



# UNIVERSIDAD DE SANCTI SPÍRITUS

## José Martí Pérez

**Facultad de Ciencias Técnicas y Empresariales**  
**Carrera de Ingeniería Industrial**

### TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Identificación de escenarios relevantes para la implementación de las fuentes renovables de energía a partir de residuales porcinos en el municipio Sancti Spiritus.

Autor: Manuel Alejandro Santana Candelaria  
Tutor: Ing. Jaime Ríos García

Curso: 2018-2019

# Pensamiento

*Debe evitarse hablar a los jóvenes del éxito como si se tratase del principal objetivo en la vida; la razón más importante para trabajar en la escuela y en la vida es el placer de trabajar, el placer de su resultado y el conocimiento del valor del resultado para la comunidad.*

*Albert Einstein.*

# *Dedicatoria*

A mi niña hermosa por ser tan importante en mi vida todos mis logros son dedicados a ella.

A mi Madre que tanto aportó en mi formación.

A mi padre por su apoyo en los momentos decisivos de mi carrera.

# *Agradecimientos*

A mi familia y mis amistades que contribuyeron en mi formación.

A mi tutor Jaime Ríos por el apoyo dado en el transcurso del trabajo.

# RESUMEN



El agotamiento de las reservas de crudo y la contaminación ambiental han conllevado al mundo a la utilización de fuentes renovables de energía. En Cuba existe una estrategia para su implementación, que pretende alcanzar para 2030 un 24% de generación a partir de FRE. Las mayores ejecuciones corresponden a la energía solar fotovoltaica, pero existen otros potenciales que pudieran aportar a tal objetivo. Tal es el caso del biogás donde se pretende identificar los principales escenarios para su implementación, como apoyo al desarrollo local del municipio Sancti Spíritus. En tal sentido se utilizaron diferentes herramientas (revisión de la bibliografía, recopilación y análisis de la información, visitas de campo, diagrama de Pareto, pruebas de hipótesis y técnicas multicriteriales de selección entre otras), que permitieron cumplir el objetivo propuesto. Como resultado de la investigación se obtuvo una breve caracterización del municipio que incluyó como aspecto esencial los consumos energéticos del territorio. Además, se determinó que los mayores consumos se relacionan con las actividades industriales y el bombeo de agua, mientras que los mayores potenciales de Biogás lo conforman las UEB pertenecientes a la Empresa de Porcino. De esta forma y en función de un grupo de criterios, se identificó el escenario 1 como el más relevante para la implementación de biogás en el municipio.

# Abstract

The depletion of Fuel reserve and the contamination of environment leads the world to use renewable energy. In Cuba there is a strategy for its implementation, which aims to reach by 2030 a 24% generation from ERP. The major executions correspond to photovoltaic solar energy, but there are other potentials that could contribute to this objective. This work, aims to identify the relevant stages for the implementation of biogas, as support for the local development of Sancti Spiritus municipality. In this sense, different tools were used (bibliographical review, information collection and analysis, field visits, hypothesis tests and multicriterial selection techniques among others), which allowed to fulfill the proposed objective. As a result of the investigation, a brief characterization of the municipality was obtained, which included the energy consumption of the territory as an essential aspect. In addition, it was determined that the highest consumption is related to industrial activities and water pumping, while the greater potentials of biogas are the UEB of Porcino company. In this way and according to a group of criteria, scenarios 1 were identified as relevant for the implementation of Biogas in the municipality.

# Índice

## Tabla de Contenidos

Introducción .....	3
<b>Capítulo 1: Marco Teórico Referencial de la Investigación.....</b>	<b>7</b>
1.1.1 Fuentes renovables de energía. Definiciones.....	8
1.3 Situación energética en América Central, el Caribe y Latinoamérica.....	15
<b>1.3.1 Oportunidades del uso de las fuentes renovables de energía para la región .....</b>	<b>17</b>
1.4 Situación energética en Cuba.....	17
<b>1.4.2 Caracterización de las fuentes renovables de energía en Cuba.....</b>	<b>24</b>
<b>1.4.3 Impacto del uso de las fuentes renovables de energía en la población rural .....</b>	<b>27</b>
<b>Capítulo II. Metodología de diagnóstico energético para implementar las Fuentes Renovables de Energía (FRE) en apoyo al desarrollo local del Municipio de Sancti Spíritus.....</b>	<b>30</b>
2.3.1 Descripción de las Vías de Acción .....	33
2.3.2 Análisis y Evaluación de los escenarios relevantes: .....	33
<b>Capítulo III. Resultados y discusión .....</b>	<b>40</b>
3.1 Introducción .....	40
3.2.1 Caracterización del municipio: .....	40
3.2.2 Matriz Energética del municipio:.....	41
3.2.3 Fuentes de Generación de Energía Eléctrica aislados del Sistema Electroenergético Nacional: .....	47
3.3 Etapa II: Identificación de Experiencias Positivas.....	47
3.3.1 Los principales tipos de residuos que se encuentran en municipio objeto de estudio son los siguientes: .....	47
3.3.2 Diagrama de Ishikawa.....	49
3.4 Etapa III: Selección de Escenarios Relevantes: .....	51
3.4.1 Ponderación de los criterios de relevancia.....	51
3.4.2 Aplicación de métodos multicriteriales de selección.....	53
3.4.3 Evaluación de las potencialidades .....	59
Conclusiones Parciales Capitulo 3:.....	60
Conclusiones Generales .....	63
Recomendaciones: .....	65
Bibliografía .....	67

# *Introducción*

## Introducción

En los últimos años el desarrollo acelerado de las nuevas tecnologías gracias a la industrialización y la electrificación ha llevado a un desbalance descontrolado del consumo energético a nivel mundial con una dependencia mayoritaria de combustibles fósiles y otros no renovables como la energía nuclear.

La energía ha sido y es un instrumento de poder, causa de todas las guerras contemporáneas. La política energética mundial está esclavizando a los pueblos y exterminando la naturaleza y por lo tanto, al ser humano.

Cuba, no dispone de grandes reservas de petróleo, y la Termoeléctricas con que cuenta en su mayoría con tecnología obsoleta, por lo que tiene que importar gas natural e importar petróleo a través de convenios de cooperación con la República Bolivariana de Venezuela, unida a los efectos del bloqueo que impiden la importación de las piezas de repuesto de las centrales termoeléctricas existentes en el país.

En sus políticas de Estado partiendo de lo que establece la Constitución de la República en su artículo 27, dispone que el Estado protege al medio ambiente y los recursos del país, y reconoce la estrecha vinculación con el desarrollo económico y social sostenible, por lo que se requiere diversificar la estructura de los combustibles fósiles empleados e incrementar la eficiencia energética así como la contribución de las fuentes renovables de energía, con el propósito de elevar su participación en la matriz de generación eléctrica, hasta alcanzar una proporción no menor al 24% en el año 2030. A partir de ello dicto el Decreto Ley 345 Del desarrollo de las Fuentes renovables y el uso eficiente de la energía.

Actualmente en el sistema energético nacional existe un desbalance entre los consumos y las demandas, bajo esta situación se impone el reto de desarrollar tecnologías limpias, con el uso de las energías renovables o fuentes renovables de energía (FRE), como se conoce mundialmente, a lo largo de todo el país se han desarrollado diversos estudios y se han implementado el uso de las fuentes renovables de energía como fuente alternativa de generación eléctrica.

En el municipio de Sancti Spíritus se han realizado varios proyectos para el uso de las fuentes renovables de energía, teniendo en cuenta el gran número de habitantes el consumo actual se encuentra por encima de la demanda energética, por lo que se hace necesario realizar un análisis con vistas a el uso de fuentes renovables de energía como apoyo al desarrollo local, el cual constituye la situación **problemática** de la presente investigación.

- El municipio Sancti Spíritus, carece de un estudio detallado que le permita el aprovechamiento de sus potenciales de biogás.
- Los procesos industriales del territorio, tienen gran incidencia en el consumo y la demanda energética del municipio, pero no se conocen cuáles de los potenciales podrían cubrir estas demandas.
- Existe gran cantidad de residuos porcino en diferentes escenarios que constituyen potencial para producción de energía que no están identificados, lo que genera un impacto negativo en el medio ambiente.

En tal sentido la investigación presenta como **problema científico**: No se encuentran identificados los principales escenarios para la implementación de biogás a partir de residuales porcinos en el municipio de Sancti Spíritus.

**Objetivo general:**

Identificar los principales escenarios para la implementación de biogás a partir de residuales porcinos en el municipio de Sancti Spíritus

**Objetivos específicos:**

1. Caracterizar energéticamente el municipio Sancti Spíritus, teniendo en cuenta los principales consumos energéticos, las necesidades energéticas existentes.
2. Identificar los principales escenarios.
3. Aplicar herramientas para seleccionar los principales escenarios para la implementación de biodigestores para el apoyo al desarrollo local.

**Campo de acción:** El biogás a partir de residuales porcino

- **Objeto de la investigación:** Potencialidades del biogás en el municipio Sancti Spíritus.
- **Valor práctico de los resultados:** Los resultados obtenidos servirán de base para la futura implementación de proyectos de energía renovable como apoyo al desarrollo local en el Municipio.



- **Valor teórico:** La estimación de las demandas y las potencialidades de cada fuente renovable de energía será una información útil para los decisores sobre los proyectos a implementar.

### **Novedad Científica**

Se obtiene el diagnóstico energético del municipio Sancti Spiritus.

#### **Métodos teóricos de la investigación.**

Métodos Teóricos: Van de la inducción a la deducción y de lo general a lo particular, obteniendo los argumentos teóricos ambientales y energéticos que permitan un acercamiento prospectivo sobre las tendencias que han predominado en el desarrollo del Hábitat en cada municipio.

Histórico – lógicos: este método parte de la relación de espacio/ tiempo, apoyándose en la revisión de los antecedentes históricos y en la búsqueda de datos, contribuyendo al desarrollo la investigación.

Analítico – sintéticos: se basa en la recopilación, análisis y síntesis de información bibliográfica, documental y digital sobre el objeto en estudio, además de que lo conceptualiza y lo define.

Inductivo-deductivo: es un método matemático estadístico para procesar la información dando lugar a la formulación de la hipótesis y posteriormente las conclusiones parciales.

#### **Métodos Empíricos:**

La Entrevista o Encuesta a especialistas o directivos para extraer información relevante de su propia experiencia práctica.

La observación de la realidad estudiada durante la investigación para constatar la relevancia de determinados Indicadores, sobre todo en el caso cubano y para la posterior elaboración de soluciones. La realización de Talleres de intercambio, análisis y reflexión con especialistas en la temática de investigación abordada o la participación en ellos y la valoración de la relatoría de los mismos.

#### **Métodos Estadístico - matemáticos:**

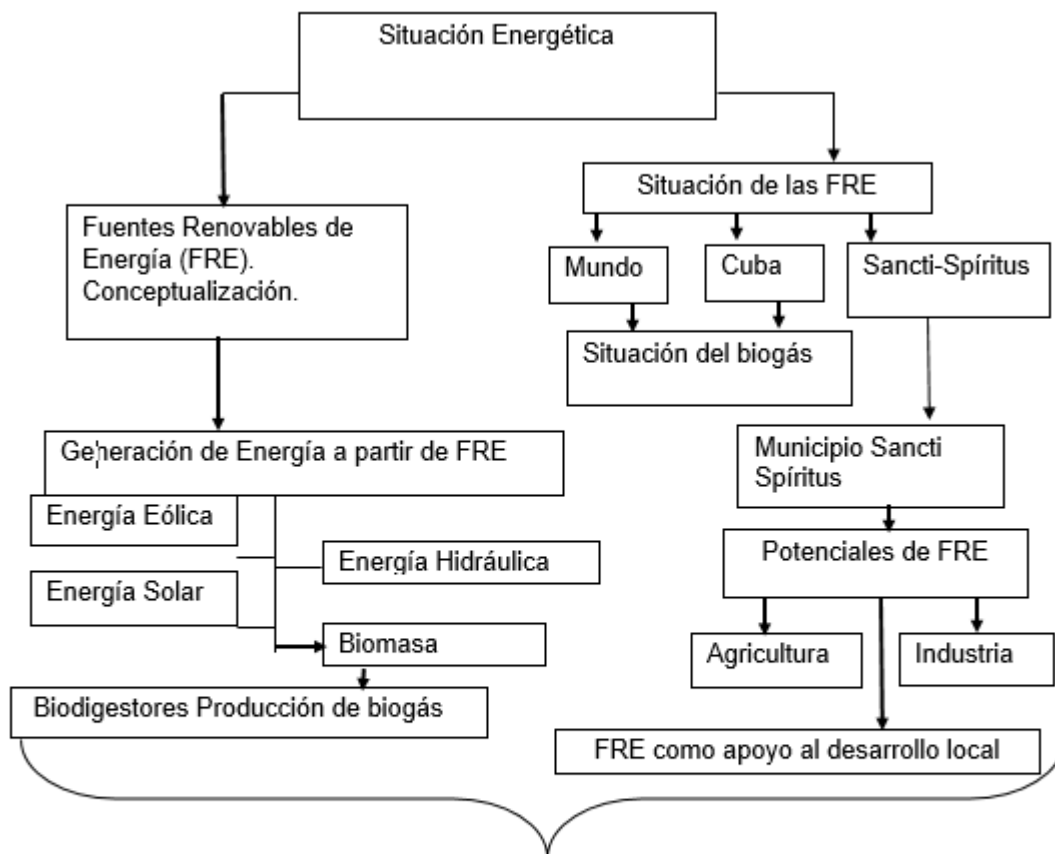
Se obtienen conclusiones más confiables a partir de un análisis de tendencias de series históricas que puedan obtenerse de los aspectos a evaluar en el diagnóstico local y que por esta vía puedan fundamentarse mejor.

# Capítulo 1

## Capítulo 1: Marco Teórico Referencial de la Investigación.

En el presente capítulo se provee la investigación de un marco teórico referencial, presentando un grupo de aspectos que van a facilitar la comprensión del contenido de la presente investigación y que están basados en la revisión de material actualizado en el tema objeto de estudio los cuales sirven de soporte teórico para la caracterización del municipio de Sancti Spíritus desde la implementación de las fuentes renovables de energía en apoyo al desarrollo local del territorio.

El hilo conductor de la revisión teórica -



Identificación de escenarios relevantes para la implementación de las fuentes renovables de energía a partir de residuales porcinos en el municipio Sancti Spíritus.

Figura 1.1 Diagrama del hilo conductor para la construcción del marco teórico referencial de la investigación. (Fuente: Elaboración Propia)

### 1.1.1 Fuentes renovables de energía. Definiciones.

Existen conceptos y definiciones de fuentes renovables de energía expuesta por autores y Organizaciones Gubernamentales, los cuales relacionamos a continuación:

**Decreto Ley 345/2017. Consejo de Estado República de Cuba.** Define como fuentes renovables de energía aquellas que se obtienen de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. ([Decreto-ley-345, 2017](#))

Define como fuentes renovables de energía aquellos tipos de energía que se originan de forma natural y son virtualmente inagotables. Dentro de ellas está en primer lugar la energía solar, a partir de la cual se originan otras formas como la eólica, la hidráulica, la biomasa, entre otras. ([Merino, 2006](#))

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales. ([E. M. Luis Berriz, 2000](#))

Para finalizar este tema el autor plantea que son todos aquellos tipos de energía que se originan de forma natural y permiten remplazar a los combustibles fósiles e introducir la aplicación tecnologías limpias que tienen bajo impacto ambiental en función de alcanzar niveles satisfactorios relacionados con el desarrollo y asimilación de opciones energéticas más limpias y eficientes, así como la solución de problemas industriales, las cuales concuerdan plenamente con las definiciones dadas.

### 1.1.2 Evolución histórica de las energías renovables.

Las energías renovables han constituido una parte importante de la energía utilizada por los humanos desde tiempos remotos, especialmente la solar, la eólica y la hidráulica. La navegación a vela, los molinos de viento o de agua y las disposiciones constructivas de los edificios para aprovechar la del sol, son buenos ejemplos de ello. Con el invento de la máquina de vapor por James Watt, se van abandonando estas formas de aprovechamiento, por considerarse inestables en el tiempo y se utilizan cada vez más los motores térmicos y eléctricos, en una época en que el todavía relativamente escaso consumo, no hacía prever un agotamiento de las fuentes, ni otros problemas ambientales que más tarde se presentaron. Hacia la década del 1970 las energías renovables se consideraron una alternativa a las energías tradicionales, tanto por su disponibilidad presente y futura garantizada (a diferencia de los combustibles fósiles que precisan miles de años para su

formación) como por su menor impacto ambiental en el caso de las energías limpias, y por esta razón fueron llamadas energías alternativas. Actualmente muchas de estas energías son una realidad, no una alternativa, por lo que el nombre de alternativas ya no debería emplearse. Ellas se caracterizan por:

- Son limpias no generan residuos de difícil eliminación.
- Su impacto ambiental es reducido. No producen emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases contaminantes a la atmósfera.
- Se producen de forma continua por lo que son ilimitadas.
- Evitan la dependencia exterior, son autóctonas.
- Son complementarias.
- Equilibran desajustes interterritoriales.
- Impulsan las economías locales con la creación de cinco veces más puestos de trabajo que las convencionales.
- Son alternativa viable a las energías convencionales. ([Ecured, 2018](#))

### 1.1.3 Clasificación de las energías renovables

El origen de todas las energías renovables son fuentes naturales como el sol, el agua, el viento y los residuos orgánicos, aunque es sin duda el sol el motor generador de todos los ciclos que dan origen a las demás fuentes.

Las energías renovables se clasifican entonces según la fuente natural de la que proceden. Las fuentes de energía se pueden dividir en dos grandes subgrupos: permanentes (renovables) y temporales (no renovables). En principio, las fuentes permanentes son las que tienen origen solar, de hecho, se sabe que el Sol permanecerá por más tiempo que la Tierra. Aun así, el concepto de renovabilidad depende de la escala de tiempo que se utilice y del ritmo de uso de los recursos. Así, los combustibles fósiles se consideran fuentes no renovables ya que la tasa de utilización es muy superior al ritmo de formación del propio recurso.

Las fuentes de energía renovable son:

**Energía eólica:** Es la que se obtiene de la fuerza del viento que se genera por diferencias de temperatura y presión en la atmósfera ocasionadas por los rayos del Sol la misma es aprovechada por aerogeneradores o molinos de viento convencionales para la extracción de agua en el caso de los aerogeneradores son utilizados para la generación de electricidad la misma es la más desarrollada y estable en la actualidad. ([Turrini, 2006](#))

**Energía Solar fotovoltaica:** Se denomina energía solar fotovoltaica a la energía radiante del sol que se transforma en energía eléctrica mediante el empleo de

celdas fotovoltaicas; este método clasifica como una forma de aprovechamiento directo de la energía solar. El efecto fotovoltaico genera una fuerza electro motriz, en un dispositivo semiconductor, debida a la absorción de la radiación electromagnética al conectarse a un circuito eléctrico. ([Bravo Hidalgo, 2015](#))

**Energía solar térmica:**

Se llama energía solar térmica a la energía solar que se transforma en otras formas de energía mediante el calentamiento, este método clasifica como una forma de

aprovechamiento directo de la en energía solar. ([Bravo Hidalgo, 2015](#))

**Energía mareomotriz:** La energía mareomotriz se debe a las fuerzas gravitatorias entre la Luna, la Tierra y el Sol, que originan las mareas el nivel de agua sube y es almacenada en una cuenca protegida por una barrera y en la fase de marea baja el agua fluye a través de una turbina por tanto se ha de aclarar que la producción de energía es discontinua y cambia según la posición de la luna. ([Turrini, 2006](#))

**Energía geotérmica:**

Los recursos geotérmicos no son más que la energía termal proveniente del interior de la tierra ya sea a través de aguas subterráneas o vapor atrapado en roca a temperaturas altas. La misma solo se producen en zonas especiales del planeta donde la temperatura interior de la tierra logra subir hasta las aguas subterráneas ocasionando un estado de ebullición en las mismas por lo cual se pueden utilizar con turbinas eléctricas , o en el caso de la mayoría de los países europeos son utilizadas para calentamiento ya sea en la agricultura en viveros o para uso doméstico como calefacción. ([Ottmar Edenhofer, 2012](#))

**Energía hidráulica:** Es la energía que utiliza la fuerza del agua en este caso de los ríos transformados la mayoría en presas para su mayor aprovechamiento de generación de electricidad donde el agua pasa por turbinas que a su vez generan electricidad hacia las líneas eléctricas su ventaja y aprovechamiento es que es una fuente natural perpetua ,muy económica y puede ser utilizada principalmente para la agricultura o consumo doméstico ,debido a la cercanía de las mismas con las zonas rurales representa una ventajas para las mismas .([Ecured, 2018](#))

**Bioenergía:** La bioenergía es la fuente de energía que se obtiene de la biomasa, que puede ser leña, carbón vegetal, residuos agrícolas, pecuarios y municipales (susceptibles de quemarse directamente o gasificarse para producir calor y electricidad; o en su defecto, estos residuos pueden transformarse vía procesos aeróbicos o anaeróbicos para la obtención de biogás). También

en este apartado entran las plantaciones para la producción de biocombustibles, los cultivos energéticos terrestres y, últimamente, cultivos energéticos acuáticos (por ejemplo, algas). La producción sostenible de biomasa brinda numerosos servicios ambientales, incluyendo el control de la erosión del suelo, la regulación

del ciclo hidrológico y la protección del hábitat de fauna silvestre. Si las plantaciones energéticas se establecen en tierras degradadas, es posible rehabilitarlas mejorando la calidad y fertilidad del suelo. ([Claudio A. Estrada Gasca, 2016](#))

### **Biogás:**

El biogás constituye una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono, el metano producido por bacterias es la última etapa en la cadena de degradación de material orgánico ([Venegas Venegas, Medina Cuéllar, Guevara Hernández, & Castellanos Suárez, 2017](#)). El biogás es producido por una fermentación anaeróbica con diferentes formas orgánicas y el mismo está compuesto por metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) un ejemplo de ellos son los desechos porcinos, ganado o avícola. ([Asosiation, 2015](#))

#### **1.1.3 Biodigestores Producción de biogás.**

**Producción anaeróbica:** La misma tiene por objeto descomponer el material orgánico en un digestor hermético, sin oxígeno molecular, prosiguiendo el proceso hasta que se produzca metano, dióxido de carbono y otros gases. El proceso es una suma de reacciones bioquímicas provocadas por el cultivo de una mezcla de bacterias. ([Barrera-Cardoso, Carabeo-Pérez, Odales-Bernal, Contreras-Velázquez, & López-González, 2018](#))

**Tipo laguna Tapada:** Se utiliza para grandes cantidades de excretas señados en forma de lagunas tapadas, que emplean estructuras y cúpulas de geo membranas donde ocurren la oxidación de la materia orgánica y la retención de los gases. ([Blanco et al., 2015](#))

**Tipo Cúpula fija (modelo chino):** La forma del biodigestor de cúpula fija, de origen chino, se asemeja a una esfera y el gas se almacena dentro de la campana fija a presión variable, la cual se obtiene al desplazar el líquido en digestión hacia una cámara llamada de hidropresión; los materiales de construcción son bloques y/o ladrillos, cemento y acero. ([Justo & Montoya, 2017](#))

#### **Tubular plástico o de manga**

**de polietileno con flujo continuo (tipo Taiwán):** Consiste en una manga de polietileno de 1.2 m de diámetro por 6m de largo. Se puede emplear en sitios planos o de superficie complicada tanto en sectores urbanos o rurales. ([Justo & Montoya, 2017](#))

#### **La laguna anaeróbica cubierta con una**

#### **geo membrana de polietileno de alta densidad (PAD), de Vietnam:**

Biodigestor tubular plástico consiste en una especie de bolsa elongada de polietileno, con una relación longitud-ancho de aproximadamente 5:1, aunque por razones de construcción eficiente las dimensiones pueden diferir; dicha bolsa se coloca en un foso. Este biodigestor tiene un costo mucho menor que el anterior, pero posee una vida útil inferior (menos de un 25% de la vida del biodigestor de cúpula fija). ([Cepero et al., 2012](#))

Las energías renovables, por tanto, se presentan como una alternativa clara frente a las energías convencionales en todo el proceso constructivo.

## 1.2 Situación Energética Mundial.

Una de las características del sistema energético contemporáneo son los continuos vaivenes de los precios, tanto de los combustibles como de la demanda de energía, a causa de guerras y crisis económicas. La crisis energética de 1973 provocó una estabilización e, incluso, una ligera disminución de las demandas ante los constantes aumentos del precio del crudo. El encarecimiento de la producción de energía obligó a un replanteamiento de los distintos países sobre la estrategia económica global, basado en el fomento del ahorro energético y de actividades con menor dependencia de los combustibles fósiles. Según datos compilados por el World watch Institute, en 1980 ocurrió un pico en la demanda mundial de energía, la cual disminuyó y estabilizó en los primeros años de esa década. Con posterioridad, el consumo de energía ha estado aumentando, a pesar de los altos y oscilantes precios del petróleo en el mercado mundial.

Las fuentes primarias de energía es un proceso de extracción, captación o producción (siempre que no conlleve transformaciones energéticas) de portadores energéticos naturales (o primarios), independientemente de sus características.

Los portadores energéticos naturales son aquellos “provistos por la naturaleza”, ya sea en forma directa, como la energía hidráulica, eólica y solar, o después de atravesar un proceso minero, como el petróleo, el gas natural, el carbón mineral, los minerales fusionables y la geotermia, o a través de la fotosíntesis, como es el caso de la leña y los otros combustibles vegetales y de origen animal ([ONE, 2017](#)), no son aprovechables directamente tal y como las encontramos en la naturaleza, deben ser transformadas en fuentes intermedias. Esta es una característica esencial del sistema energético contemporáneo, en lo concerniente a la capacidad de transformación de las fuentes primarias en intermedias que se realiza en las centrales eléctricas y refinerías de petróleo.

La capacidad mundial de refinación está repartida desigualmente y no se corresponde con la distribución de la producción, la cual sí guarda una relación más cercana con la localización de las reservas mundiales estimadas. Mientras que la producción se concentra de manera fundamental en países, básicamente del Medio Oriente, las refinerías se encuentran en los países más desarrollados en esta esfera económica como son Estados Unidos, China, Rusia, y la India los principales refinadores del mundo ([worldenergytrade, 2019](#)), sobre la base del



criterio de la proximidad al consumidor final de los recursos energéticos, tan esenciales y estratégicos en el mundo actual.

El desarrollo acelerado de las nuevas tecnologías gracias a la industrialización y la electrificación ha llevado a un desbalance descontrolado del consumo energético a nivel mundial con una dependencia mayoritaria de combustibles fósiles y otros no renovables como la energía nuclear.

Entre los años 1971 y 2001, el consumo de energía a escala mundial aumentó de unos 5 500 millones de toneladas equivalentes de petróleo a más de 10 000, lo que supuso un aumento de alrededor del 80% en treinta años. Por otro lado, el conocimiento del posible agotamiento de los combustibles fósiles, sobre todo del petróleo, en algunas partes del mundo originó a escala mundial la crisis de los combustibles, con incrementos importantes de los precios de estos y conflictos políticos y bélicos entre algunos países [Turrini \(2006\)](#).

El consumo de petróleo en el mundo en el 2015 era de 95 millones de barriles por día y se espera que aumente a 113 millones para el año 2040. En enero de 2007, las reservas de petróleo en el mundo ascendían a 1.317,6 billones de barriles, las mayores se encuentran en Oriente Medio, América del Norte y en mucho menor porcentaje África. Las reservas de petróleo en Europa están principalmente representadas por los países del Este y sobre todo por los países que pertenecieron a la extinta URSS([Linda E. Doman & Laura E. Singer, 2017](#)).

Se ha comprobado la falsedad del mito de que la energía nuclear y fósil son necesarias para proporcionar el abasto de una carga base cuando el sol o el viento no son suficientemente intensos. En 2016, Dinamarca y Alemania lograron manejar con éxito picos de 140% y 86,3%, respectivamente, de generación de electricidad a partir de fuentes renovables, mientras que en varios países (Portugal, Irlanda, Chipre, por ejemplo) se está haciendo posible alcanzar tasas anuales de entre 20–30% de electricidad renovable variable sin almacenamiento adicional. La lección clave para integrar grandes porcentajes de generación de energía renovable variable es asegurar la mayor flexibilidad posible. ([Janet L. Sawin & Sverrisson, 2017](#))

De acuerdo con “Internacional Energy Outlook” ([Linda E. Doman & Laura E. Singer, 2017](#)), el consumo de energía en el mundo se incrementará en un 50% entre 2015 y 2040, a pesar de que se espera que el aumento de precios tanto del petróleo como del gas natural siga en aumento. Según la misma fuente, se prevé que el consumo de energía en el mercado experimente un incremento medio de un 1.9% por año hasta 2040 en los países ajenos a la OCDE, mientras que en los países miembros será tan solo del 1.0%; así, durante este periodo, los países OCDE incrementarán su demanda energética en un 9%, mientras que el resto de países lo harán al 41%([Linda E. Doman & Laura E. Singer, 2017](#)).

2017 fue el tercer año consecutivo en el que las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> provenientes de combustibles fósiles y de las industrias se mantuvieron estables a pesar del crecimiento del 3% de la economía mundial y de una demanda

energética mayor, entre el 2015 y el 2040 para las emisiones de CO2 se prevé una proyección a descender a un 1.3%/año. Esto se puede atribuir, principalmente, al declive del carbón; pero también al crecimiento de la capacidad de la energía renovable y a una eficiencia energética mejorada. La escisión entre el crecimiento económico y las emisiones de CO2 es un primer paso importante para alcanzar el declive significativo de dichas emisiones, mismo que es necesario para mantener el aumento de la temperatura mundial por debajo de los 2 grados Celsius (°C).([Sawin, Kristin Seyboth, & Sverrisson, 2017](#))

La energía ha sido y es un instrumento de poder, causa de todas las guerras contemporáneas. La política energética mundial está esclavizando a los pueblos y exterminando la naturaleza y por lo tanto, al ser humano.

Bajo esta situación se impone el reto de desarrollar tecnologías limpias, con el uso de las energías renovables o fuentes renovables de energía, como se conoce mundialmente. De hecho, son muchos los gobiernos que están llevando a cabo políticas para el desarrollo de las energías renovables, incluso en situaciones en las que no podrían competir con los combustibles fósiles debido a su rentabilidad. ([Sawin; et al.](#))

### 1.3.2 Desarrollo del Biogás a Nivel Mundial

El desarrollo del biogás se ha comportado de manera ascendente donde se presenta mayor desarrollo en la zona europea donde se trazan nuevas políticas hacia el uso del biogás y los biodiesel en un aumento del 3.5% según la Asociación Europea del Biogás. ([Sainz Arnau, 2018](#))

La Asociación Europea del Biogás a presentado un paquete con extensión hasta el 2050 donde se pretende eliminar el CO2 en la producción de gas natural y el aumento del uso del biogás para ese año se espera que la producción de biogás sea de 1,072 TWh (98 bcm) que representa el 22% del consumo en Europa donde allí en el año 2017 contaban con 17783 plantas de biogás y 540 plantas de biomethano en operación ,por lo cual trajo un aumento de capacidad eléctrica instalada en un 5% para un total de 10532 MW donde de la producción de biogás generó 65179 GWh ,mientras que de las plantas de biometano se generó 19352 GWh .([WBA & association, 2015](#))

En cuanto a países de Asia como la india y china son líderes en la producción de biogás contando ambos países entre 4.7 y 45 millones respectivamente de pequeños biodigestores los cuales se estima tengan una producción de 15 billones de m<sup>3</sup> de biogás. ([WBA & association, 2015](#))

En el caso de Estados Unidos de América solo tiene 2200 unidades de los cuales 191 pertenecen a la agricultura ,1500 a plantas de tratamiento de aguas negras de estas solo 250 usan el biogás que producen y se encuentran 576 biodigestores en proyecto ([WBA & association, 2015](#))

En total a nivel mundial en el año 2015 en todo el mundo se invirtió aproximadamente 6 Mil millones de dólares solo en biomasa y biogás a partir de residuales, en biocombustibles se invirtió 3.1, miles de millones de dólares donde se representa el interés en todo el mundo de invertir en alternativas ecológicas de energía .([Sawin; et al., 2017](#))

### 1.3 Situación energética en América Central, el Caribe y Latinoamérica

.En esta región se ha sufrido las crisis energéticas desde su propia colonización, a partir de políticas integracionistas de la Región a iniciativa del Presidente de la República Bolivariana de Venezuela Hugo Rafael Chávez Frías, nace el ALBA y como política fundamentada en el uso racional de los recursos energéticos, no renovables y agotables, para impulsar la integración y el desarrollo sostenido de los pueblos de la región, sobre la base de la complementariedad, la solidaridad y la corresponsabilidad social se crea PETROCARIBE como mecanismo de cooperación energética solidaria. ([Riveri, 2006](#))

Unido a ello los gobiernos llevan políticas dirigidas al uso de fuentes renovables de energías, actualmente una de las fuentes de uso significativo se considera la tecnología fotovoltaica debido a diversos factores:

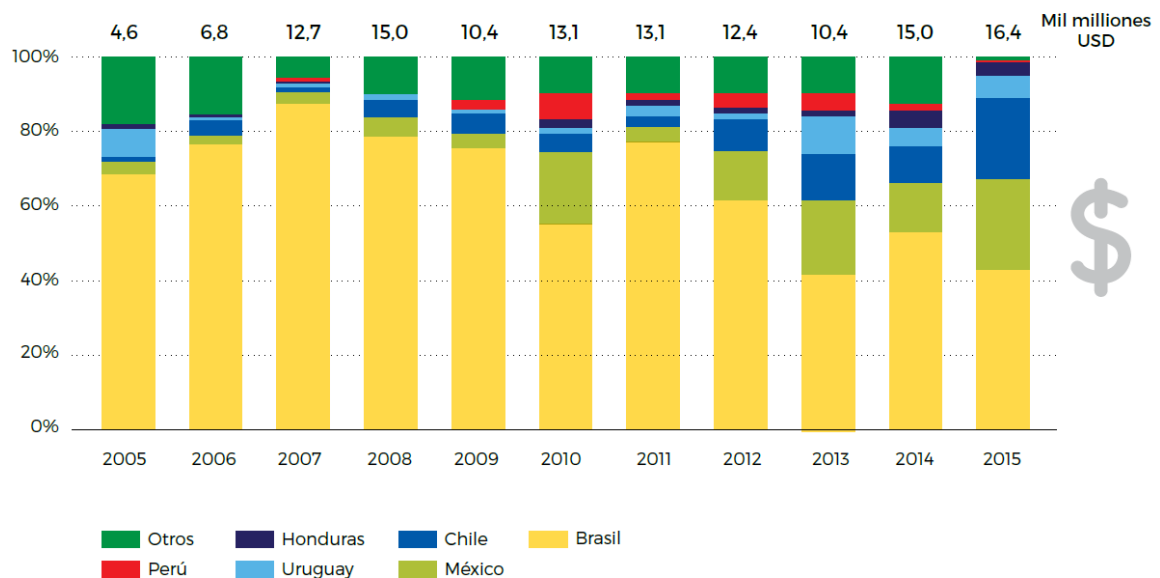
1. Existen organismos internacionales y regionales que promueven el uso sostenible de las energías renovables.
2. Es posible adquirir equipos fotovoltaicos en todos los países de América Central, ya que los precios de los equipos fotovoltaicos se han reducido considerablemente en años recientes

En materia de eficiencia energética los países de América Latina y el Caribe (ALC) presentan situaciones muy dispares. Mientras países como México y Brasil han consolidado sus marcos institucionales y regulatorios de apoyo a las actividades de eficiencia energética desde tiempo atrás, y están implementado exitosos programas en esta área, la gran mayoría de los países avanzan más lentamente. Desde hace ya algunos años en casi toda ALC se observan importantes progresos, ya sea en el fortalecimiento del marco legal (y en particular con la promulgación de leyes), en la creación de agencias o unidades específicas encargadas de la temática, o en la incorporación de planes de eficiencia energética al proceso de planificación general del sector. A nivel de la elaboración de políticas en materia de eficiencia energética es quizás donde se constatan los mayores avances que experimentan los países de la región. Gradualmente se ha ido pasando de la invocación al ahorro y la eficiencia energética como paliativo frente a situaciones de crisis, a la incorporación del

tema como un componente permanente de las políticas energéticas y parte sustancial de la planificación del sector energético de los países. ([Fabio García, 2017](#))

Los países de latinoamericanos y del caribe presentan un alto porcentaje de generación de electricidad a partir de las fuentes renovables de energía. La capacidad total asciende a un 48.6% desde 2006-2016 en la región se encuentra Brasil que es el tercer país en cuanto a capacidad total de energía renovable detrás de China y Estados Unidos, mientras Costa Rica y Uruguay generaron el 99% y el 92.8% de su electricidad a partir de fuentes renovables de energía. ([Hugo Lucas, 2017](#))

La región ha realizado importantes inversiones en el sector de las energías renovables durante el quinquenio de 2010-2015 se invirtió más de 80.000 millones de USD en el sector de energías renovables. ([Hugo Lucas, 2017](#))



Fuente:Ren21

A pesar de lo citado anteriormente según la organización latinoamericana de energía aun 21.8 millones de latinoamericanos y caribeños no poseen acceso a la energía eléctrica de ellos 7.6 millones de esta población son Haitianos aunque el avance ha sido gigantesco puesto que en cifras comparativas del año 2007 las cifras eran de 44 millones de personas sin acceso a la electricidad por tanto los datos nos indican los esfuerzos realizados en America Latina y El Caribe por llevar la energía a todos los sectores de la población. ([Bravo Hidalgo, 2015](#))

En el Salvador, existe una comunidad que dispone de dos sistemas centralizados para el suministro de energía eléctrica. La capacidad total instalada es de 1.680 Wp. El sistema satisface las necesidades de iluminación (2 lámparas fluorescentes de alta eficiencia de 11 W a 120 V) y esparcimiento (1 TV B/N de 18 W a 120 V y 1 radio de 12 W) de 35 familias. No existen medidores de energía, cada familia aporta un pago de US\$ 1,20 mensualmente si hace uso de lámparas, un radio y un televisor; US\$ 0,60 si no hace uso de un televisor. Desde 1995, la comunidad de El Capurí, en Panamá tiene un sistema fotovoltaico centralizado, financiado por la Universidad de Panamá y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (**Revista Energía y Tú. No.22. 2003**)

### **1.3.1 Oportunidades del uso de las fuentes renovables de energía para la región**

A pesar de las barreras, el futuro de las energías renovables en América Central, el Caribe y Latinoamérica tiene interesantes posibilidades de desarrollo. Se mencionan las oportunidades más relevantes:

- Existe mayor conciencia en la búsqueda de soluciones apropiadas a los problemas energéticos de la región.
- Se prevé una tendencia a mejorar el trabajo de coordinación, promoción y desarrollo de las energías renovables por parte de organismos locales y regionales.
- Existen ONG's interesadas en la formación técnica para instaladores fotovoltaicos y en capacitaciones relacionadas con aspectos socio-económicos de las energías renovables.
- Existen en todos los países empresas privadas dedicadas a la venta e instalación de equipos fotovoltaicos básicos.
- Las principales universidades centroamericanas disponen de investigadores dedicados al desarrollo de proyectos de electrificación utilizando esta tecnología. ([J. G. Tatiana Castillo, Luis Mosquera, 2017](#))

### 1.4 Situación energética en Cuba.

En el contexto del desarrollo energético en Cuba antes del triunfo de la Revolución, el esquema energético nacional era típico de un país capitalista subdesarrollado. La electricidad llegaba apenas al 56% de la población. La gran mayoría de los campos de Cuba, y más aún las montañas, desconocían la electricidad. ([E. M. Luis Berriz, 2000](#))

Desde su triunfo, la Revolución se planteó el desarrollo científico y tecnológico del país. En enero de 1959 se abrió un nuevo capítulo en la historia del país, con el establecimiento de un gobierno revolucionario cuyo propósito declarado era efectuar profundas transformaciones sociales en pro de los sectores menos favorecidos de la población.

Después del derrumbe del socialismo en el este de Europa que dio inicio a la crisis de los años 90' y afectó severamente la economía cubana, esta situación se ha agudizado con el fortalecimiento del bloqueo que, por 50 años, EE.UU. ha mantenido. Uno de los principales impactos fue el recorte de más de 80% de la disponibilidad de energía primaria y los recursos materiales, lo que incidió negativamente en la agricultura (basada en el consumo intensivo de energía y la mecanización) y generó una notable reducción de la producción de alimentos

y el abandono de gran parte de las tierras, que en muchos casos fueron invadidas por malezas leñosas agresivas; otras sufrieron pérdidas de su potencial por salinización, anegación o sobreexplotación del suelo (Montes de Oca *et al.*, 2007). En este sentido, es necesaria la implementación de alternativas de suministro de energía en el medio rural que sean compatibles con la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental..([Suárez et al., 2011](#))

Como vía para enfrentar la situación con el abasto seguro y eficiente de electricidad en el país, aparece la Revolución Energética. La eficiencia energética y el ahorro de energía constituyen el eje central de esta primera etapa del nuevo paradigma energético cubano.

Guerra al despilfarro de energía eléctrica, en particular al que se produce por el empleo de equipos electrodomésticos.

Rol más importante de las fuentes renovables de energía en el balance energético nacional.

Educación al ahorro y a las energías renovables.

Bajar el consumo global de energía fósil para producir menos contaminantes (gases de efecto invernadero).

Desarrollar las energías según las condiciones que tiene cada país. ([Vallée Véronique & Marc, 2008](#))

La electrificación de la totalidad de las escuelas de Cuba, de ellas, más de 2300 por paneles fotovoltaicos en las montañas y lugares de difícil acceso, inclusive más de veinte que tenían un solo niño estudiante, y el equipamiento de las mismas con televisores, equipos de vídeo y computadoras, fue un paso fundamental en la generalización de una enseñanza de alta calidad basada en los métodos pedagógicos más modernos.

La construcción de cerca de 2000 salas de televisión y video, también electrificados con sistemas solares fotovoltaicos, acabó de llevar la televisión y por lo tanto la posibilidad de adquirir una cultura general integral, hasta el último rincón de Cuba.

Existe un programa para que la totalidad de la población cubana, independientemente de donde viva y por muy alejada e intrincada que esté, disfrute en sus hogares de la electrificación como una necesidad intrínseca del desarrollo social. ([Luiz Berriz, 2016](#))

Con el objeto de incrementar el uso de la energía renovable en el sector agropecuario, se construyeron más de 3,000 biodigestores para su empleo en la esfera porcina y la ganadería vacuna. Asimismo, en cumplimiento de las acciones previstas para la cobertura de lugares donde no resulta posible llegar con la red del Sistema Electroenergético Nacional, se electrificaron con paneles solares fotovoltaicos, 560 viviendas aisladas de la provincia de Ciego de Ávila. Además, se inauguró, en el municipio de La Sierpe de la provincia de Sancti Spíritus, un parque fotovoltaico conformado por 520 mesas con 10 paneles fotovoltaicos cada una instaladas en 2,5 hectáreas, generando diariamente un promedio 5.5 MWh, lo que aportaría al año alrededor de 2,000 MWh, cifra equivalente a la energía consumida mensualmente por unas 836 viviendas. Con tecnología de punta y sincronizado al Sistema Electroenergético Nacional (SEN), el emplazamiento asegura una considerable reducción de pérdidas por concepto de distribución y transformación de energía y, su entrada en funcionamiento representa un ahorro en plantas generadoras de más de 500 toneladas de petróleo al año con la consiguiente disminución en las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera. La ubicación del parque en una zona cercana a la carga trae beneficios al disminuir las pérdidas de energía tanto por concepto de distribución como de transformación, estos valores ahorrados equivalen a la electricidad consumida al mes por 105 casas. ([J. G. Tatiana Castillo, Luis Mosquera, Targelia Rivadeneira, Katherine Segura, Marco Yujato, 2017](#))

Además, Cuba firmó con China convenios de cooperación en materia de energía renovable y protección ambiental; entre estos acuerdos se destaca el otorgamiento de créditos para la producción de paneles solares, la instalación en la isla de un parque eólico y la creación de una bioeléctrica, esta última adscrita a un central azucarero de la provincia de Villa Clara. También Cuba firmó con España una alianza estratégica para la promoción de fuentes renovables de

energía y respeto ambiental, con énfasis en el desarrollo de la energía fotovoltaica. La alianza está enfocada al intercambio de políticas, experiencias e información y cooperación en posibles misiones comerciales que promuevan el desarrollo del sector en ambos países. Actualmente, Cuba, que posee un nivel de radiación solar de 5 kWh/m<sup>2</sup> día en todo el territorio nacional, cuenta con 22 MW de potencia fotovoltaica instalada, repartida entre 14 parques fotovoltaicos y según lo establecido en la Política de las Fuentes Renovables aprobada en 2014, se instalarán 700 MW fotovoltaicos a 2030. ([J. G. Tatiana Castillo, Luis Mosquera, Targelia Rivadeneira, Katherine Segura, Marco Yujato, 2017](#))

La Asamblea Nacional del Poder Popular de **Cuba** aprobó la actualización de los lineamientos de la política económica y social para el periodo 2016 – 2021. El referido instrumento en materia de política energética se plantea: elevar la producción nacional de crudo y gas acompañante, desarrollando los yacimientos conocidos e ir incorporando la recuperación mejorada; acelerar los estudios geológicos encaminados a poder contar con nuevos yacimientos, incluidos los trabajos de exploración en la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México; elevar la eficiencia y el rendimiento del sistema de refinación en Cuba; incrementar la eficiencia en la generación eléctrica; ejecutar el programa de construcción, montaje y puesta en marcha de nuevas capacidades de generación térmica y prestar atención priorizada al completamiento de las capacidades de generación en los ciclos combinados de Boca de Jaruco y Varadero; mantener una política activa en el acomodo de la carga eléctrica, que disminuya la demanda máxima y reduzca su impacto sobre las capacidades de generación; proseguir el programa de rehabilitación y modernización de redes y subestaciones eléctricas, de eliminación de zonas de bajo voltaje, logrando los ahorros planificados por disminución de las pérdidas en la distribución y transmisión de energía eléctrica; avanzar en el programa aprobado de electrificación en zonas aisladas del Sistema Electro energético Nacional; fomentar la cogeneración y trigeneración en todas las actividades con posibilidades y proyectar el sistema educativo y los medios de comunicación masiva en función de profundizar en la calidad e integralidad de la política enfocada al ahorro y al uso eficiente y sostenible de la energía. ([J. G. Tatiana Castillo, Luis Mosquera, Targelia Rivadeneira, Katherine Segura, Marco Yujato, 2017](#))

#### **1.4.1 Caracterización de las fuentes renovables de energía en Cuba**

En Cuba, con un poco más de 110 000 km<sup>2</sup>, se recibe cada día una radiación solar equivalente a la que pueden producir cincuenta millones de toneladas de petróleo. O



sea, la radiación solar que recibe en un solo día es mayor en su valor energético que todo el petróleo que consume durante 5 años. Dicho de otra manera; se recibe 1800 veces más energía solar que la del petróleo que consume. El módulo fotovoltaico fabricado en Cuba tiene una eficiencia de 15 %. Un panel de 1 kWp genera 150 kWh mensual y ocupa solamente 7 m<sup>2</sup> de azotea. Una vivienda promedio consume entre 150 y 200 kWh mensual. Si se cambian los equipos electrodomésticos por unos más eficientes, el consumo sería de entre 90 y 140 kWh. ([Luis Berriz, 2015](#))

El uso de los sistemas térmicos solares para conservar vegetales y otras cosechas ha mostrado que es una opción práctica, económica y ambientalmente compatible. Los sistemas de calentamiento solar pueden mejorar la calidad del producto, a la vez que reduce desechos y combustibles tradicionales, mejorando la calidad de vida. La tecnología de secado solar ofrece una alternativa que puede procesar los vegetales en condiciones limpias, higiénicas y sanitarias con las normas nacionales e internacionales. Esta ahorra energía, tiempo, ocupa menor área, mejora la calidad del producto, hace más eficiente el proceso y protege al medio ambiente. ([Roche-Delgado, Hernández-Touset, & García-Rodríguez, 2017](#))

En la actualidad más del 97% de la población dispone de electricidad en sus hogares, contra 56% en 1959, han sido montados más de 2300 paneles fotovoltaicos en las montañas y lugares de difíciles acceso para apoyar el sistema educacional del país de estos 2300 más de veinte son de escuelas con uno o dos niños gracias a esto la enseñanza mantuvo su alta calidad basada en los métodos pedagógicos más modernos ([Luiz Berriz, 2016](#)).

Para el plan propuesto de cara al 2030 se pretende un impulso en proyectos de energía renovables que garanticen mayor eficiencia energética el cual se piense que cubra más del 24 % de la energía generada de esta cerca de un 14% cera generada solo con biomasa a partir de la caña de azúcar gracias a un plan de construcción de 25 bioeléctricas a lo largo de todo el país que en la actualidad la empresa Azcuba genera ya unos 470 MW en el caso de la energía solar – fotovoltaica se espera una generación de más de 750MW en tanto el potencial eólico seguirá ampliándose conjuntamente el cual se estará apostando por un total de 14 parques eólicos que aportaran más de 656MW y la mayoría estarán instalados en la zona oriental del país. ([Mendoza, 2013](#)).

En la generación eléctrica Cuba se propone crecer en el empleo de fuentes de energía renovables. Aun no hay pronunciamientos semejantes en el sector transporte.

Continuando el desmarque de su tradicional rumbo apegado a consumo de combustibles fósiles, la Unión eléctrica Nacional instaló su primera central de energía solar fotovoltaica. La misma producirá 1 500 MWh de energía eléctrica

al año bajo el esquema de generación distribuida sin requerir una gota de petróleo lo que evitará la emisión de poco más de mil toneladas de dióxido de carbono. En el 2015 la UNE prevé instala otros 12 MW. En hidroenergía en la actualidad se ha incrementado la generación a 64 MW, aunque el potencial es superior. Se prevé iniciar la construcción de un parque eólico de 50 MW en el oriente del país los análisis técnicos recomiendan instalar hasta 60 MW eólicos de unos 2 000 MW en que se estima el potencial. La red eléctrica que dispone hoy el país, permite una mayor penetración de las fuentes renovables en la generación, pero habrá que mejorar la red eléctrica y usar técnicas que permitan la acumulación de energía.

Para liberar a la economía de una parte de la pesada carga de combustibles fósiles que hoy gravita sobre ella se prevé explotar la potencial bioenergética del país: biomasa cañera y desechos forestales, residuos porcinos, ganaderos y agrícolas. Miles de plantas de biogás podrían construirse para la cocción, refrigeración, iluminación, y generación eléctrica, incluyendo las que aprovechan el biogás que emana de los rellenos sanitarios. Se proyecta construir unidades de generación biotermoeléctricas en centrales azucareras que emplearán como combustible: la biomasa cañera, residuos forestales y marabú. Estas plantas funcionarán hasta 290 días al año con más eficiencia y mejores parámetros que los esquemas de generación eléctrica de los centrales existentes, y podrán llegar a evitar la emisión de no menos de tres millones de toneladas de dióxido de carbono hasta

el 2020. Se prevé integrar, además, las tecnologías energéticas renovables y el uso pasivo de la energía solar a todas las edificaciones que lo permitan, especialmente las nuevas inversiones. Así se logrará más eficiencia energética y se desplazarán los consumos de combustibles fósiles. ([Bravo Hidalgo, 2015](#))

#### **1.4.2 Desarrollo en Cuba del Biogás.**

Biomás Cuba es un proyecto internacional con el auspicio de la Estación Experimental Indio Hatuey y la Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (COSUDE), y contribuye a la resolución de las problemáticas antes mencionadas, mediante la producción integrada de alimentos y energía, promoviendo el uso de las FRE, en especial, el biogás. Ha desplegado un considerable número de biodigestores en varios municipios cubanos.

EL Programa de Pequeñas Donaciones del Fondo de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, Cuba) aborda cuestiones de producción de biogás para cocción de alimentos a través de biodigestores tubulares plásticos. Trabaja en varios municipios del país de conjunto con la Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP).([Alcázar Quiñones, 2017](#))

El Ministerio de Energía y Minas y el Ministerio de Agricultura (MINAGRI) por el encargo estatal que poseen, abordan cuestiones relacionadas con las Fuentes

Renovables de Energía, en especial la producción de biogás. También trabajan en varios municipios cubanos. ([Alcázar Quiñones, 2017](#))

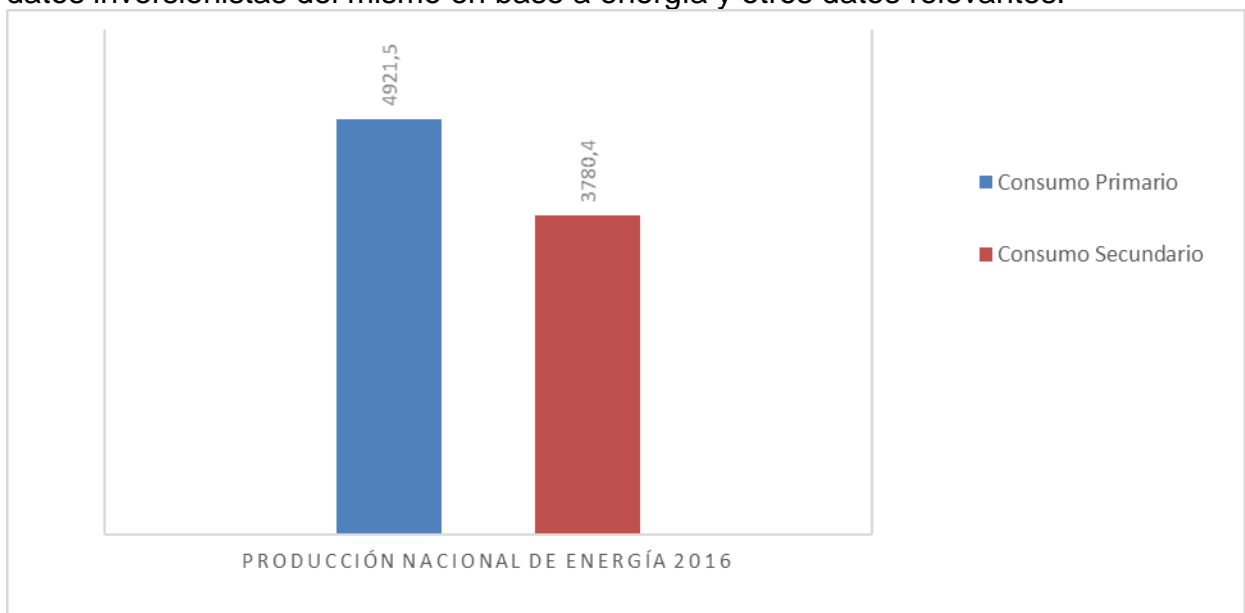
Como puede verse, existen varias experiencias, en varios escenarios en el país que han avanzado con esta tecnología. Los cambios económicos y sociales que promueven los lineamientos (2011) están conectados con la realidad energética del país y fomentan la participación de las estructuras locales en estos procesos. Dichos cambios auguran un necesario cambio de mentalidad. La trayectoria que se estudia, a continuación, es promovida por una institución de Educación Superior (Indio Hatuey) que tiene más de 40 años de experiencia y ha acumulado significativas capacidades en cuestiones de innovación, tecnologías y aprendizajes. Dicha institución ha logrado, además, incluirse en el giro territorial hacia el cual ha transitado acorde con los nuevos cambios que se han promovido en el país. Biomasa Cuba constituye una alternativa socioeconómica, promovida por esta institución, basada en la agroecología y la biomasa como fuente renovable de energía para mejorar condiciones de vida en sectores rurales del país. El proyecto propugna el desarrollo de alternativas tecnológicas locales para la generación de energía a partir de la biomasa y la producción de biodiesel. COSUDE es la agencia internacional suiza que financia este proyecto y labora en condiciones de equidad con contrapartes cubanas (instituciones).

Entre las tecnologías sociales que implementa Biomasa Cuba se encuentra la producción de biogás y bioabonos (biodigestores de cúpula fija) para la producción y cocción de alimentos (humano y animal), tratamiento de residuales y electrificación. Muchos son los usuarios que se han beneficiado con los resultados de estas tecnologías, pues se ha generado reducción del consumo energético, de los niveles de gases contaminantes al medioambiente y altas producciones de alimentos por vías agroecológicas. El proyecto persigue también la producción y utilización de biodiesel a partir de plantas oleaginosas no comestibles y sus productos derivados para la alimentación animal y la gasificación de residuos agroforestales y agrícolas para la producción de electricidad en pequeñas comunidades rurales aisladas del sistema energético nacional. Dichas alternativas se encuentran en marcha en 14 municipios pertenecientes a 5 provincias del país. Si bien los conceptos de inclusión y cohesión social han tenido un impacto notable en las conceptualizaciones teórico-metodológicas como se señala en acápite anteriores; este caso ilustra las potencialidades y los avances que se pueden generar en el municipio conectando “tecnologías apropiadas y contextualizadas” con necesidades concretas ([Núñez J., 2013](#)). Este proyecto ha logrado articular una red de actores y alianzas entre el gobierno local, la Agencia COSUDE, asociaciones de productores y profesionales, delegaciones

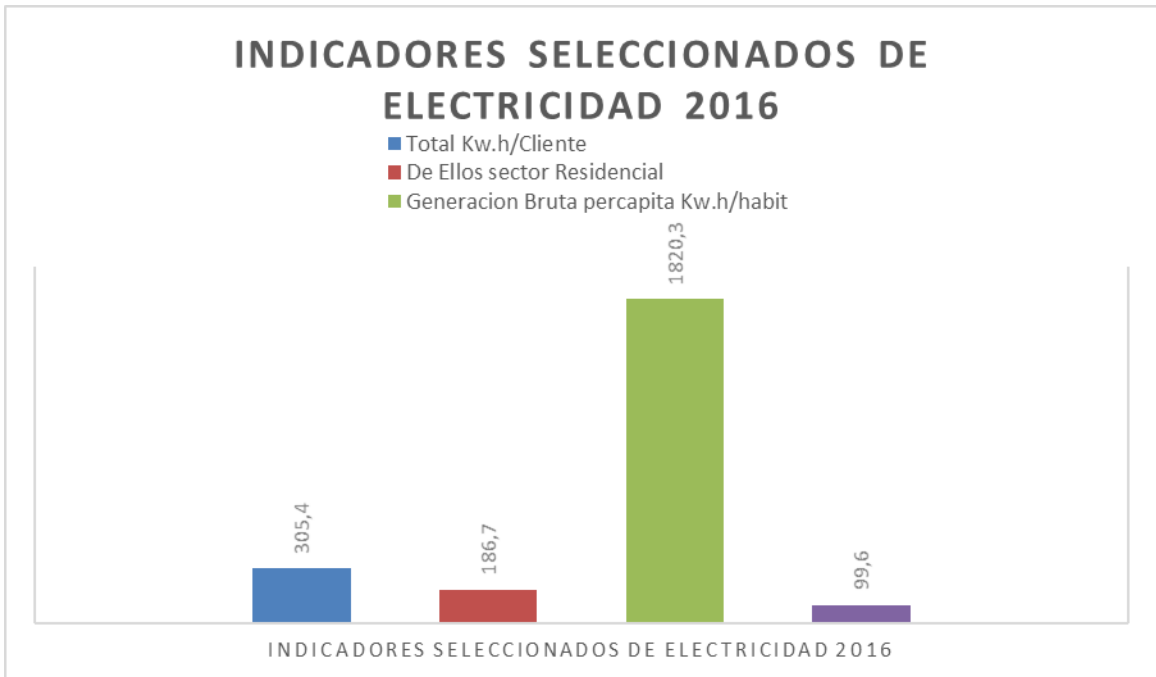
municipales y otras organizaciones nacionales y territoriales. Dichas conexiones han desempeñado un rol esencial en los “incipientes” sistemas de innovación local que intentan abrirse camino en municipios cubanos. Resulta pertinente destacar los procesos de evaluación que establece COSUDE como agencia financista para monitorear los resultados alcanzados. Dichas evaluaciones han realizado recomendaciones puntuales a algunas de las tecnologías implementadas (biodigestores para producción de biogás y producción de biodiésel) Como se ilustra, ambas líneas del proyecto Biomás han generado alianzas, soluciones y estrategias con otros centros de investigación y están influyendo en la toma de decisiones en la actualidad, a partir de la actualización del modelo económico cubano.

1

Cuba en general ha tenido grandes inversiones desde el año 2010 hasta la fecha invirtiendo en energía renovables de acuerdo a sus planes energéticos de cara al 2030 a continuación mostramos parte del consumo energético del país, datos inversionistas del mismo en base a energía y otros datos relevantes:

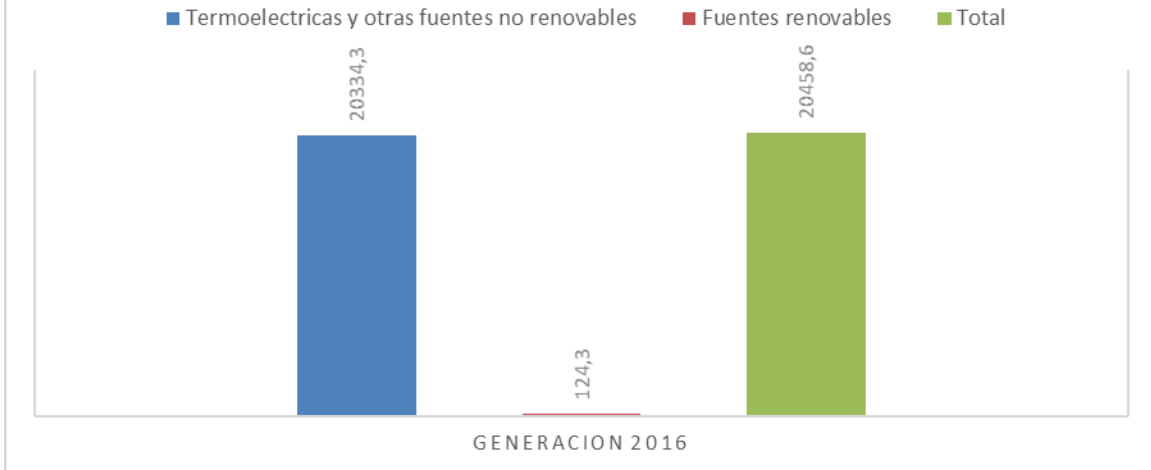


Fuente: ONE



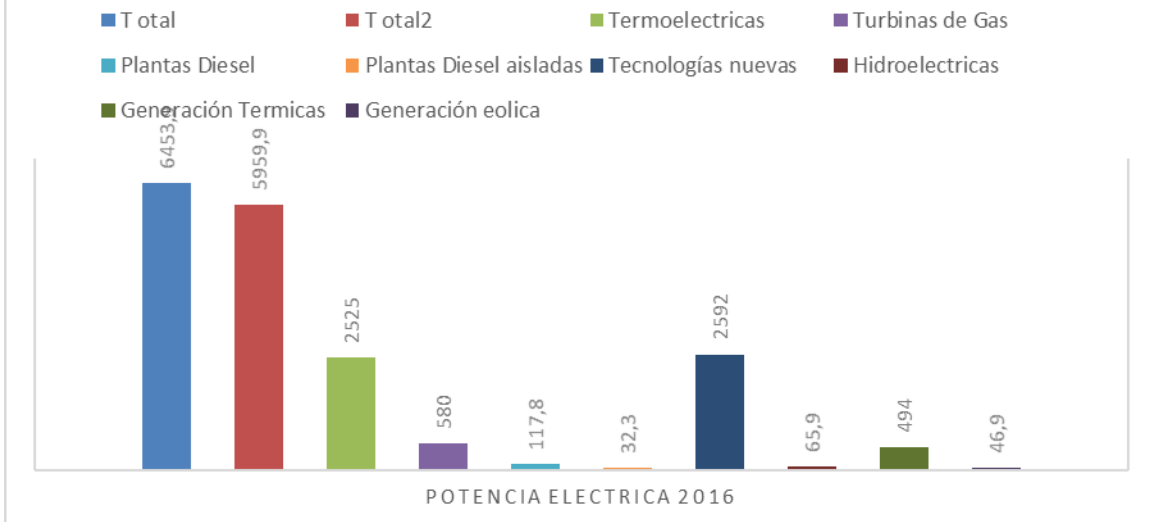
Fuente: ONE

## GENERACIÓN BRUTA DE ELECTRICIDAD POR TIPO DE PLANTA PRODUCTORA 2016 (GIGAWATT HORA)



Fuente ONE

## POTENCIA INSTALADA EN PLANTAS ELÉCTRICAS POR TIPO (MW)



*Fuente: ONE*

### **1.4.3 Impacto del uso de las fuentes renovables de energía en la población rural**

La generalización de los resultados obtenidos es importante en el desarrollo social pues se logra con ello que la sociedad pueda disfrutar de las tecnologías probadas, la zona que se estudia ha sido pionera en el uso de las tecnologías renovables, labor que debe continuar, se cuenta con centros científicos que dedican su mayor tiempo a realizar investigaciones y estudiar tecnologías que brindan aportes al desarrollo económico, social y ambiental de la región en unión con la población fundamentalmente rural se trabaja con el objetivo de disminuir el uso de combustibles convencionales y lograr la reducción de CO<sub>2</sub> que se emite a la atmósfera.

Existen 8 municipios todos con un componente rural, aplicando en su hacer cotidiano de una forma u otra las fuentes renovables (energía solar directa, eólica, energía hídrica, energía de la biomasa donde está incluido el bagazo de la caña de azúcar, otros desechos agrícolas, además del biogás) de forma directa.

En la actualidad se utiliza 14 % del bagazo para generación térmica y 1,6 corresponde a otras fuentes renovables, las cuales juegan un papel importante, pues resuelven un problema social considerable. Estas energías son: la energía solar (fotovoltaica, térmica), la energía eólica, biomasa, la hídrica, la tracción animal entre otras. La población beneficiada según el tipo de energía renovable utilizada se encuentra distribuida como se muestra en la figura 1, existen otras fuentes que se explotan, pero no es significativo en el área rural (eólica, calentadores solares, destiladores, secadores de plantas medicinales, etc.). **Morales, F. et al. (1998).**

### **Conclusiones Parciales Capítulo 1:**

1. La situación energética mundial en la actualidad es muy controvertida, marcada por la sobreexplotación de las fuentes primarias de energía y un impacto medio ambiental negativo.
2. La implementación de fuentes renovables de energía en especial de el biogás y la biomasa, muestra un incremento paulatino, liderado principalmente por los países de la zona euro.
3. En Cuba la implementación de las fuentes renovables de energía, adquieren un carácter relevante, dado el compromiso de alcanzar los propósitos fijados para el 2030.



# Capítulo 2

**Capítulo II. Metodología de diagnóstico energético para implementar las Fuentes Renovables de Energía (FRE) en apoyo al desarrollo local del Municipio de Sancti Spíritus.**

Para dar cumplimiento al objetivo general planteado inicialmente, en este capítulo se propone la metodología de diagnóstico energético para implementar las fuentes renovables de energía en apoyo al desarrollo local del Municipio de Sancti Spíritus los municipios. El cual contó de 3 etapas (Fig. 2.1)



Figura 2.1. Descripción de las etapas

### 2.1 Etapa 1: Caracterizar el municipio Sancti Spíritus

Para esto se tuvo en cuenta la situación geográfica, extensión territorial, número de habitantes, consumidores rurales, sistemas productivos y aspectos sociales de interés en las comunidades. Se tendrá en cuenta, elementos que definan claramente el territorio. El desarrollo de esta etapa se basa en la revisión y análisis de la documentación principalmente de los anuarios estadístico de la ONE y los gobiernos municipales, así como la visitas a otros organismos de interés.

### 2.2 Etapa 2: Caracterización energética del municipio

La caracterización energética del territorio se muestra una serie de elementos que muestren el comportamiento del municipio en materia energética por ende se analizó la información estadística de la Empresa Eléctrica Provincial y Municipal relacionada con el Municipio Sancti Spíritus con el objetivo de obtener información sobre las subestaciones, trazas y circuitos que alimentan el municipio en cuanto a consumo, demandas, potencia instalada y real. A partir de esta se relacionaron los centros principales consumidores, las mini-industrias y los posibles puntos terminales: concebidos como los potenciales a implementar fuentes renovales de energías. Además, se toma en consideración los sistemas aislados de generación.

Los principales centros consumidores relacionados por circuitos se llevan a un diagrama de Pareto con el objetivo de establecer un orden de prioridad en cuanto a la selección de escenarios para implementar las FRE. El que se realiza acorde con la metodología (El principio de Pareto se enuncia diciendo que **el 80% de los problemas están producidos por un 20% de las causas.**

Entonces lo lógico es concentrar los esfuerzos en localizar y eliminar esas pocas causas que producen la mayor parte de los problemas. El diagrama de Pareto

no es más que un histograma en el que se han ordenado cada una de las "clases" o elementos por orden de mayor a menor frecuencia de aparición ([Aiteco Consultores, 2002](#)). A veces sobre este diagrama se superpone un diagrama de frecuencias acumuladas. En algunos casos la importancia de cada grupo no es la misma. Por ejemplo, no es igual la predisposición del cliente hacia la compañía aérea si le han perdido la maleta o si simplemente no había un periódico de su gusto. En este caso se pueden fijar factores de peso para cada uno de los grupos. La fijación de estos pesos puede hacerse tomando uno de los grupos como referencia y encuestando a personas representativas. En la Tabla 2 y en la Figura 17 se ha representado este caso. Como puede observarse, las prioridades cambiarían en función de los factores de peso introducidos.)

A continuación, se realiza un análisis de las causas que inciden en las potencialidades de biogás en el municipio y para esto se aplica el **Diagrama de Ishikawa, diagrama causa-efecto o diagrama de espina de pez**. (Se utiliza para relacionar los efectos con las causas que los producen. Por su carácter eminentemente visual, es muy útil en las tormentas de ideas realizadas por grupos de trabajo y círculos de calidad. El funcionamiento es el siguiente, según los participantes van aportando ideas sobre las causas que pueden producir los efectos se van registrando en el diagrama (ver Figura 10). Cuando han terminado las aportaciones se reordenan las causas de forma jerárquica y se eliminan las repetidas. A continuación, se puede plantear un plan de recogida de datos para contrastar estas hipótesis.

En el análisis de un proceso industrial es frecuente realizar el diagrama de Ishikawa clasificando las causas según las "M":

- ✓ Causas relacionadas con la **M**áquina (**M**achine). Por ejemplo, vibraciones.
- ✓ Causas relacionadas con la **M**ateria prima (**M**aterial). Por ejemplo, diferencias entre proveedores.
- ✓ Causas relacionadas con la **M**étodo de trabajo (**M**ethod). Por ejemplo,

realización de secuencias de trabajo equivocadas, etc.

- ✓ Causas relacionadas con el Operario (**M**en). En este caso en español no empieza con “m”. Por ejemplo, falta de formación, problemas de vista, etc.
- ✓ Causas relacionadas con el **M**edio ambiente (**E**nvironment). En este caso en inglés no empieza con “m”. Por ejemplo, cambios de temperatura, etc.

Es importante ordenar estas causas en grupos que tengan alguna afinidad (como es el caso de los propuestos anteriormente para el caso de una máquina industrial). En general debe profundizarse hasta alcanzar al menos tres niveles de profundidad (Ishikawa recomendaba no parar hasta llegar al quinto nivel).

### **2.3 Etapa III: Selección de Escenarios Relevantes:**

#### **2.3.1 Descripción de las Vías de Acción**

A partir de las etapas anteriores por cada uno de los circuitos se pueden seleccionar los escenarios relevantes y se incluye el análisis de los residuos potenciales para producir energía a partir del biogás, cantidad de cerdos, peso promedio. Para esto se contó con la información aportada por el CITMA, GECAN, Poder Popular y Anuario estadístico del municipio.

#### **2.3.2 Análisis y Evaluación de los escenarios relevantes:**

A partir de la información obtenida se puede analizar los mejores escenarios para la implementación de las FRE a utilizar con fines energéticos. Para llevarlo a cabo se desarrolla el procedimiento específico siguiente:

##### *Paso 1: Definición de los criterios de decisión*

En varias ocasiones las técnicas matemáticas y estadísticas no permiten revelar la evolución de determinadas situaciones que pueden ser multivariadas en sus

manifestaciones. De ahí la importancia de buscar métodos que a partir de la experiencia y conocimientos de un grupo de personas considerados “expertos” en la temática que se está abordando, puedan exponer sus criterios subjetivos sobre la implementación de las FRE como apoyo al desarrollo local. El equipo de trabajo a cargo de la investigación para la Provincia de Sancti Spiritus realizó la propuesta de los expertos (tabla 2.1) a los que se les aplicó el método de Delphi ([Mendoza, 2013](#))

Expertos	Organismo e institución

Al aplicar la técnica de trabajo con expertos para la definición de los criterios a tener en cuenta son:

Criterios	Modificar	E1
Potencial existente		
Demanda energética		
Distancia de los puntos terminales		
No de experiencias previas en Cuba		1 Ninguna 2 menos de 5 3 Más de 5
Prioridad		1 baja 2 media 3 alta
Articulación con otros proyectos		1 Si 2 No
Daños ambientales		1 Bajo 2 Moderados 3 Severos

La definición de cada uno de los criterios se definen en el Anexo ( )

*Paso 2: Elección de los métodos para ordenar alternativas*

Es de gran importancia conocer donde se encuentra el mejor escenario de potencial para contribuir de forma eficiente al Sistema Electroenergético Nacional y así reducir los consumos de Diésel y ahorrar energía eléctrica. Como se mencionó en el capítulo anterior para aplicar la técnica multicriterio siguiendo los pasos existentes para ello, en la selección de los mejores escenarios integralmente dentro de un grupo, se obtuvo:

1-Definir alternativas y criterios: Las alternativas serían los potenciales de biogás en cada traza analizadas en la etapa anterior y los criterios de decisión los obtenidos en el paso 1 que son: la estabilidad en la entrega al SEN, la calidad referida a la cantidad de materia orgánica que posee cada residuo y el volumen de residuo.

2- Homogenizar los criterios de decisión: Se deben llevar, en este caso, todos a máximo pues los criterios antes mencionados deben ser maximizados para la obtención de buenos resultados.

3- Normalizar los criterios de decisión: Puede ser por varios métodos como se mencionó en el capítulo anterior, el autor propone utilizar en este caso:

$$V = \frac{A_i}{\sum A_i}$$

y se coloca cada valor en la matriz.

4-Se homogeniza la Matriz:

$$H_{ij} = 1/R_{ij}$$

5- Se neutraliza la matriz:

$$N_{ij} = H_{ij} / \sum H_{ij}$$

Luego se combinan ambos pesos:

$$W_{j(obj-sub)} = N_{ij} / \sum N_{ij}$$

$$W_j = W_{j\ obj} * W_{j\ sub} / \sum W_{j\ obj} * W_{j\ sub}$$

6-Determinar las mejores alternativas: Puede ser por varios métodos, en este caso el autor aplica el de ponderación.

$$S_i = \sum N_{ij} * W_j$$

Luego se ordenan los  $S_j$  de forma descendente y así quedan ordenadas las mejores fuentes que serían las trazas con potencial de biogás para la producción de energía eléctrica, teniendo en cuenta los criterios antes mencionados.

### **2.3.3. Estimación de la cantidad de electricidad, calor y diésel en cada traza a implementar las FRE:**

Según los  $m^3$  de biogás producidos al día estos pueden ser utilizados ya sea en la producción de electricidad o diésel, tanto para el autoabastecimiento de la propia entidad como para el uso en las comunidades más cercanas, teniendo en cuenta los resultados obtenidos anteriormente podemos calcular los indicadores de producción de electricidad y diésel.

Según estudios realizados se plante que para la producción de electricidad se tomará en cuenta que por cada  $m^3$  de biogás se obtendrá 1.8kWh, al igual que para la obtención de calor que se utilizará 2.5 kWh por cada  $m^3$  de biogás.

Según el interés de la Entidad o comunidad donde se encuentre el potencial se podrá obtener combustible Diésel donde el indicador a tener en cuenta será 0.65 litros por cada  $m^3$  de biogás.

La producción de electricidad y el poder calórico en el día se determinan a partir de la expresión 3.3 y 3.4; la cantidad de Diésel en litros que se obtendrá se determinará a partir de la expresión 3.5:

$$E = 1.8kWh/m^3biogás * m^3biogás/día \quad \text{Expresión 3.3}$$

Para producir energía eléctrica, tomando como referencia que el poder calórico promedio de un metro cúbico de biogás es de cinco mil kilocalorías (5,000 kcal.), lo que permite generar entre 1.3 y 1.8 kWh de electricidad aproximadamente. ([Martínez, 2013](#))

$$C = 2.5kWh/m^3biogás * m^3biogás/día \quad \text{Expresión 3.4}$$



El poder calórico del biogás representa 5600 kcal/h lo que es igual a entre 1.3 y 2.5kwh

$D = 0.65 \text{ lt/m}^3 \text{ biogás} * \text{m}^3 \text{ biogás/día}$  Expresión 3.5

Un metro cúbico de biogás puede compararse con 0.4 kg de aceite diesel, 0.6 kg de petróleo o 0.8 kg de carbón lo que como se muestra en la fórmula 0.6kg equivalen a 0.65lt/ m<sup>3</sup>biogás. ([Martínez, 2013](#))

**D:** Diesel (lt)

**E:** Electricidad (kWh/día)

**C:** Calor (kWh/día)

### 2.3.4 Estimación de residuales porcinos

Para el cálculo de residuos, es necesario determinar el inventario de rebaño de estos animales, por cada unidad dentro de cada circuito. Para la evaluación de este potencial se tuvo en cuenta, los productores pertenecientes al sector estatal y al sector particular que presentan convenios con la empresa del GECAN . Posteriormente se procedió a calcular el potencial de biogás de este residual en metros cúbicos de biogás al año. Estos cálculos fueron procesados en una hoja de cálculo Excel. Para la estimación de este potencial se utilizó la expresión de cálculo siguiente:

$PT_{\text{porcino}} = \sum (N_i * M (i)) * Mexc * SV_{\text{porcino}} * K * F_{\text{ctep}}$

Donde:

PT<sub>porcino</sub>: Potencial total de energía porcino en Tep.

N<sub>i</sub>: Existencia de rebaño de cada productor.

M<sub>i</sub>: Peso promedio del rebaño existente en cada unidad en kg.

Mexc: Fracción másica de la excreta porcina de cada animal (5%).

SV<sub>porcino</sub>: Porcentaje de sólidos volátiles de la excreta porcina (20%)

K: Rendimiento de biogás de las excretas porcinas (0.45 m<sup>3</sup>de biogás/kg SV)

F<sub>ctep</sub>: Factor de conversión de m<sup>3</sup> de biogás a Tep (0.45 Tep/m<sup>3</sup> de biogás)

([ONE, 2017](#)).

El aplicar la técnica multicriterio y el método de preferencia jerárquica, para finalmente obtener un orden descendente o por prioridad de las 15 alternativas de localización se analizaron los criterios establecidos por los expertos, como las t/año de residuo existentes en cada lugar y los m<sup>3</sup> de biogás que se pueden

obtener con cada uno de ellos, la cercanía a los altos consumidores del municipio, y el orden de prioridad dado a cada factor en la etapa anterior. El resultado obtenido muestra una igualdad de aceptación de las localizaciones .

**Conclusiones Parciales:**

En este capítulo se arribaron a las siguientes conclusiones:

1. Se emplean tres etapas para dar cumplimiento a la investigación que parten de la caracterización energética del municipio.
2. Se combinan métodos basados en la revisión documental, el criterio de expertos, las pruebas de hipótesis y las técnicas multicriteriales para dar cumplimiento a los objetivos trazados.

# Capítulo 3

## Capítulo III. Resultados y discusión

### 3.1 Introducción

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos durante la caracterización energética del municipio de Sancti Spíritus para el análisis de potencialidades de biogás.

Etaa 1. Caracterización energética del municipio de Sancti Spíritus

#### 3.2.1 Caracterización del municipio:

El municipio de Sancti Spíritus está situado en el centro de [Cuba](#), en la provincia de Sancti Spíritus. Limita al norte con los municipios de Jatibonico, Taguasco, Cabaiguán y Fomento, al este con Jatibonico y La Sierpe, al sur con el Mar Caribe, y al oeste con Fomento y Trinidad. En el [Anexo 1](#) se puede ver la localización en el mapa de los límites del municipio.

Sancti Spíritus posee una extensión territorial de 11 414,83 kilómetros cuadrados, con una población de 141 253 habitantes, de los cuales residen en la cabecera municipal unos 107 581, 33 672 en zonas rurales.(ONEI 2017)El Consumo de electricidad en el sector residencial representa un 21% del total y tiene 411 tendederas y de estas 246 se pueden normalizar. (UNE Provincial Sancti Spíritus, 2018)

Se caracteriza por ser un territorio agroindustrial debido a la fertilidad de sus suelos, con una gran diversidad. Especialmente en las zonas de Banao donde su producción está dada por el ajo, cebolla y tomates principalmente. Mientras que en la ciudad cabecera Sancti Spíritus existen grandes industrias entre ellas industria láctea, mataderos de cerdos, ganado, avícola y la industria Pesquera entre otras industrias cárnicas de gran peso económico.

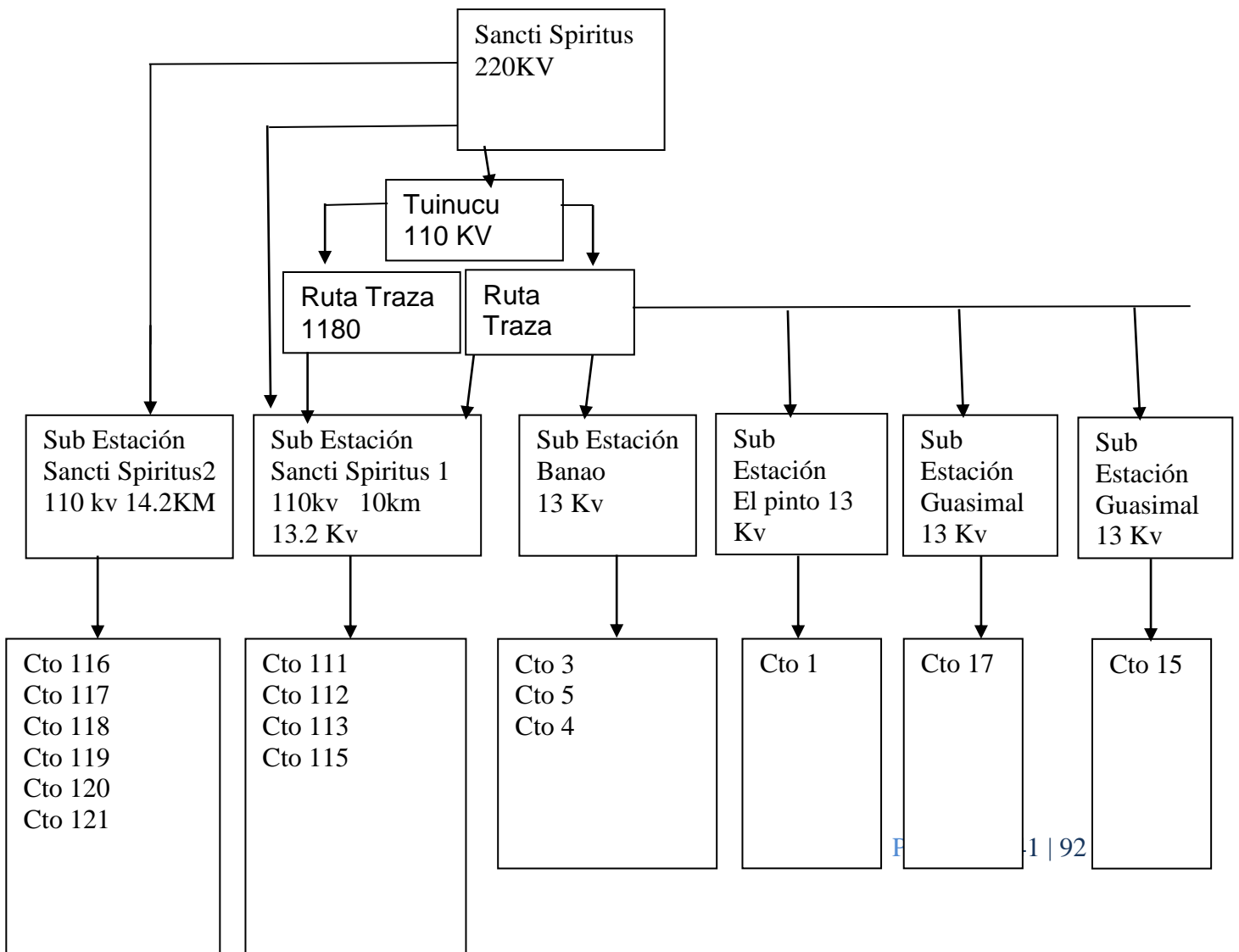
El Sector Campesino cuenta con 5 Cooperativas de Producción Agropecuaria (CPA), y 14 UBPC. Además, se han constituido 31 Cooperativas de Crédito y Servicios (CCS) dedicadas a la producción de alimentos. (ONEI 2017)

### 3.2.2 Matriz Energética del municipio:

La Matriz Energética del municipio a pesar de no ser muy amplia está integrada en su mayoría por la utilización de combustibles fósiles, teniendo en cuenta la situación actual en la que se encuentra el país y las metas trazadas los mayores esfuerzos estarán encaminados a una modificación de la matriz para lograr el aumento en la utilización de las FRE.

La estructura general del sistema electroenergético en el municipio Sancti Spiritus se muestra en la [Figura 3.1](#).

**Figura 3.1.** Estructura general del Sistema Electroenergético en el municipio Sancti Spiritus

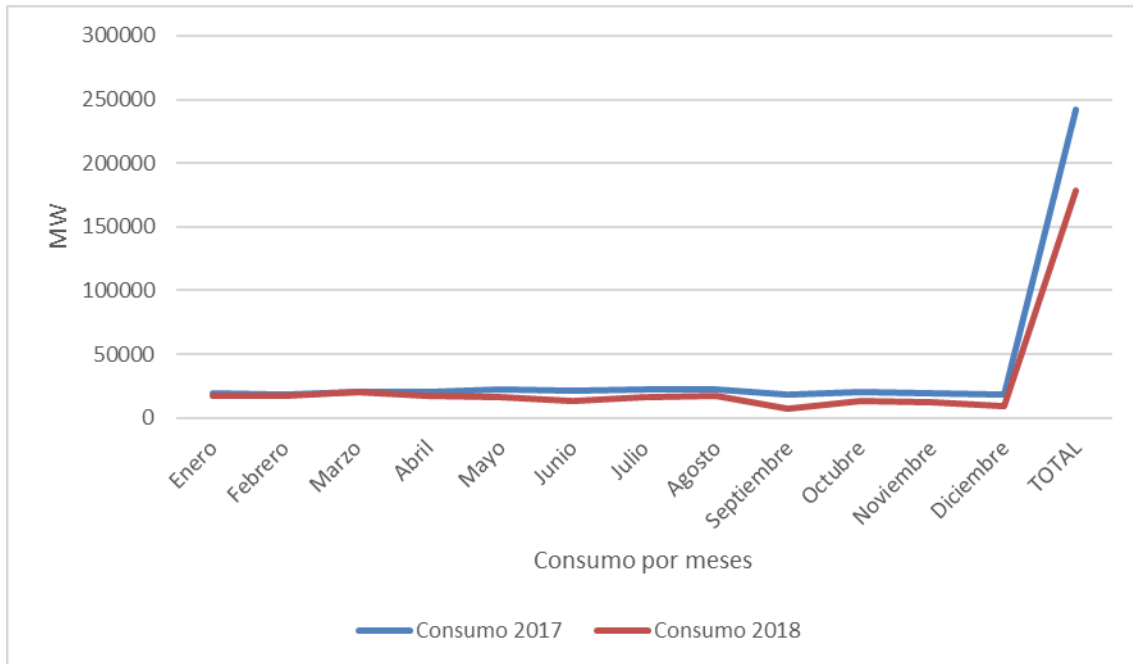


El municipio está estructurado por 15 circuitos y cada uno se dirige hacia una o varias subestaciones para reducir la intensidad eléctrica a continuación, se muestra más detalladamente en la tabla 3.1

Fuente: Elaboración Propia

Subestacion	Circuitos	Distancia
El pinto	1	
Banao	3	
Banao	4	
Banao	5	
Guasimal	17	
Sancti Spíritus 1	111	
Sancti Spíritus 1	112	
Sancti Spíritus 1	113	
Sancti Spíritus 1	115	
Sancti Spíritus 2	116	
Sancti Spíritus 2	117	
Sancti Spíritus 2	118	
Sancti Spíritus 2	119	
Sancti Spíritus 2	120	
Sancti Spíritus 2	121	
Paredes	15	

Los datos mensuales en MWh registrados por el Departamento Comercial de la Empresa Eléctrica (UNE) del municipio en el año anterior se muestran en Figura 3.2, que se corresponden con las facturas de energía eléctrica.



**Figura 3.2.** Representación del consumo de energía eléctrica vs Meses.

**Fuente:UNE**

Demanda del municipio Sancti Spiritus 2017									
	Mínimo			Medio			Máximo		
	MW	Mvar	fp	MW	Mvar	fp	MW	Mvar	fp
Enero	15.74	3.69	0.97	29.42	7.38	0.97	36.51	8.66	0.97
Febrero	17.59	4.01	0.97	30.34	7.56	0.97	38.38	8.91	0.97
Marzo	17.8	3.59	0.98	30.04	6.98	0.97	37.87	7.78	0.98
Abril	21.11	4.26	0.98	31.89	7.21	0.98	38.68	7.84	0.98
Mayo	23.64	5.45	0.97	32.32	8.11	0.97	37.34	8.36	0.98
Junio	15.91	4.22	0.97	21.25	6.12	0.96	23.01	5.73	0.97
Julio	15.35	3.82	0.97	20.59	5.61	0.96	21.76	5.31	0.97
Agosto	15.35	3.82	0.97	20.59	5.61	0.96	21.76	5.31	0.97
Septiembre	21.41	5.23	0.97	30.83	7.46	0.97	34.55	8.45	0.97
Octubre	21.18	4.26	0.98	30.57	7.01	0.97	36.61	8.48	0.97
Noviembre	19.24	3.55	0.98	29.58	6.91	0.97	36.31	8.52	0.97
Diciembre	20.89	4.54	0.98	31.02	7.53	0.97	36.37	8.31	0.97
<b>Total</b>	<b>225.21</b>	<b>50.44</b>	<b>11.69</b>	<b>338.44</b>	<b>83.49</b>	<b>11.62</b>	<b>399.15</b>	<b>91.66</b>	<b>11.67</b>

En la Tabla 3.1 se muestra la información de los sistemas productivos mayores consumidores de Fuel en el municipio de Sancti Spíritus desglosados en cada una de los circuitos a las que estos pertenecen:

**Tabla 3.2** Consumo de combustible Fuel 2018.

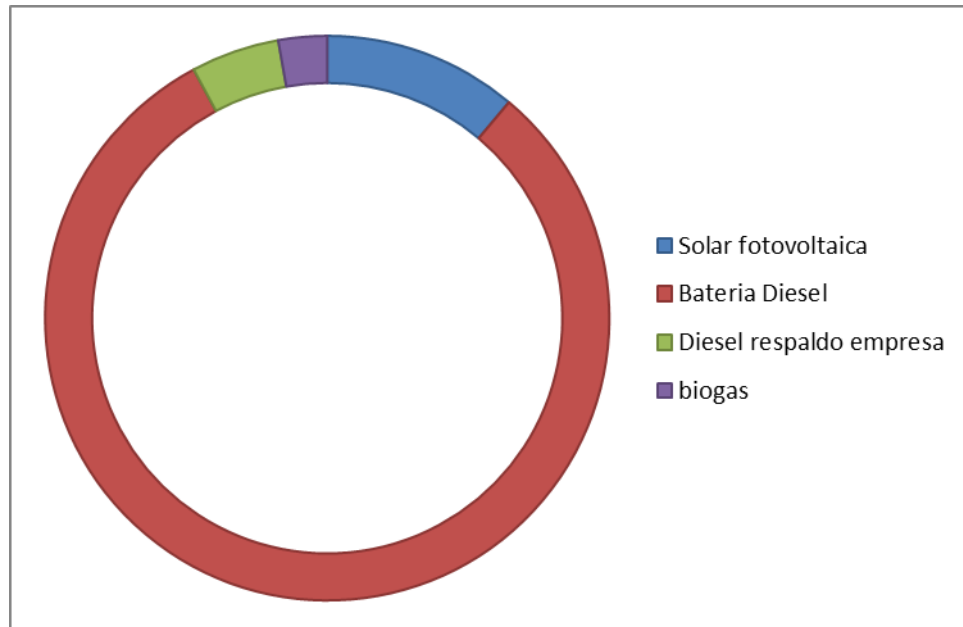
Fuente:UNE

<b>Sistema Productivo</b>	<b>Consumo MWh/mes</b>	<b>Circuito</b>	<b>% Acumulado</b>
HOSPITAL PROV.C.CIENFUEGOS 1	780,000	111	
PASTEURIZADORA BANCO 2	680,000	1180	
CONSERVA DE VEG 2	580,000	1180	
CONSERVA DE VEG 1	500,000	1180	
STADIUM JOSE A. HUELGA	500,000	112	
ESTACION BOMBEO # 1	430,000	3010	
PASTEURIZADORA BANCO 1	380,000	1180	
IND PESQUERA INDUPIR	350,000	3010	
INDUSTRIA PESQUERA	330,000	74	
P.P.A YAYABO	320,000	121	



	000		
PCC.PROVINCIAL B-230	300,0 000	111	
POLIDEPORTIVO YAYABO	300,0 000	112	
PLANTA BALDOSAS	240,0 000	119	
PLANTA ASFALTO 440	200,0 000	119	
COMBINADO CARNICO	240,0 000	3010	
VILLA DEPORTIVA	217,0 000	119	
DTSS EDIFICIO PPAL	210,0 000	111	
SUB.UNIDAD MILITAR # 2	200,0 000	111	
BANDEC SS	190,0 000	112	

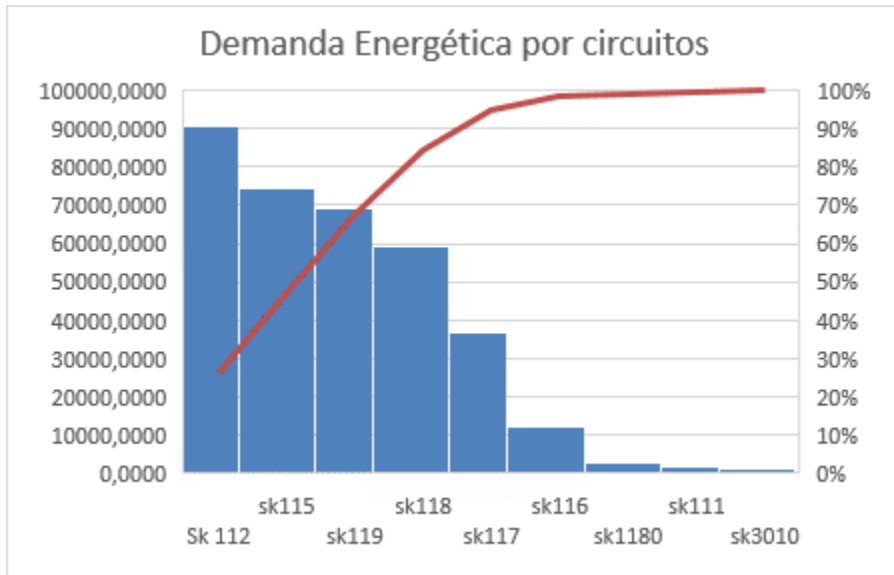
A continuación en la [Figura 3.4](#) se muestra la Matriz Energética del municipio de Sancti Spíritus en cuanto a la generación de energía eléctrica mediante combustibles fósiles y fuente renovable de energía:



**Figura 3.4.** Potencia Instalada de Energía

Teniendo en cuenta los consumos existentes en el municipio de Sancti Spíritus y para la identificación de los circuitos mayores consumidoras de electricidad se analizó el consumo promedio de los principales sistemas productivos para la elaboración del diagrama de Pareto mostrado en la [Figura 3.5](#), donde se identificará el orden de prioridad a la hora de seleccionar los principales escenarios a implementar las FRE, a partir de los datos recogidos por la Empresa Eléctrica Municipal :

**Figura 3.5.** Diagrama de Pareto



Como se muestra en la [Figura 3.5](#) si logramos disminuir los consumos de combustibles fósiles en los circuitos 112,115; 119 y sk118 lograremos dar solución al 85% de los consumos de Diésel en el municipio.

### 3.2.3 Fuentes de Generación de Energía Eléctrica aislados del Sistema Electroenergético Nacional:

El municipio no cuenta con fuentes de generación aisladas del sistema electroenergético nacional.

## 3.3 Etapa II: Identificación de Experiencias Positivas

3.3.1 Los principales tipos de residuos que se encuentran en municipio objeto de estudio son los siguientes:

### **Residuos porcinos:**

En el municipio de Sancti Spíritus existe un gran potencial biodegradable proveniente de los residuos pecuarios en este caso porcinos ricos en metano. Se analizaron todas las unidades porcinas del municipio, convenios porcinos o cochiqueras existentes, aunque los convenios no son muy factibles a utilizar pues el tiempo de duración es corto -5 meses- y aunque muchas veces los convenistas deciden hacer una renovación del convenio, estas condiciones no son fiables, pero no obstante a esta situación del mismo modo se deben analizar. Todas las entidades antes mencionadas pertenecen a distintas CCS y están en convenio con la empresa porcina del municipio y en algunos casos poseen gran cantidad de residuales que se deben tener en cuenta. De igual forma se analizan las excretas provenientes de 1 Unidad Empresarial de Base (UEB).

Primeramente se debe elaborar el inventario del movimiento de rebaño de cada una de las unidades porcinas, luego se calcularon aproximadamente las cabezas de animales equivalentes a 50 y 3.3 Kg respectivamente, pues según (Sánchez 1993) este es el peso a tener en cuenta para el cálculo de biogás.

En el [Anexo](#) se relacionan las cantidades de excretas e índices de producción de biogás tomados como referencia para determinar el nivel de m<sup>3</sup> de biogás que se obtiene al día en cada una de las trazas a la que pertenece la unidad porcina; en la [Tabla 3.4](#) se muestran la cantidad de unidades porcinas según el circuito al que pueden entregar Energía Eléctrica para el Sistema Electroenergético Nacional (Kenneth Thomsen):

**Tabla 3.4.** Distribución porcina.

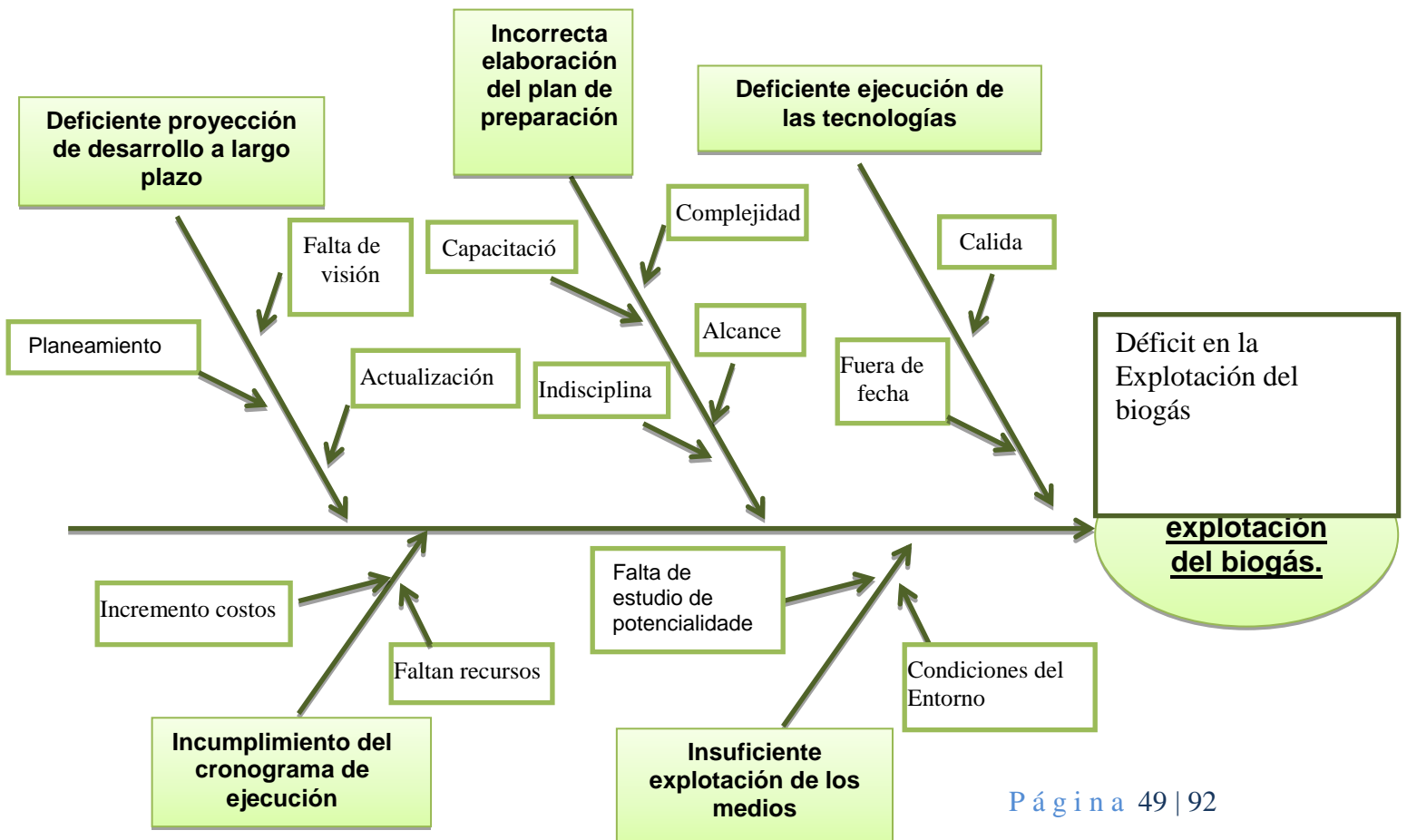
<b>Circuitos</b>	<b>Cabezas</b>	<b>%Acumulado</b>
3010	9191	0,773458
112	424	0,035681

115	193	0,016242
117	279	0,023479
118	500	0,042077
119	1031	0,086763
116	265	0,022301
Total	11883	0,773458

### 3.3.2 Diagrama de Ishikawa

Resultado de los factores fundamentales que influyen en la utilización del biogás en el municipio Sancti Spiritus.

Fuente: Elaboración propia.



### 3.3.3 Estimación de la cantidad de biogás que se puede obtener:

Para la determinación del Potencial Energético existente en el municipio se utiliza el [Anexo](#) con los indicadores a utilizar para la obtención de m<sup>3</sup> de biogás en cada una de las trazas según el potencial identificado; para ello se utiliza la expresión 3.1 y 3.2:

$$Vb = U * PVP * \%R * \% SV * Bsv \quad (\text{Expresión 3.1})$$

Donde:

Vb: Valor biogás al día (m<sup>3</sup>biogás/d)

U: Unidades (Unidades)

PVP: Peso vivo promedio (kg)

% R: Porcentaje de excretas más orina (%)

% SV: Porcentaje de Sólidos Volátiles (%)

Bsv: Índice de producción de biogás (m<sup>3</sup>/kg SV)

A partir de la utilización de la Expresión 3.1 se calcula el potencial; ver en el Anexo 31:

#### Residuos Pecuarios

##### Porcino

Vb (traza 3010)= 2604,01m<sup>3</sup>biogás/d.

Vb (circuito 112 )= 53,19 m<sup>3</sup>biogás/d.

Vb (traza 115)= 39.83 m<sup>3</sup>biogás/d.

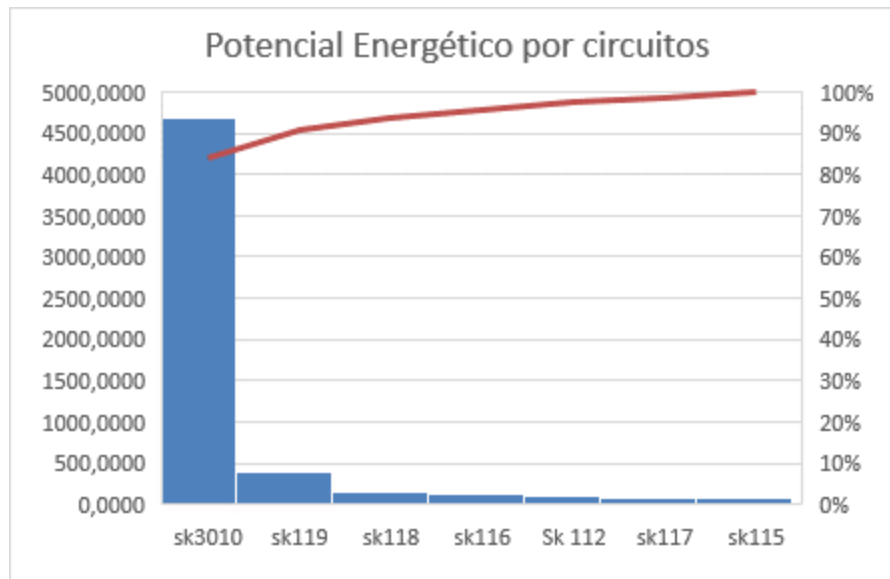
Vb (circuito 117 )= 39,178 m<sup>3</sup>biogás/d.

Vb (circuito 118 )= 90.57 m<sup>3</sup>biogás/d.

Vb (circuito 119 )= 214.93m<sup>3</sup>biogás/d.

$V_b$  (circuito 116) = 64.64 m<sup>3</sup>biogás/d.

**Figura 3.6. Diagrama de Pareto.**



**Fuente:** Elaboración propia.

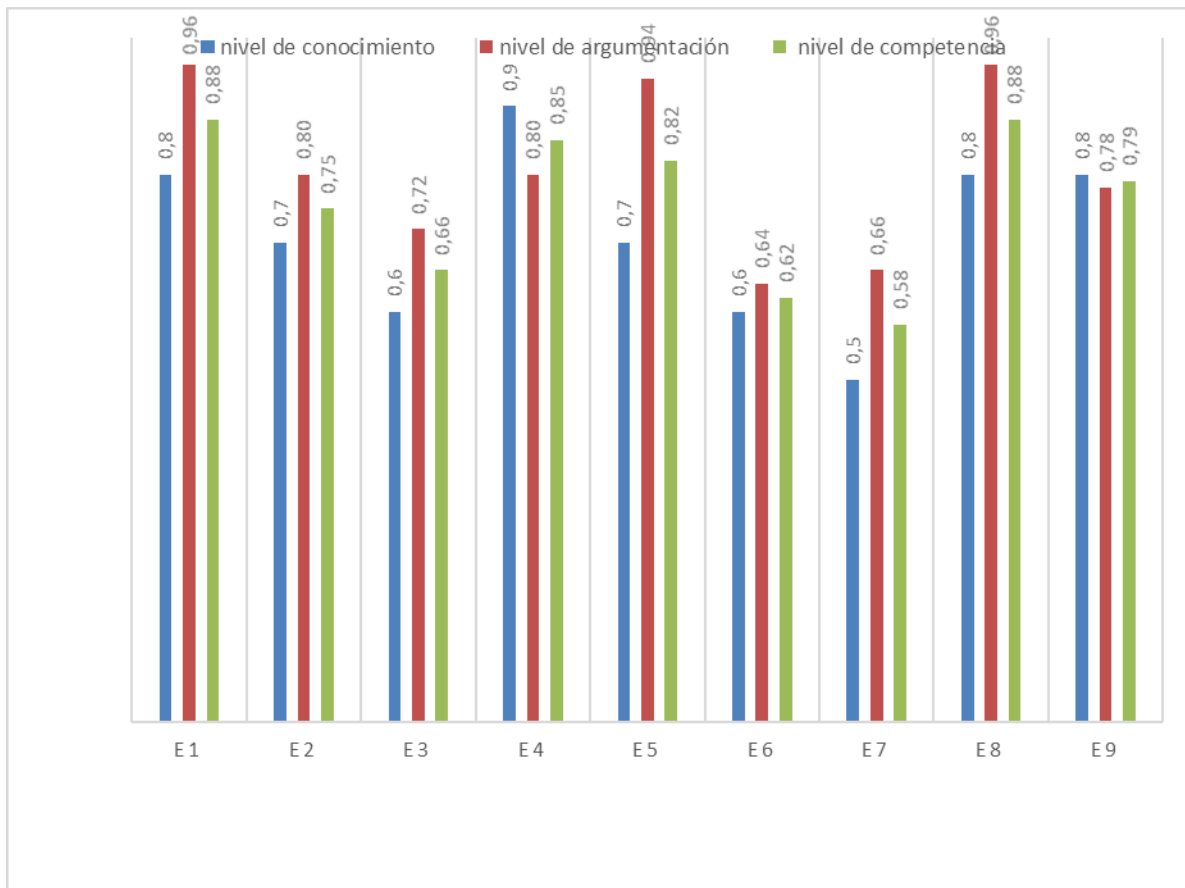
Como se muestra en la Figura 3.6, 1 traza produce el 91% del potencial que se origina diariamente en el municipio. Esta traza es la 3010. Aunque se deberían tomar en cuenta el circuito 119 y el 118 a pesar de que sus potenciales no sean tan elevados como la traza anteriormente mencionada pudieran contribuir al gran consumo que estos respectivos circuitos generan y queda resaltar que la traza 3010 pudiera contribuir a los circuitos 118,119 y 116 gracias a la extensión que tiene esta traza.

### 3.4 Etapa III: Selección de Escenarios Relevantes:

#### 3.4.1 Ponderación de los criterios de relevancia.

Primeramente, para identificar los posibles expertos, a participar en la investigación se realizó una tormenta de ideas, con especialistas y directivos del

Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales (CEEPI). Como resultado de esta actividad, se identificaron un total de 9 posibles expertos, cuyos datos aparecen en el Anexo # 4. El nivel de competencia de los expertos propuestos, arrojó los resultados que se muestran en la Figura 3.4.



**Figura 3.4:** Evaluación del nivel de competencia de los expertos.

**Fuente:** Elaboración propia.

Posteriormente, una vez evaluado el nivel de competencia de los expertos se determina la cantidad de expertos necesarios para la investigación. Para un nivel de confianza del 99%, con una proporción estimada del error de los expertos ( $p$ ) de 0,01 y una precisión ( $i$ ) de 0,1; el número de expertos ( $N_e$ ) resultó ser 6,5898, el que se aproxima a 7 expertos. Finalmente, se seleccionaron 7 expertos entre



los nueve propuestos, a partir del nivel de competencia que estos poseen. Todos los expertos seleccionados alcanzaron un nivel de competencia entre medio y alto, siendo alto para más de 50%.

### **3.4.2 Aplicación de métodos multicriteriales de selección**

En cumplimiento de los pasos establecidos en el capítulo 2, se procede a seleccionar el escenario más relevante.

#### Paso1: Definir los escenarios o alternativas.

Los escenarios fueron conformados de la siguiente forma:

- Escenario 1 (E1): Traza 3010
- Escenario 2 (E2): Circuito SK 112
- Escenario 3 (E3): Circuito SK 117
- Escenario 4 (E4): Circuito SK 118
- Escenario 5 (E5): Circuito SK 119
- Escenario 6 (E5): Circuito SK 116

#### Paso 2: Definir los criterios de decisión (7±2).

Los criterios a tener en cuenta para la evaluación de los escenarios fueron:

- Criterio 1 (C1): *Potencial Existente*; se refiere al volumen total de biogás en Kwh, por cada escenario.
- Criterio 2 (C2): *Demanda Energética*; se refiere al consumo de los principales sistemas productivos del escenario.
- Criterio 3 (C3): *Distancia del punto terminal*; indica la distancia promedio a la que se encuentran los potenciales del punto de interconexión con el SEN, dentro del escenario.
- Criterio 4 (C4): *Número de Experiencias previas en Cuba*; se refiere a la cantidad de experiencias existentes en el país del potencial evaluado.
- Criterio 5 (C5): *Prioridad*; se refiere al nivel de prioridad, que pudiera tener en el territorio, la implementación de la FRE.

- Criterio 6 (C6): *Articulación con otros proyectos locales*; se relaciona con la incidencia que pueda tener la implementación de la FRE, con otros proyectos de desarrollo ya existentes.
- Criterio 7 (C7): *Daños Ambientales*; se refiere al daño ambiental que provoca el potencial.
- Criterio 8 (C8): *Percepción de los Actores*; se refiere a la actitud que poseen los habitantes y actores locales para la implementación de las FRE (aspiraciones, aceptación de la tecnología, condiciones socio-económicas entre otras).

Paso 3: Evaluación de cada alternativa según cada criterio.

Para dar cumplimiento a este paso se asignaron los valores para conformar la matriz original.

**Tabla 3.11:** Matriz original formada.

Crit. / Esc.	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
<b>C 1</b>	4687,22	95,74	72,00	162,00	385,00	116,60
<b>C 2</b>	1258,00	90777,00	36617,00	59145,00	69092,00	12166,00
<b>C 3</b>	600	150	600	400	600	500
<b>C 4</b>	2,40	2,50	2,40	2,50	2,33	2,33
<b>C 5</b>	2,00	1,00	3,00	1,00	2,00	2,00
<b>C 6</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>C 7</b>	2,00	1,75	1,80	1,75	2,00	1,75
<b>C 8</b>	2,00	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00

**Fuente:** Elaboración propia.

En relación a los datos expuestos en esta tabla 3.11, se tuvo en cuenta criterios de tipo cuantitativos y cualitativos, a los cuales se le asignó una escala de valores para su cálculo. En el caso del criterio C3, es un criterio que está

valorado como un mínimo, o sea, que mientras más pequeño es su valor se considera mejor el escenario, a diferencia del resto de los criterios que, a mayor valor mejor, es el escenario. Por tal motivo se hace necesario la homogenización de la matriz original.

Paso # 4: Obtención de los pesos o importancias relativas de cada criterio. (Ponderación).

Este paso comienza por determinar en nivel de concordancia en el juicio de los expertos, para lo cual se utilizó el coeficiente de Kendall, donde se determinó que  $W = 0,4791$ . A partir de este resultado el cual se encontró por debajo de 0,50, fue necesario entonces aplicar una prueba de hipótesis, para probar el grado de significación de los criterios.

Como resultado de esta prueba de hipótesis, se concluyó:

$$X^2_{calculado} = 23,476 > X^2_{tabla} = 20,090$$

Por tanto, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), puesto que a partir de los resultados obtenidos (Anexo # 9) existen pruebas estadísticas que aseguran concordancia en el juicio de los expertos, para un nivel de confianza del 99%.

Posteriormente, antes de obtener el peso o importancia relativa de los criterios, a partir de lo planteado en el paso # 3, fue necesario homogenizar la matriz original para llevar todos los criterios a máximos. Donde se obtuvo la matriz homogenizada ( $H_{ij}$ ), que es la base de los cálculos posteriores (tabla 3.12).

Crit. / Esc.	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	$\sum H_j$
<b>C 1</b>	4687,22	95,74	72,00	162,00	385,00	116,60	5518,56
<b>C 2</b>	1258,00	90777,00	36617,00	59145,00	69092,00	12166,00	269055,00
<b>C 3</b>	400,00	850,00	400,00	600,00	150,00	500,00	2900,00
<b>C 4</b>	2,40	2,50	2,40	2,50	2,30	2,33	14,43
<b>C 5</b>	2,00	1,00	3,00	1,00	3,00	2,00	12,00
<b>C 6</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	6,00
<b>C 7</b>	2,00	1,75	1,80	1,75	2,00	1,75	11,05
<b>C 8</b>	2,00	1,00	3,00	1,00	3,00	3,00	13,00

En esta matriz se muestran todos los valores convertidos a criterios de máximos, para lo cual se modificó el criterio C3, evidenciándose los mayores valores para las menores distancias de los puntos terminales.

Una vez homogenizada la matriz original, entonces es necesario llevar todos estos valores a una misma unidad de medida, para lo cual se hace necesario normalizar estandarizar la matriz homogenizada. En este punto se obtiene entonces la matriz normalizada ( $N_{ij}$ ).

Crit. / Esc.	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	$\sum N_{ij}$
<b>C 1</b>	0,849	0,017	0,013	0,029	0,070	0,021	1,00
<b>C 2</b>	0,005	0,337	0,136	0,220	0,257	0,045	1,00
<b>C 3</b>	0,138	0,293	0,138	0,207	0,052	0,172	1,00
<b>C 4</b>	0,166	0,173	0,166	0,173	0,159	0,161	1,00
<b>C 5</b>	0,167	0,083	0,250	0,083	0,250	0,167	1,00
<b>C 6</b>	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	1,00
<b>C 7</b>	0,181	0,158	0,163	0,158	0,181	0,158	1,00
<b>C 8</b>	0,154	0,077	0,231	0,077	0,231	0,231	1,00

Luego se procede a determinar los pesos de los criterios ( $W_j$ ) para lo cual se hizo necesario determinar los valores de entropía y la diversidad. Los resultados obtenidos son mostrados en la figura 3.6.

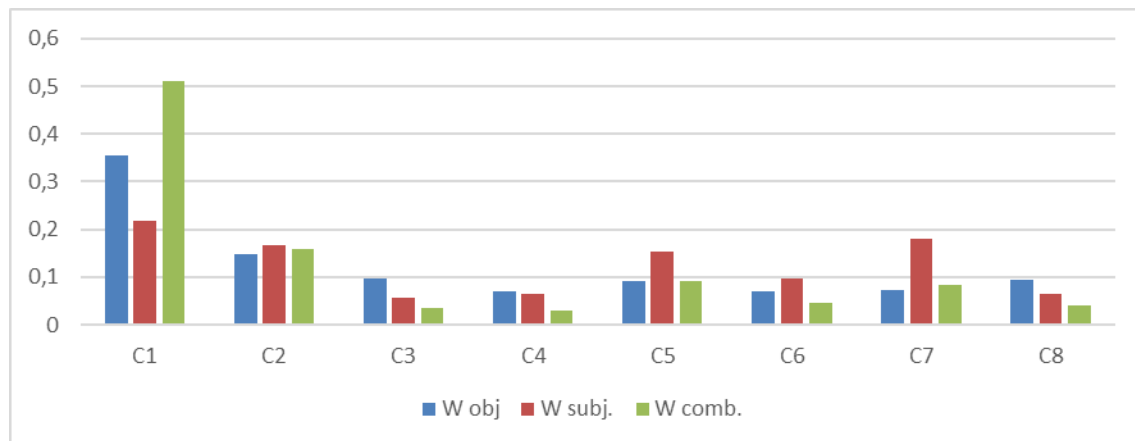


Fig 3. Representación gráfica de la ponderación de los criterios

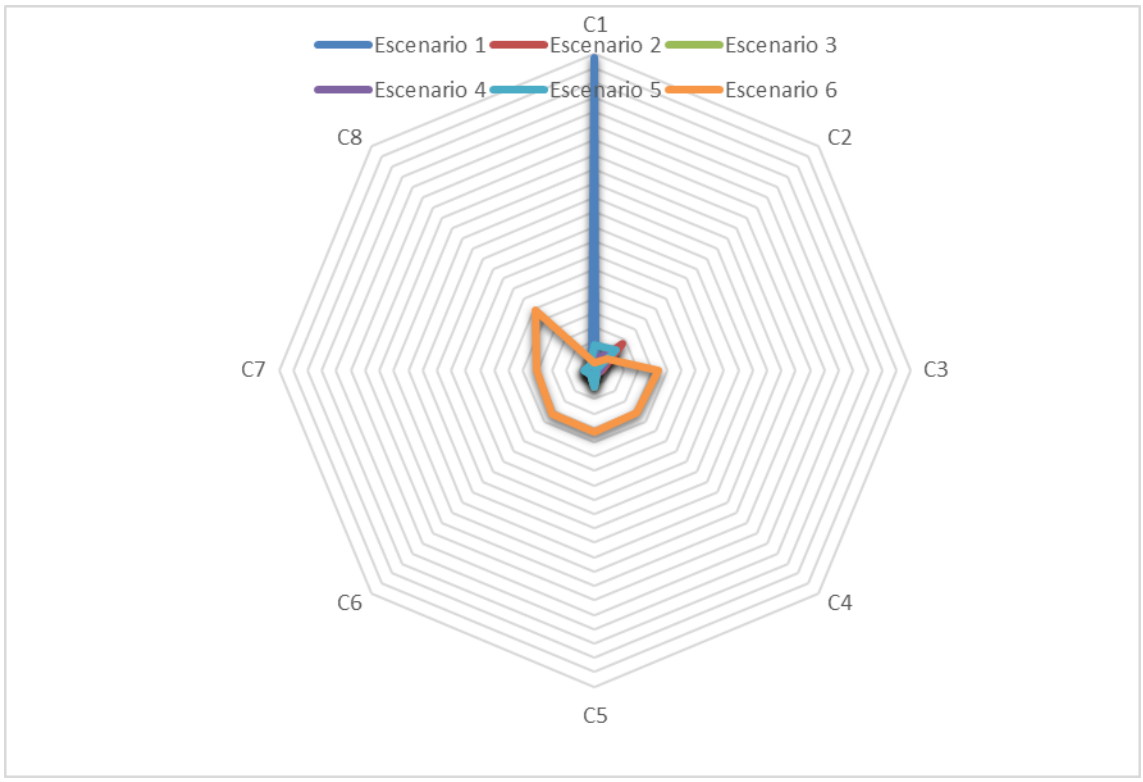
En este gráfico se observa que existe una variabilidad, en cuanto al peso de los criterios. En la representación se destacan los criterios C1, C2, C5 y C7 como criterios de mayor peso.

Paso # 5: Construcción de la matriz de decisión.

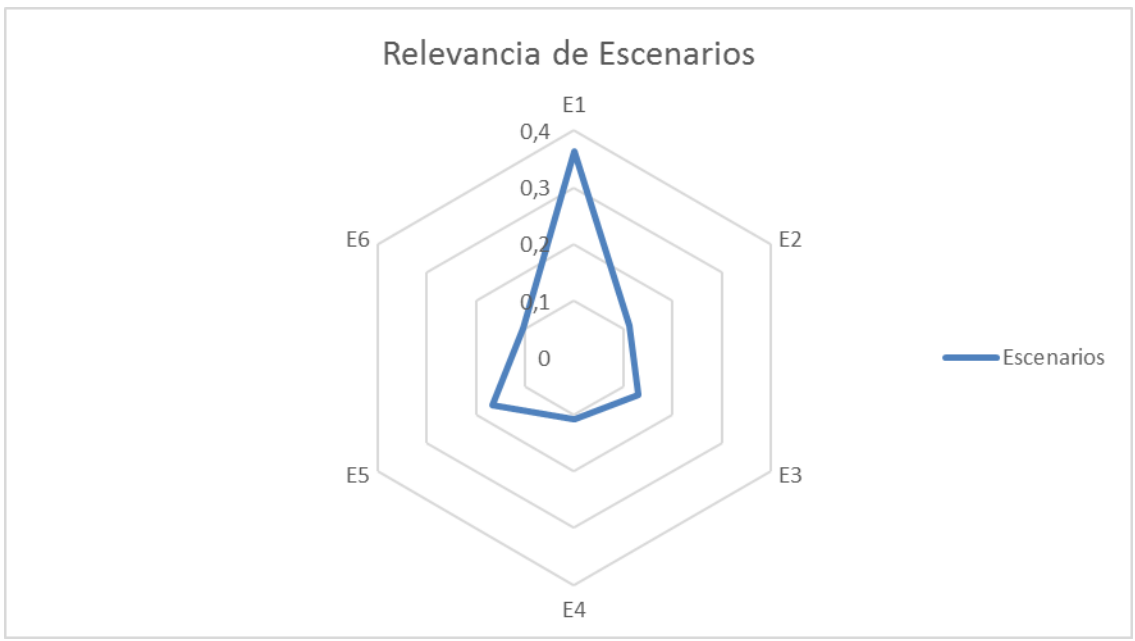
Luego de determinados los valores de los pesos de los criterios, en este paso se construye la matriz de decisión, la cual se muestra en la tabla 3.14

Crit. / Esc.	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	$\sum S_{Pi}$
<b>C 1</b>	0,435	0,009	0,007	0,015	0,036	0,011	0,51
<b>C 2</b>	0,001	0,054	0,022	0,035	0,041	0,023	0,18
<b>C 3</b>	0,005	0,010	0,005	0,007	0,002	0,088	0,12
<b>C 4</b>	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,083	0,11
<b>C 5</b>	0,015	0,008	0,023	0,008	0,023	0,085	0,16
<b>C 6</b>	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,085	0,12
<b>C 7</b>	0,015	0,013	0,014	0,013	0,015	0,081	0,15
<b>C 8</b>	0,006	0,003	0,009	0,003	0,009	0,118	0,15
$\sum S_{Pi}$	0,490	0,110	0,092	0,094	0,139	0,000	

A los datos contenidos dentro de la tabla se le aplicó el método de agregación de suma ponderada o utilidad aditiva (SPi), para definir el escenario más relevante para la implementación de las FRE. En este sentido se profundiza el análisis. La figura 3.7 mostró, los criterios que mayor incidencia presentaron para cada escenario, tal es el caso del escenario 1, donde los criterios C1 y C2, agruparon más del 90% de la suma ponderada.



Representación gráfica de relación entre escenario peso y criterios Fuente: Elaboración propia



Representación de los escenarios relevantes Fuente: Elaboración propia

Resultado de los factores fundamentales que influyen la utilización de las FRE en el municipio Sancti Spíritus.

Como se puede observar en la gráfica, el escenario que mayor relevancia tiene para la implementación de las FRE, a partir de la aplicación de Técnicas Multicriterio, es el escenario 1, que comprende la traza 3010, al que le sigue en segundo lugar el escenario 5 perteneciente al circuito 119y posteriormente el escenario 3 perteneciente al circuito 117.Los demás escenarios presentan un comportamiento igualado.

### **3.4.3Evaluación de las potencialidades**

Para evaluar cada una de las alternativas antes mencionadas se deben tener en cuenta los factores de localización, a través de los cuales se va acotando la selección del lugar en que se localizarán las plantas productoras de energía.

En el caso que se analiza los factores críticos como la disponibilidad de mercado no existe ninguna de las posibles localizaciones en las que este factor pueda eliminarlas de la lista inicial, este factor es muy importante en la decisión de la localización final aunque en esta investigación lo dominan la cantidad de residuo y el volumen de gas que se puede obtener con cada uno de estas, pues teniendo en cuenta que se trata de producción de energía a partir del biogás, por tratarse de una fuente renovable de energía que genera además bioabonos capaces de sustituir agroquímicos causantes del deterioro de los suelos, tiene un mercado seguro para todos sus productos, independientemente del lugar que se seleccione. La energía eléctrica que se produzca en la futura planta debe ser alimentada al Sistema Electro energético Nacional (Kenneth Thomsen) y esta operación se realiza a través de una subestación eléctrica y mientras más cerca esté la planta de la subestación y de los altos consumidores, menores serían la pérdidas por transmisión por la relación que existe entre Generación-Consumo. En cuanto a los factores tangibles como los costos dados por una tecnología determinada, se puede plantear que los suministros que se evalúan, de manera general, son de fácil degradación. Según la propuesta de Barrera Cardoso (2007), para los residuos analizados excepto los RSU, se puede usar la misma tecnología, la de Flujo Ascendente con Manto de

Lodo (UASB), por lo que en el caso objeto de estudio solo traería diferencias en el precio de esta digestión anaerobia de los RSU. Los factores Intangibles que incluyen las actitudes de la comunidad hacia la industria, la calidad y actitud de los empleados, así como otras variables, tales como: el clima, son aspectos no muy fáciles de cuantificar en las posibles localizaciones que se analizan solo se puede plantear que las posibles ubicaciones, se encuentran alejadas de las ciudades, solo existen en los alrededores de algunas de ellas pequeños asentamientos poblacionales, pero vale aclarar que en todos los casos hay fuentes de abasto de agua y de energía, para ser empleadas en la producción de biogás.

Los factores secundarios, como por ejemplo en este caso el orden de prioridad dado a cada suministro en la fase anterior también es importante, en la decisión final de la localización. En resumen, la localización del residual y el volumen de gas que se puede obtener con cada uno de ellos, como aspectos determinantes en la ubicación de la planta de biogás, la localización de los posibles consumidores energéticos y de las fuentes de abasto de agua y energía y el orden de prioridad de cada suministro dado anteriormente, son los factores más importantes considerados en esta investigación.

### **Conclusiones Parciales Capítulo 3:**

Con la culminación de este capítulo, se arriba a las siguientes conclusiones parciales:

1. La caracterización energética mostró la distribución de los circuitos del municipio, evidenciándose que, aunque el sector estatal consume solo el 32% del total, contiene las mayores potencialidades de ahorro por contener los grandes consumidores de energía.
2. Los principales potenciales de biogás existentes fueron los ubicados en la empresa estatal de porcino El pinto, seguido de las cochiqueras pertenecientes a las CSS Heriberto Orellane del circuito 119 y las cochiqueras de las CSS Manolo Solano pertenecientes al circuito 118.
3. Se definen como criterios de decisión de escenarios relevantes, el potencial existente; la demanda energética; la distancia del punto terminal; el número de experiencias previas en Cuba; la prioridad; la articulación con otros proyectos locales; los daños ambientales; y la percepción de los actores.



4. Se logró la ponderación de estos criterios, mostrando que los criterios 1, 2, 5 y 7 (potencial existente; demanda energética, prioridad y daños ambientales) tendrán la mayor repercusión durante la toma de decisiones.

5. Para el municipio Sancti Spíritus, el escenario más relevante es el número 1 (traza 3010), que combinó los mayores potenciales, las menores distancia de los puntos terminales, el alto grado de prioridad y las evidentes afectaciones ambientales.

# *Conclusiones*

## **Conclusiones Generales**

De los resultados obtenidos se arribó a las siguientes conclusiones:

1. La caracterización energética del municipio Sancti Spíritus mostró que las industrias con mayores consumos de electricidad se agrupan en la zona industrial de carretera de zaza, y la zona industrial de colón, así como el bombeo de agua del acueducto, siendo necesaria el apoyo con biodigestores para la producción de electricidad para satisfacer la demanda existente.
2. Los Residuos porcinos evaluados mostraron un gran potencial siendo capaces de producir 47644416 kw al año.
4. El escenario más relevante para la implementación de las FRE, fue el número 1 (traza 3010), donde se lograrían sustituir los mayores consumos de electricidad a partir de los potenciales existentes de biogás.

# *Recomendaciones*

**Recomendaciones:**

1. Aplicar este estudio para otras fuentes renovables de energía renovables.
2. Utilizar todos los medios disponibles por el sector empresarial y el gobierno para implementar proyectos de energía renovables iniciados o concebidos.
3. Profundizar en estudios de potenciales lo referido al potencial técnico realizable.

# *Bibliografía*

## Bibliografía

- Alcázar Quiñones, A. T. (2017). Producción de biogás para el desarrollo sustentable: experiencias en municipios cubanos. *Congreso Universidad, Vol. 6*.
- Asosiation, W. B. (2015). BIOGAS– An important renewable energy source: World Bioenergy Asosiation.
- Barrera-Cardoso, E. L., Carabeo-Pérez, A., Odales-Bernal, L., Contreras-Velázquez, L. M., & López-González, L. (2018). Sistematización de aspectos teóricos sobre las tecnologías de producción de biogás a escala industrial. *Tecnología Química, 38*, 29-45.
- Berriz Luiz. (2016). La política energética cubana. *Energía y tú, 74*.
- Blanco, D., Suárez, J., Jiménez, J., González, F., Álvarez, L. M., Cabeza, E., & Verde, J. (2015). Eficiencia del tratamiento de residuales porcinos en digestores de laguna tapada. *Pastos y Forrajes, 38*, 441-447.
- Bravo Hidalgo, D. (2015). Energía y desarrollo sostenible en Cuba. *Centro Azúcar, 42*, 14-25.
- Cepero, L., Savran, V., Blanco, D., Díaz Piñón, M. R., Suárez, J., & Palacios, A. (2012). Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. *Pastos y Forrajes, 35*, 219-226.
- Claudio A. Estrada Gasca, J. M. I. S., Wilfredo César Flores Castro. (2016). Guía hacia un futuro energetico sustentable para las americas.
- Del Desarrollo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía, 345/2017, Pub. L. No. 345/2017 (2017).
- Ecured. (2018). Energías Renovables *Ecured*.
- Fabio García, B. R., Claudio Carpio, Jaime Guillén, Julio Lopez, Marysol Materán, Michelle Hallack. (2017). Eficiencia energetica en America Latina y El Caribe: Avances y Oportunidades.
- Hugo Lucas, A. L., Miquel Muñoz Cabré. (2017). *SUBASTAS DE ENERGÍA RENOVABLE Y PROYECTOS CIUDADANOS PARTICIPATIVOS: REN21*.
- Janet L. Sawin , K. S., & Sverrisson, F. (2017). AVANZANDO EN LA TRANSICIÓN MUNDIAL HACIA LA ENERGÍA RENOVABLE.
- Justo, E. V. B., & Montoya, E. E. C. (2017). USO DEL ESTIÉRCOL DE ANIMALES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN MOQUEGUA. *REVISTA CIENCIA Y TECNOLOGÍA-Para el Desarrollo-UJCM, 2(4)*, 39-44.
- Linda E. Doman, V. A., & Laura E. Singer, a. o. (2017). International Energy Outlook 2017 (U. S. E. I. Administration, Trans.).
- Luis Berriz. (2015). ¿Cuál pudiera ser el papel de la energía solar fotovoltaica en el desarrollo del país? *renovable.cu, no3 marzo del 2015*.

- Luis Berriz, E. M. (2000). *Cuba y las fuentes renovables de energía* (4ta edición ed.).
- Mendoza, S. H. d. (2013). Criterios de expertos. Su procesamiento a través del método Delphi. Retrieved 1-05, 2019, from [www-ub.edu/histodidactica/index.php](http://www-ub.edu/histodidactica/index.php)
- Merino, L. (2006). Energías Renovables para todos. *Energías Renovables*.
- Núñez J., I. A., A. Alcazar and G. Figueroa. (2013). Higher Education, Innovation and Local Development: Experiences of Cuba. In: Innovation Systems for an inclusive development. *Science and Technology Advisory Committee, BC. LALICS*.
- ONE. (2017). Anuario Estadístico de Cuba 2016. *Minería y Energía*.
- Marrero Delgado, Fernando. (2001). *Procedimientos para la toma de decisiones logísticas con enfoque multicriterio en la cadena de corte, alza y transporte de la caña de azúcar*. (Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias técnicas), ISP JAE, Cuba.
- Ottmar Edenhofer, R. P.-M., Youba Sokona. (2012). RENEWABLE ENERGY SOURCES AND CLIMATE CHANGE MITIGATION SPECIAL REPORT OF THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE SUMMARY FOR POLICYMAKERS AND TECHNICAL SUMMARY: IPCC.
- Riveri, J. (2006). Fidel en Cumbre de Petro Caribe. Retrieved 5 de junio, 2019
- Roche-Delgado, L., Hernández-Touset, J. P., & García-Rodríguez, A. (2017). Diseño conceptual de secador solar a escala piloto para algas marinas. *Tecnología Química*, 37(2), 184-200.
- Sainz Arnau, A. (2018). EBA Annual Report: European Biogas Association.
- Sawin, J. L., Kristin Seyboth, & Sverrisson, F. (2017). *REPORTE DE LA SITUACIÓN MUNDIAL ENERGÍAS RENOVABLES 2017: REN21*.
- Suárez, J., Martín, G., Sotolongo, J., Rodríguez, E., Savran, V., Cepero, L., . . . Machado, R. (2011). Experiencias del proyecto BIOMAS-CUBA. Alternativas energéticas a partir de la biomasa en el medio rural cubano. *Pastos y Forrajes*, 34(4), 473-496.
- Tatiana Castillo, J. G., Luis Mosquera. (2017). *Anuario de 2017 Estadísticas Energéticas*: OLADE.
- Tatiana Castillo, J. G., Luis Mosquera, Targelia Rivadeneira, Katherine Segura, Marco Yujato. (2017). Anuario de 2017 .Estadísticas Energéticas. *OLADE*.
- Turrini, E. (2006). *El Camino del Sol*.
- Vallée Véronique , & Marc, T. (2008). Las fuente renovables de energía en Cuba. *Cubasolar*.
- Venegas Venegas, J. A., Medina Cuéllar, S. E., Guevara Hernández, F., & Castellanos Suárez, J. A. (2017). Biogás: situación actual, potencial de generación en granjas porcinas y beneficios ambientales en Puebla. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8, 1001-1005.
- WBA, & association, W. b. (2015). BIOGAs – An important renewable source of energy. [www.worldbioenergy.org](http://www.worldbioenergy.org): World bioenergy association. world



- Aiteco Consultores, S. (2002). Diagrama de Pareto.
- Martínez, A. A. (2013). *Evaluación técnica -económica para la implementación de una planta de biogás para los residuos de la UEB"Complejo Guayos"*. Universidad Central Marta Abreu. Retrieved from <http://dspace.uclv.edu.cu>
- Mendoza, S. H. d. (2013). Criterios de expertos. Su procesamiento a través del método Delphi. Retrieved 1-05, 2019, from [www-ub.edu/histodidactica/index.php](http://www-ub.edu/histodidactica/index.php)
- ONE. (2017). Anuario Estadístico de Cuba 2016. *Minería y Energía*.
- Christine Lins, L. E. W., Sarah Leitner, Sven Teske (2014). 10 YEARS OF RENEWABLE ENERGY PROGRESS, REN21.
- Kenneth Thomsen, T. J. L. (2007). Basic course for wind turbine industry engineers. Wind turbine loads.
- ONEI (2017). Anuario estadístico 2017 Sancti Spíritus.
- Sánchez, E. F. (1993). "Dirección de la Producción."

*ANEXOS*

**Anexo # 1:**

Encuesta para la evaluación del nivel de competencia de los expertos.

**EVALUACION DEL NIVEL DE COMPETENCIA DEL EXPERTO**

Nombre y Apellidos del Experto: \_\_\_\_\_

Profesión:

Actividad que Realiza:

Años de Experiencia:

A través de la siguiente tabla se realizará una valoración sobre el nivel de experiencia y conocimiento de usted, en cuanto a los criterios que deben considerarse para implementar Tecnologías de Fuentes Renovables de Energía (FRE), como apoyo al desarrollo local en el municipio y en comunidades rurales.

1. Marque con una X, en una escala creciente del 1 al 10, el valor que se corresponde con el grado de conocimiento o información que tiene sobre el tema a estudiar.

<b>Experto \ Escala</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>

2. Valore, marcando con una X en Alto, Medio o Bajo, el nivel de argumentación que usted posee, sobre cada una de las fuentes de argumentación que se exponen en la tabla siguiente.

<b>Fuentes de argumentación o fundamentación</b>	<b>Alto</b>	<b>Medio</b>	<b>Bajo</b>
Análisis teóricos realizados por usted			
Su experiencia obtenida			
Trabajos de autores nacionales			
Trabajos de autores extranjeros			

Su conocimiento del estado del problema en el extranjero			
Su intuición			

**Anexo # 2:**

Encuesta para la evaluación de los criterios, según la importancia asignada por el experto a cada criterio.

**PONDERACION DE INDICADORES**

Se pretende, teniendo en cuenta su conocimiento como experto en el tema, ponderar los criterios que definen un escenario como relevante para la implementación de fuentes renovables de energía. Para ello necesitamos que los ordene por orden de importancia (en una escala de 1 a 8), dando 1 al más importante y 8 al menos importante, sin repetir ninguno de los valores.

Su aporte será decisivo para la proyección de cada territorio por lo que confiamos en su nivel de compromiso en esta ponderación. Los elementos que contiene cada uno de los criterios se exponen al final del documento.

<b>Criterios</b>	<b>Importancia</b>
Potencial existente	
Demanda energética	
Distancia de los puntos terminales	
No de experiencias previas en Cuba	
Prioridad	
Articulación con otros proyectos	
Daños ambientales	
Percepción de los actores	

**Potencial existente:** Se refiere a existencia de una fuente renovable que no se explota y que su utilización podría generar energía.

**Demanda energética:** Se refiere a la necesidad de cubrir consumos energéticos en los diferentes sectores y a diferentes escalas. (ej.: en empresas altas consumidoras, comunidades rurales, mini-industrias, sistemas agrícolas, instituciones educacionales o de la salud).

**Distancia de los puntos terminales:** Se refiere a la distancia del potencial con respecto al punto terminal de la red más cercano.

**No de experiencias previas en Cuba:** Se refiere la cantidad de experiencias que existen en el uso de una FRE para cubrir determinada demanda en el país.

**Prioridad:** El grado de importancia que le otorgan los gobiernos locales, las empresas, las instituciones, el sector privado y otros a la implementación de las FRE en un escenario.

**Articulación con otros proyectos:** Posible apoyo a proyectos de desarrollo local que utilizan recursos fósiles para su funcionamiento.

**Daños ambientales:** presencia de emisiones sólidas, líquidas o gaseosas al entorno (ej.: suelo, atmósfera, agua).

**Percepción de los actores:** considera factores subjetivos como el nivel de aceptación de la tecnología, la actitud de los involucrados, nivel educacional, tiempo disponible, etc.

**Anexo # 3:**

Tabla resumen de las importancias asignadas por los expertos a cada criterio.

Criterios \ Expertos	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6	Criterio 7	Criterio 8
Experto 1	1	5	6	7	2	3	4	8
Experto 2	6	5	7	4	1	3	2	8
Experto 3	6	1	7	5	3	4	2	8
Experto 4	1	5	6	7	2	3	4	8
Experto 5	1	5	6	8	2	3	4	7
Experto 8	3	4	5	8	2	7	1	6
Experto 9	1	4	7	8	6	2	3	5
Experto 1	1	5	6	7	2	3	4	8
Experto 2	6	5	7	4	1	3	2	8

**Anexo # 4:** Relación de los expertos identificados inicialmente.

Experto	Nombre y Apellidos	Profesión	Especialidad	Entidad	Años de Experiencia	Grado Científico
Experto 1	David Calzada Jiménez	Ing. Químico	Medio Ambiente	UMA-CITMA	35	MSc.
Experto 2	Elizabeth Pérez Díaz	Lic. Socio Cultural	Prog. Desarrollo.	AMPP	5	.....
Experto 3	Nidia Ramírez González	Ing. Forestal	Medio Ambiente	CITMA	24	MSc.
Experto 4	Julio Pedraza Garciga	Ing. Químico		CEEPI	35	Dr. C
Experto 5	Javier A. García González	Ing.				
Experto 6	Yasmany Rodríguez Carménate	Ing. Eléctrico	Comercial	OBE	5	.....
Experto 7	Jesús M. Fernández Olmo	Téc. Medio	Operaciones	OBE	5	.....
Experto 8	Sinaí Boffill	Ing.	Desarrollo Local	AMPP	11	Dr. C
Experto 9	Jorge L. Issac Pino	Ing.	Especialista de FRE	MINEM	41	.....

### Anexo 5: Cálculo de nivel de concordancia de los expertos.

Cálculo del nivel de concordancia en el juicio de los expertos y los valores de  $X^2$

Expertos	Factores								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	1	5	6	7	2	3	4	8	
2	6	5	7	4	1	3	2	8	
3	6	1	7	5	3	4	2	8	
4	1	4	8	7	5	6	2	3	
5	2	1	7	4	5	8	3	6	
8	3	4	5	8	2	7	1	6	
9	1	4	7	8	6	2	3	5	
$\sum R_j$	20	24	47	43	24	33	17	44	
$T = 1/2 * (n+1) * K_{exp}$	31,5								
$\Delta = \sum R_j - T$	-11,5	-7,5	15,5	11,5	-7,5	1,5	-14,5	12,5	$S = \sum \Delta^2$
$\Delta^2$	132,25	56,25	240,25	132,25	56,25	2,25	210,25	156,25	986
$W = 12 * \sum \Delta^2 / K_{exp}^2 * (n^3 - n)$	0,47911								
$x^2_{calculado} = K_{exp} * W * (n - 1)$	23,476								
$x^2_{\alpha, k-1}$	20,090								

**Anexo # 6 Calculo de nivel de competencia**

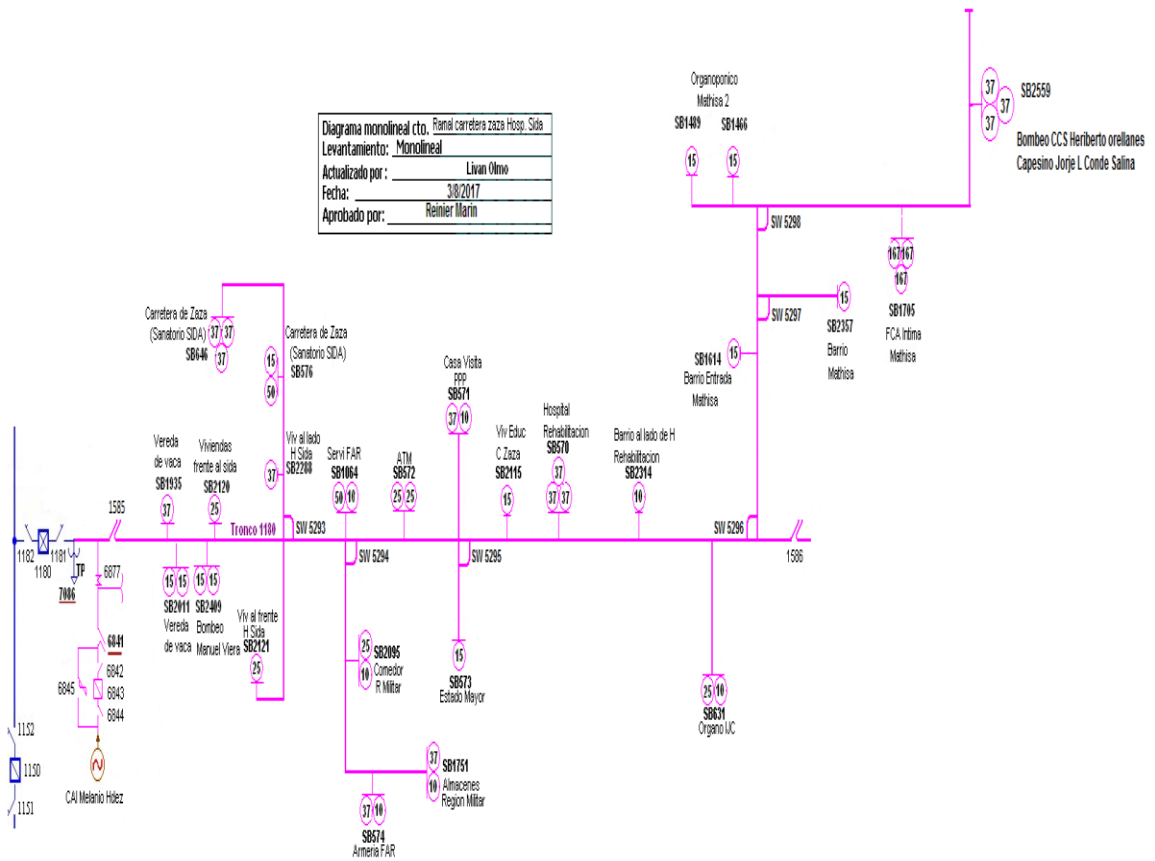
Indicadores / Expertos	David Calzada	Nidia Ramirez	Elizabeth Pérez	Julio Pedraza	Javier García	Yasmany Rodríguez	Jesús Fernández	Sinaí Boffil	Jorge L. Issac Pino
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
<b>N</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>8</b>
Coeficiente de conocimiento Kc	0,8	0,7	0,6	0,9	0,7	0,6	0,5	0,8	0,8
Coeficiente argumentación Ka	0,96	0,80	0,72	0,80	0,94	0,64	0,66	0,96	0,78
Coeficiente de competencia K	0,88	0,75	0,66	0,85	0,82	0,62	0,58	0,88	0,79
	alto	medio	medio	alto	alto	medio	medio	alto	medio

**Anexo # 7 tabla de distribución chi-cuadrado**

Tabla Distribución Chi-cuadrado ( $\chi^2$ ). P(X ≥ x)

P	0.99	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.30	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001
v=1	0.000	0.004	0.016	0.036	0.064	0.102	1.074	1.642	2.072	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879	10.828
2	0.020	0.103	0.211	0.325	0.446	0.575	2.408	3.219	3.794	4.605	5.991	7.378	9.210	10.597	13.816
3	0.115	0.352	0.584	0.798	1.005	1.213	3.665	4.642	5.317	6.251	7.815	9.348	11.345	12.838	16.266
4	0.297	0.711	1.064	1.366	1.649	1.923	4.878	5.989	6.745	7.779	9.488	11.143	13.277	14.860	18.467
5	0.554	1.145	1.610	1.994	2.343	2.675	6.064	7.289	8.115	9.236	11.070	12.833	15.086	16.750	20.515
6	0.872	1.635	2.204	2.661	3.070	3.455	7.231	8.558	9.446	10.645	12.592	14.449	16.812	18.548	22.458
7	1.239	2.167	2.833	3.358	3.822	4.255	8.383	9.803	10.748	12.017	14.067	16.013	18.475	20.278	24.322
8	1.646	2.733	3.490	4.078	4.594	5.071	9.524	11.030	12.027	13.362	15.507	17.535	20.090	21.955	26.124
9	2.088	3.325	4.168	4.817	5.380	5.899	10.656	12.242	13.288	14.684	16.919	19.023	21.666	23.589	27.877
10	2.558	3.940	4.865	5.570	6.179	6.737	11.781	13.442	14.534	15.987	18.307	20.483	23.209	25.188	29.588
11	3.053	4.575	5.578	6.336	6.989	7.584	12.899	14.631	15.767	17.275	19.675	21.920	24.725	26.757	31.264
12	3.571	5.226	6.304	7.114	7.807	8.438	14.011	15.812	16.989	18.549	21.026	23.337	26.217	28.300	32.909
13	4.107	5.892	7.042	7.901	8.634	9.299	15.119	16.985	18.202	19.812	22.362	24.736	27.688	29.819	34.528
14	4.660	6.571	7.790	8.696	9.467	10.165	16.222	18.151	19.406	21.064	23.685	26.119	29.141	31.319	36.123
15	5.229	7.261	8.547	9.499	10.307	11.037	17.322	19.311	20.603	22.307	24.996	27.488	30.578	32.801	37.697
16	5.812	7.962	9.312	10.309	11.152	11.912	18.418	20.465	21.793	23.542	26.296	28.845	32.000	34.267	39.252
17	6.408	8.672	10.085	11.125	12.002	12.792	19.511	21.615	22.977	24.769	27.587	30.191	33.409	35.718	40.790
18	7.015	9.390	10.865	11.946	12.857	13.675	20.601	22.760	24.155	25.989	28.869	31.526	34.805	37.156	42.312
19	7.633	10.117	11.651	12.773	13.716	14.562	21.689	23.900	25.329	27.204	30.144	32.852	36.191	38.582	43.820
20	8.260	10.851	12.443	13.604	14.578	15.452	22.775	25.038	26.498	28.412	31.410	34.170	37.566	39.997	45.315
21	8.897	11.591	13.240	14.439	15.445	16.344	23.858	26.171	27.662	29.615	32.671	35.479	38.932	41.401	46.797
22	9.542	12.338	14.041	15.279	16.314	17.240	24.939	27.301	28.822	30.813	33.924	36.781	40.289	42.796	48.268
23	10.196	13.091	14.848	16.122	17.187	18.137	26.018	28.429	29.979	32.007	35.172	38.076	41.638	44.181	49.728
24	10.856	13.848	15.659	16.969	18.062	19.037	27.096	29.553	31.132	33.196	36.415	39.364	42.980	45.559	51.179
25	11.524	14.611	16.473	17.818	18.940	19.939	28.172	30.675	32.282	34.382	37.652	40.646	44.314	46.928	52.620
26	12.198	15.379	17.292	18.671	19.820	20.843	29.246	31.795	33.429	35.563	38.885	41.923	45.642	48.290	54.052
27	12.879	16.151	18.114	19.527	20.703	21.749	30.319	32.912	34.574	36.741	40.113	43.195	46.963	49.645	55.476
28	13.565	16.928	18.939	20.386	21.588	22.657	31.391	34.027	35.715	37.916	41.337	44.461	48.278	50.993	56.892
29	14.256	17.708	19.768	21.247	22.475	23.567	32.461	35.139	36.854	39.087	42.557	45.722	49.588	52.336	58.301
30	14.953	18.493	20.599	22.110	23.364	24.478	33.530	36.250	37.990	40.256	43.773	46.979	50.892	53.672	59.703

## Anexo # 8 Diagrama mono-lineal de circuito 1180

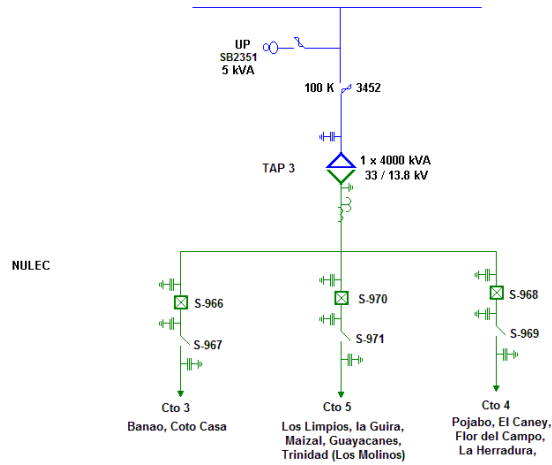




Anexo # 9 Diagrama mono-lineal de sub-estación Banao



# Banao 13 kV

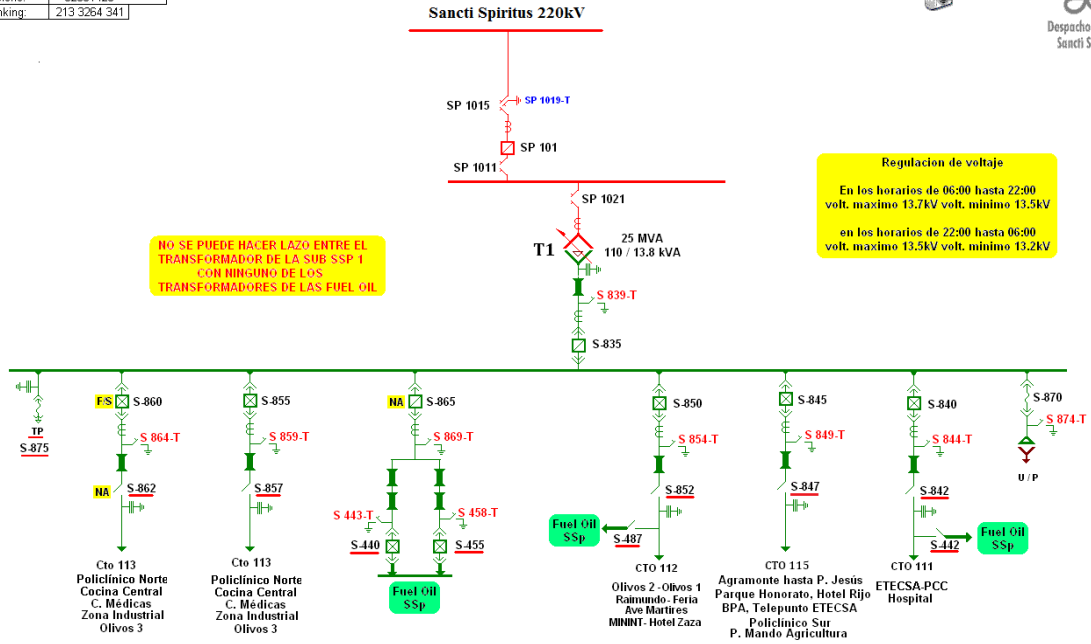


# Anexo # 10 Diagrama mono-lineal de sub-estación Sancti Spiritus-1

## Sancti Spiritus 1 110 / 13.8 kVA

Fecha: 17 / 08 / 2010

Medios de Comunicación	
Teléfono:	52861426
Trunking:	213 3264 341

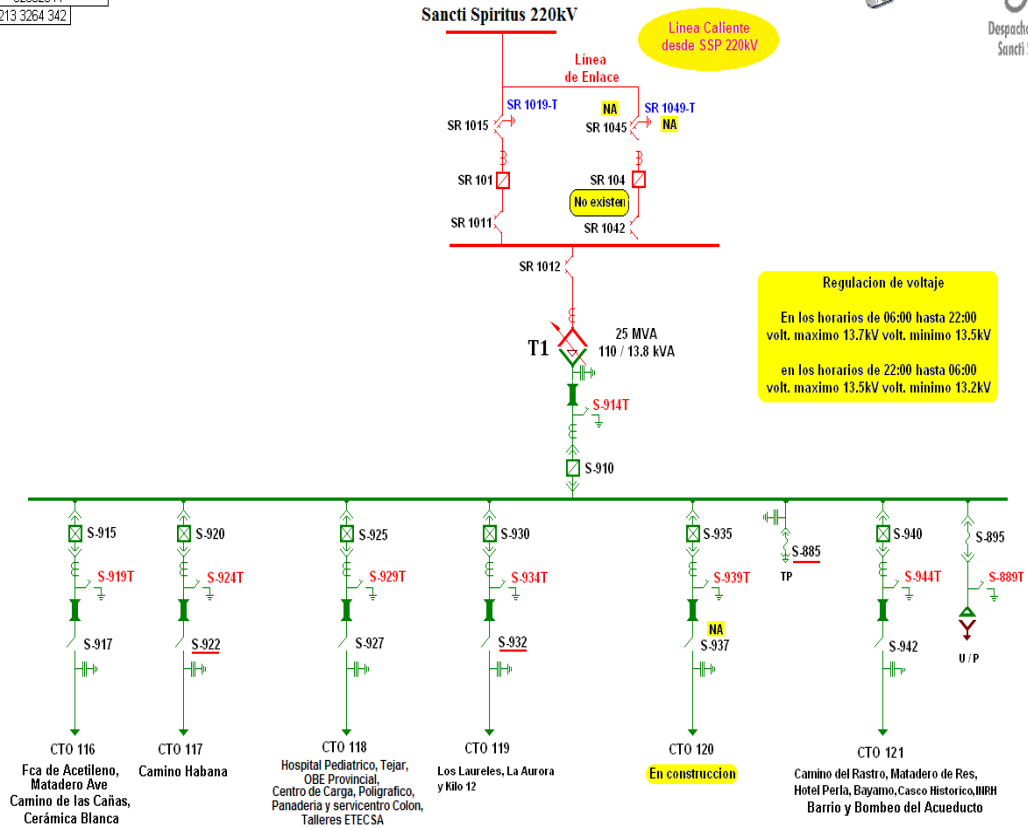


# Anexo # 11 Diagrama mono-lineal de sub-estación Sancti Spiritus-2

Fecha: 07 / 12 / 2010

## Sancti Spíritus 2 110 / 13.8 kVA

Medios de Comunicación	
Teléfono:	52862544
Trunking:	213 3264 342



Anexo # 12 Diagrama mono-lineal de sub-estación El Pinto

# El Pinto 13 kV

