revisado el 3 de febrero de 2008 en:  
<http://www.medioambiente.cu/download/2003/indicadores%20socioecon%F3micos.pdf>
77. Zamora, E. (2003) Metodología para el diseño de un biodigestor. 2001.

---

---

**Anexo 1.** Descripción de los términos de la Resolución no.77/99. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio ambiente

**Estudio de Impacto Ambiental:** descripción pormenorizada de las características del proyecto de obra o actividad que se pretenda llevar a cabo, incluyendo su tecnología y que se presenta para su aprobación en el marco del proceso de evaluación de impacto ambiental. Debe proporcionar antecedentes fundados para la predicción, identificación e interpretación del impacto ambiental del proyecto y describir las acciones que se ejecutarán para impedir o minimizar los efectos adversos, así como el programa de monitoreo que se adoptará.

**Evaluación de Impacto Ambiental:** procedimiento que tiene por objeto evitar o mitigar la generación de efectos ambientales indeseables, que serían la consecuencia de planes, programas y proyectos de obras o actividades, mediante la estimación previa de las modificaciones del medio ambiente que traerían consigo tales obras o actividades y, según proceda, la denegación de la licencia necesaria para realizarlos o su concesión bajo ciertas condiciones. Incluye una información detallada sobre el sistema de monitoreo y control para asegurar su cumplimiento y las medidas de mitigación que deben ser consideradas.

**Licencia Ambiental:** documento oficial, que sin perjuicio de otras licencias, permisos y autorizaciones que de conformidad con la legislación vigente corresponda conceder a otros órganos y organismos estatales, es otorgada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente para ejercer el debido control al efecto del cumplimiento de lo establecido en la legislación ambiental vigente y que contiene la autorización que permite realizar una obra o actividad;

Medio Ambiente, sistema de elementos abióticos, bióticos y socioeconómicos con que interactúa el hombre, a la vez que se adapta al mismo, lo transforma y lo utiliza para satisfacer sus necesidades.

---

---

La Evaluación de Impacto Ambiental tiene el propósito primordial de proteger el medio ambiente y, a ese fin, debe valorar y proporcionar la información de los probables efectos ambientales a los encargados de tomar decisiones, de forma tal que permita, de ser necesario, aprobar condicionadamente o denegar la ejecución de un proyecto de obra o actividad, estableciendo los procedimientos adecuados a esos fines, en atención a lo cual, tendrá los objetivos siguientes:

- a) asegurar que los problemas potenciales a ocasionar al medio ambiente, sean debidamente previstos e identificados en una etapa temprana del diseño y planificación del proyecto, presentando opciones para la toma de decisiones;
- b) examinar en qué forma el proyecto puede causar daños a la población, a las comunidades, a otros proyectos de desarrollo social y al medio ambiente en general.
- c) identificar las medidas para prevenir, mitigar, controlar, rehabilitar y compensar los posibles impactos negativos y realzar los posibles impactos positivos, según proceda, estableciendo las vías para mejorar la conformación del proyecto de obra o actividad; y
- d) propiciar la evaluación y valoración económica de los efectos ambientales previstos y el costo de su reducción.

---

---

**Anexo 2.** Principales demandas de energía eléctrica en la provincia.

<b>Municipio</b>	<b>Empresa</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
TAGUASCO	FAB. CEMENTO SIGUANAY	1706291
TRINIDAD	PAPELERA PULPA CUBA	1516741
CABAIGUAN	REBOMBEO TUINUCU	1508438
SANCTI SPIRITUS	COMBINADO RIO ZAZA	806876
YAGUAJAY	CAI S.BOLIVAR 115/230	427735
SANCTI SPIRITUS	PASTEURIZADORA BANCO	345089
SANCTI SPIRITUS	HOSPITAL PROV.C.CIENFUEGOS	180605
TAGUASCO	COMBINADO ASBESTO CEMENTO	176573
TAGUASCO	DESTILERIA CAI MELANIO	171957
TRINIDAD	EMP AGROP BOMBEO PAPELARA	167211
TRINIDAD	HOTEL ANCON	151806
TRINIDAD	HOTEL TRINIDAD DEL MAR	150000
JATIBONICO	MINAZ- CAI URUGUAY	126383
TRINIDAD	KURHOTEL ESCAMBRAY	120513
LA SIERPE	MOLINO SATAKE LAS NUEVAS	119618
SANCTI SPIRITUS	ACUEDUCTO S.SPIRITUS	118673
TRINIDAD	HOTEL TRINIDAD DEL MAR	116188
SANCTI SPIRITUS	ESTACION BOMBEO	106900
TAGUASCO	MINAZ-BOMBEO MELANIO HDEZ	105985

---

---

**Anexo 3.** Caracterización de los residuales líquidos de la producción de bioetanol.

<b>Indicador</b>	<b>Caracterización de la vinaza</b>		
	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
Brix (%)	7.7	5.9	5.6
ph	4.4	4.6	4.4
Índice residuales m <sup>-3</sup> .hL de bioetanol.	1.6*	2.10	1.85*

\* Valor alcanzado hasta el mes de julio del 2009 sin haber concluido la campaña.

---

---

**Anexo 4.** Posibles áreas de localización de una instalación de biogás con fines energéticos.

Área 1



Fuente: Googlemap, 2010.

Área 2



Fuente: Googlemap, 2010

---

---

**Anexo 5.** Representación de la Matriz de Saaty.

**Matriz de Saaty**

	<b>Ua</b>	<b>Dt</b>	<b>Cmp</b>	<b>Cdf</b>	<b>lat</b>	
	1,2136	0,2267	0,7046	0,6044	0,6044	<b>Total</b>
<b>A1</b>	0,4045	0,2439	0,3020	0,3733	0,3531	1,6768
	0,3333	1,0758	0,4286	0,6177	0,5842	
<b>A2</b>	0,4045	0,1924	0,3020	0,1284	1,1485	2,1757
	0,3333	0,8485	0,4286	0,2124	1,9002	
<b>A3</b>	2,8316	0,2439	1,5098	1,3115	0,7962	6,6930
	2,3333	1,0758	2,1429	2,1699	1,3173	

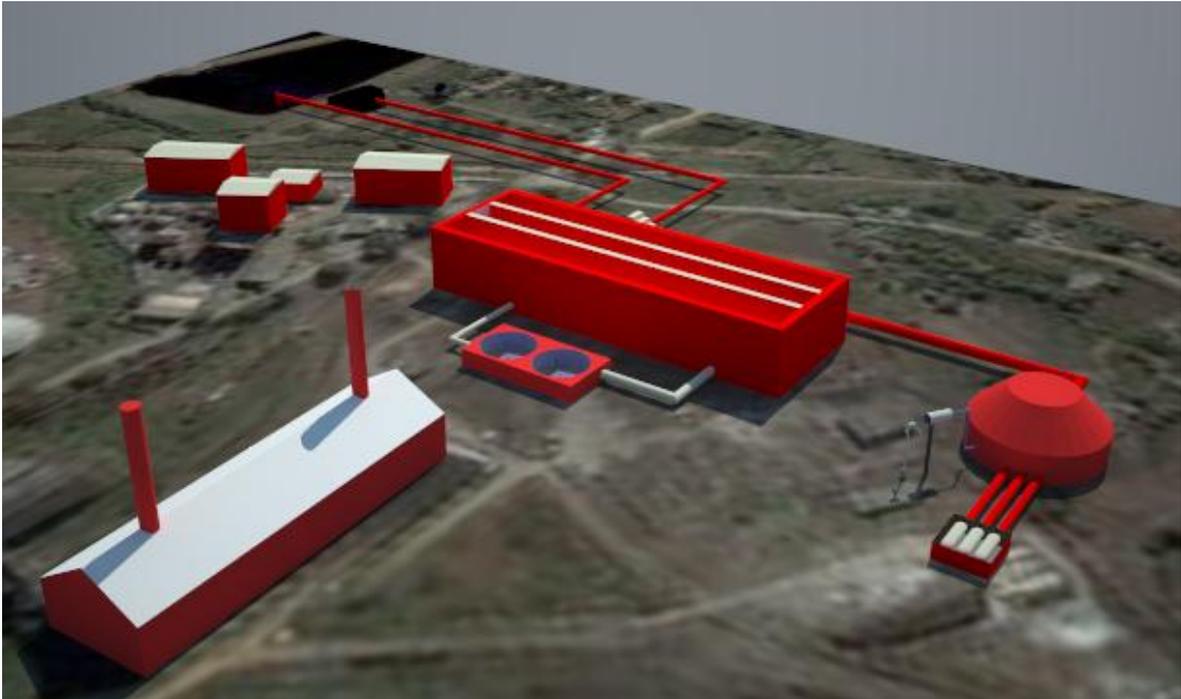
**Criterios**

Ua	Utilización actual del terreno (si se utiliza para sembrar)
Dt	Dueño del terreno (si pertenece a la fábrica)
Cmp	Cercanía a la materia prima
Cdf	Cercanía a la disposición final del efluente
lat	Insuficiencias por anomalías del terreno

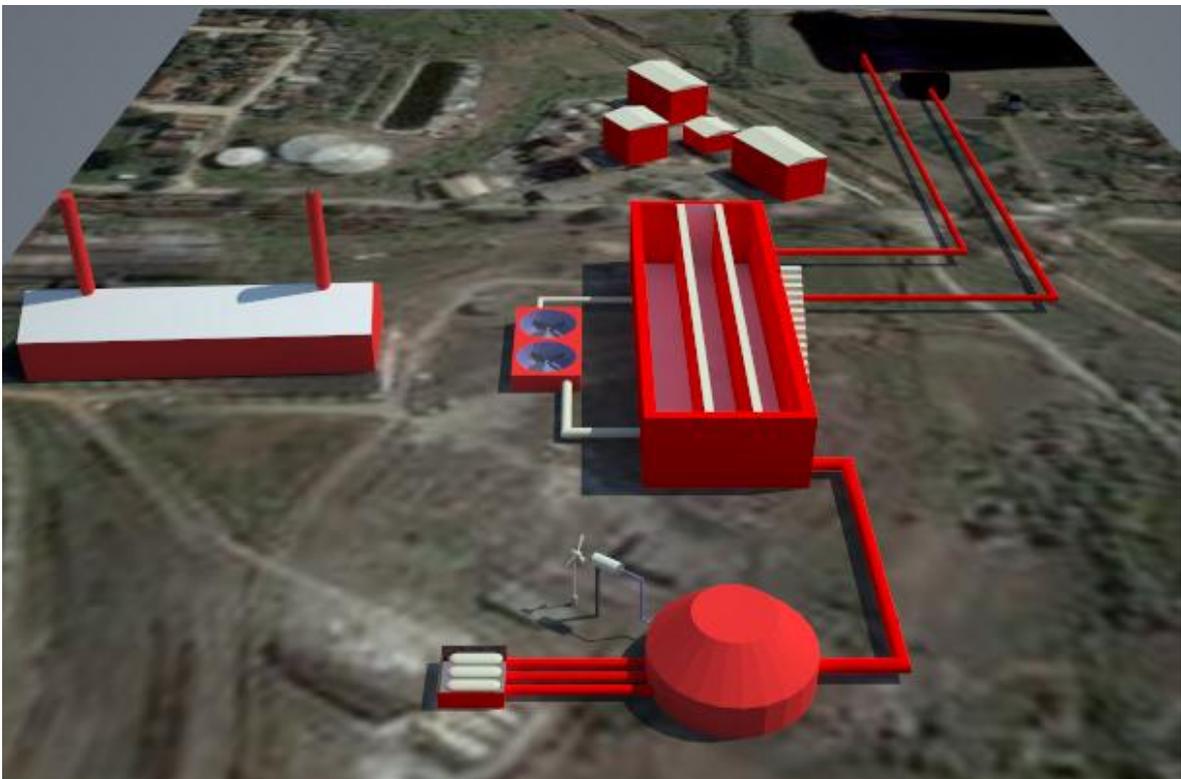
---

---

**Anexo 6.** Distribución en planta final de la instalación de biogás.



Fuente: Elaboración propia en Sketchup



Fuente: Elaboración propia en Sketchup

**Anexo 7.** Representación de los flujos de caja elaborados para el cálculo de los indicadores dinámicos de rentabilidad.

<b>Conceptos</b>	<b>Año1</b>	<b>Año2</b>	<b>Año3</b>	<b>Año 4 en adelante</b>
Desembolso inicial	1929003,77			
<b>Ingresos</b>		756978,26	1211165,22	1513956,52
<b>(-) Costos de producción</b>				
<i>Costos Directos</i>				
Materiales		81900,00	131040,00	163800,00
Servicios		155317,50	248508,00	310635,00
Mantenimiento		12860,03	12860,03	12860,03
Mano de Obra	25000,00	19140,00	19140,00	19140,00
<i>Costos Fijos</i>				
Depreciación		128600,25	128600,25	128600,25
Seguros		1286,00	1286,00	1286,00
Impuestos	7500,00	107362,34	200919,28	263290,57
<i>C. Total de producción</i>	<i>32500,00</i>	<i>506466,12</i>	<i>742353,56</i>	<i>899611,85</i>
<b>(=) Flujo de Caja</b>	<b>-32500,00</b>	<b>250512,14</b>	<b>468811,66</b>	<b>614344,67</b>