



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 fuentes renovables de energía (FRE) en el municipio de la Sierpe

Autor: Jasiel Palmero Viciado

Tutor: Dr. C. Ing. Ernesto L. Barrera Cardoso

Curso: 2017-2018



Pensamiento

*“Lo que sabemos es una gota, lo
que ignoramos es el océano”.*

Isaac Newton

Dedicataria

A mí madre, por ser la razón de mí existir y que tanto ha contribuido en mi formación.

A la memoria de mi padre, que estaría muy orgulloso.

A mi esposa y mi pequeña niña, por ser tan importantes en mi vida.

Agradecimientos

Agradecer, es siempre una tarea difícil, pero quisiera agradecer:

A mi tutor Ernesto Barrera por su incondicional apoyo en la realización de este proyecto.

Al colectivo de profesores de la carrera por haberme guiado durante estos años.

A mi mamá, mi esposa y mi niña, por su comprensión y apoyo en todo momento.

A mis hermanos por su colaboración, para lograr este empeño.

A mis colegas de clases, especialmente Yitsy y Carlito por su apoyo durante toda la carrera.

A todas aquellas personas que de una forma u otra contribuyeron al desarrollo de este proyecto.

A todos infinitas GRACIAS.....

Resumen

Resumen

El agotamiento de las reservas de combustible, conlleva al empleo de fuentes renovables de energía (FRE). 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. Este trabajo, pretende identificar los escenarios relevantes para la implementación de FRE, como apoyo al desarrollo local del municipio La Sierpe. En tal sentido se utilizaron diferentes herramientas (revisión de la bibliografía, recopilación y análisis de la información, visitas de campo, 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 arroceras y el bombeo de agua, mientras que los mayores potenciales de FRE lo conforman los residuos agroindustriales arroceros y los residuales pecuarios. De esta forma y en función de un grupo de criterios, se identificaron los escenarios 3, 5 y 2 como relevantes para la implementación de FRE en el municipio.

Abstract

Abstract

The depletion of fuel reserves, leads to the use of renewable energy sources (ERP). 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 ERP, as support for the local development of La Sierpe 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 rice activities and water pumping, while the greater potentials of ERP are agro-industrial waste rice and livestock waste. In this way and according to a group of criteria, scenarios 3, 5 and 2 were identified as relevant for the implementation of ERP in the municipality.

Índice

Índice

Introducción	1
Capítulo 1. Marco Teórico Referencial	5
1.1 Introducción	5
1.2 Situación energética	5
1.3 Fuentes Renovables de Energía (conceptualización).....	13
1.4 Generación de energía a partir fuentes renovables	15
1.5 Situación de las (FRE)	18
1.5.1 Situación de las FRE en Sancti Spíritus	22
1.6 Situación energética del municipio	22
1.7 Las FRE como apoyo al desarrollo local	23
Capítulo 2. Materiales y Métodos	24
2.1 Introducción	24
2.2 Etapa 1: Caracterización energética del municipio	25
2.2.1 Descripción general del municipio	26
2.2.3 Fuentes de generación aislada de energía en el territorio	26
2.3 Etapa 2: determinación de los potenciales de FRE existentes	27
2.3.1 Clasificación de los potenciales de de FRE existentes	28
2.3.2 Estimación del potencial energético	32
2.4 Etapa 3: Selección de los escenarios más relevantes, para la implementación de las FRE	37
2.4.1 Ponderación de los criterios de relevancia	37
2.4.2 Aplicación de métodos multicriteriales de selección	39
Capítulo 3. Resultados y Discusión	47
3.1 Introducción	47
3.2 Caracterización energética del municipio	47
3.2.1 Descripción general del municipio	47
3.2.2 Caracterización del consumo energético	49
3.2.3 Fuentes de generación aislada de energía en el territorio	56
3.3 Determinación de los potenciales de FRE existentes	57

3.3.1 Clasificación de los potenciales de de FRE existentes	57
3.3.2 Estimación del potencial energético	59
3.4 Selección de escenarios relevantes para la implementación de las FRE	63
3.4.1 Ponderación de los criterios de relevancia	63
3.4.2 Aplicación de métodos multicriteriales de selección	64
Conclusiones Generales	71
Recomendaciones	72
Bibliografía	
Anexos	

Introducción

INTRODUCCIÓN

Resulta difícil, mencionar la evolución del hombre y el desarrollo de la humanidad sin mencionar a la par, el uso de la energía en cualquiera de sus manifestaciones, como fuente impulsora del progreso durante el transcurso de la historia. Desde la antigüedad el hombre se vio necesitado de utilizar la energía en aras de perfeccionar y mejorar su trabajo y satisfacer sus necesidades.

Estas necesidades energéticas fueron en aumento, a partir de la evolución del hombre primitivo a recolector, cazador, agricultor y al hombre moderno de la sociedad industrial. En este afán pasó del uso de su propia fuerza muscular, a la domesticación de los animales, para utilizar su energía en mover las cargas que para él eran imposibles y al descubrimiento y uso del fuego (García, 2010).

Sólo que en un inicio, el fuego se producía a partir de la biomasa y luego con el descubrimiento del carbón, el petróleo y el gas natural, el hombre aprendió a utilizarlo para producir otras fuentes secundarias de energía, como el vapor y la electricidad, que constituyen máximas en la denominada era tecnológica.

Diversas son las fuentes energéticas con que cuenta la humanidad, pero su control y las formas de utilizarlas, representa el elemento que nos ha conducido al esquema energético global actual. El cual se basa en el empleo de los combustibles fósiles; que no son renovables, que son contaminantes en alto grado, concentrados en pocas regiones de la tierra, en manos de grandes consorcios transnacionales y utilizados de forma ineficiente e irracional (Romero, 2005).

Esta situación aparejada del aumento de la población mundial y el desarrollo industrial que vive la humanidad, ha causado un crecimiento en la demanda energética, lo cual impacta en varias esferas de la sociedad, tanto económicas, políticas como sociales. Este decrecimiento acentúa la dependencia de una fuente energética que inevitablemente se agotará y que provoca cambios en el comportamiento climático del planeta.

De ahí, la urgente necesidad de obtener esos recursos mediante fuentes renovables de energía (FRE). En especial aquellas provenientes de la acción humana sobre la naturaleza, como puede ser el uso de residuos de la agricultura y la agroindustria.

Según González-Velasco (2009), la cantidad de energía que una sociedad consume y la eficiencia con la que la transforma y la utiliza, constituyen hoy en día criterios que permiten diagnosticar su grado de desarrollo. Se han establecido correlaciones entre consumo energético y nivel de vida. Así, se puede afirmar que, en general, el incremento en el nivel de desarrollo de una nación, está asociado a un mayor consumo energético y a una mayor capacidad en el uso y transformación de la energía de forma eficiente.

En tal sentido, dos elementos esenciales en el análisis del panorama actual, es la crisis energética y la preservación del medio ambiente, como pilares fundamentales de los cuales depende la sostenibilidad de la especie humana. Por tal motivo las energías renovables se han establecido en todo el mundo como una importante fuente de energía. Su rápido crecimiento, particularmente en el sector eléctrico, es impulsado por diversos factores, incluyendo el aumento de la rentabilidad de las tecnologías renovables; iniciativas de política aplicada; un mejor acceso al financiamiento; seguridad energética y cuestiones de medio ambiente; demanda creciente de energía en economías en desarrollo y emergentes; y la necesidad de acceso a una energía modernizada.

En consecuencia, en los países en desarrollo surgen nuevos mercados, tanto para la energía renovable centralizada como para la distribuida. A pesar del desplome de los precios de los combustibles fósiles, con la introducción de tecnologías de extracción menos costosas como la Fracturación Hidráulica (Fracking), la utilización de las FRE mostró un crecimiento a nivel mundial, estimado en 147 GW en el año 2015. La cifra más alta registrada hasta la fecha, según el reporte de la situación mundial de energía 2016 (Arthouros, 2016).

En Cuba, la energía renovable constituye una temática presente en todos los análisis, su implementación y desarrollo, resultan de vital importancia para una economía que importa alrededor del 50% del combustible total que consume y cuya producción nacional de crudo, decreció en el año 2015 en un 2,9% (ONEI, 2016). Lo cual incide directamente en la producción total de energía. Por tales motivos el país se ve obligado a continuar en la búsqueda y el empleo de nuevas FRE, que además de reducir costos, sean menos contaminantes.

En tal sentido, el estado cubano ha aprobado importantes documentos y normativas que contemplan objetivos y metas a alcanzar a largo y mediano plazo. Que permitan enfrentar la actual crisis energética que presenta el planeta y de la que no está exenta Cuba. Dentro de estos documentos, un objetivo fundamental es alcanzar para el periodo (2014-2030), un 24% de generación de energía eléctrica, mediante FRE (ANPP, 2014).

En la provincia Sancti Spíritus, se han desarrollado varias acciones en aras de abordar esta temática. Una de las acciones implementadas en esta provincia, además del funcionamiento de la pequeña central hidroeléctrica (PCHE) ZAZA, es la incorporación al Sistema Electro-energético Nacional (SEN), de un nuevo parque fotovoltaico con una capacidad de 1.3 MW, en el municipio La Sierpe (MINEM, 2017). Aunque en el municipio no se ejecutan programas de desarrollo local, la Empresa Agroindustrial de Granos (EAIG) “Sur del Jíbaro”, es su principal industria, que al producir la mayor parte de los insumos de la localidad, consume cantidades considerables de energía y genera toneladas de residuos que podrían utilizarse para la generación de energías limpias.

El programa de apoyo a las fuentes renovables de energía en Cuba, financiado por la Unión Europea, prevé la instalación de proyectos pilotos y demostrativos como apoyo al desarrollo local desde la producción de energías limpias. Sin embargo, un punto de partida importante es la identificación de oportunidades y necesidades en las comunidades para la implementación de las FRE.

Estas consideraciones expuestas anteriormente, generan la siguiente **situación problemática**:

- El municipio La Sierpe, carece de un estudio detallado que le permita el aprovechamiento de sus potenciales de FRE, en función de aportar al desarrollo local.
- 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 que no están cuantificados y que constituyen potenciales para la implementación de las FRE, los que generan un impacto negativo en el medio ambiente.

En tal sentido la investigación presenta como **problema científico**: No se encuentran identificados los escenarios relevantes para la implementación de las FRE en el municipio La Sierpe como apoyo al desarrollo local.

Objetivo general:

Identificar escenarios relevantes para la implementación de las FRE en el municipio La Sierpe como apoyo al desarrollo local.

- **Campo de acción:** Potencialidades de las FRE en el Municipio La Sierpe.
- **Objeto de la investigación:** Las fuentes renovables de energía.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar energéticamente el municipio de La Sierpe, teniendo en cuenta los principales consumos energéticos, las FRE instaladas y las necesidades energéticas existentes.
2. Determinar las potencialidades de las FRE en el municipio La Sierpe.
3. Seleccionar los escenarios relevantes para la implementación de las FRE como apoyo al desarrollo local.

Hipótesis:

Si se caracterizan y se determinan las potencialidades y necesidades energéticas en el municipio La Sierpe, entonces se podrán identificar escenarios relevantes para la implementación de las FRE como al apoyo al desarrollo local.

- **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.

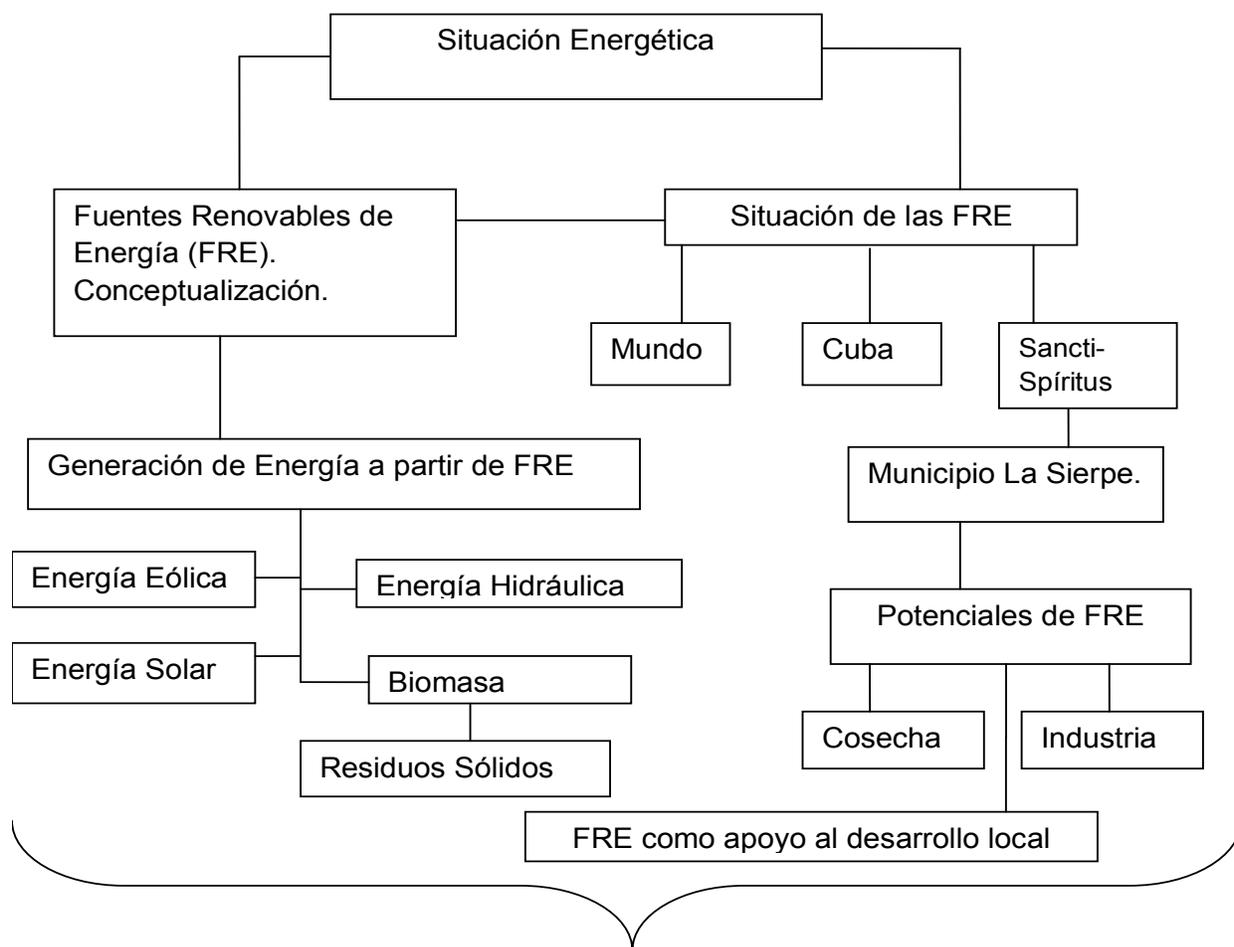
Capítulo 1

CAPITULO I: Marco Teórico Referencial

1.1 Introducción

En este capítulo, se muestran los resultados obtenidos en la revisión de la bibliografía disponible, para determinar la situación energética mundial, las fuentes renovables de energía, las diferentes formas de generación de energía a partir de las FRE. También se analizan las características del municipio La Sierpe, sus potenciales de FRE y la utilización de estos para el apoyo al desarrollo local.

En la figura 1.1, se muestra el hilo conductor de la investigación, desarrollado para la construcción del marco teórico referencial.



Caracterización energética del municipio La Sierpe, para su aporte al desarrollo local a partir de la implementación de FRE.

Figura 1.1 Hilo conductor del Marco Teórico Referencial. **Fuente:** Elaboración propia.

1.2 Situación Energética

Resulta conveniente, definir algunos conceptos básicos y términos que son imprescindibles y que se emplean ampliamente para abordar sobre los combustibles y la energía. Ejemplo de ello es el término “energía”, que cuando se utiliza correctamente, se refiere únicamente al calor y la electricidad, aunque muchas personas también incluyen los combustibles.

Según el Manual de Estadísticas Energéticas, publicado por la Agencia Internacional de Energía (AIE), se define como combustible toda sustancia que se quema para producir calor o electricidad. El calor se deriva del proceso de combustión en el cual el carbono e hidrógeno contenidos en la sustancia combustible se combinan con el oxígeno, liberando calor. La provisión de calor o electricidad, esto es: energía, ya sea en forma mecánica o eléctrica, es la principal razón para quemar los combustibles (OCDE/AIE, 2015).

Según la propia fuente, los productos energéticos o bien se extraen o captan directamente de los recursos naturales (en cuyo caso se les dice primarios) como el petróleo crudo, carbón mineral duro, y gas natural, o son producidos a partir de los productos primarios. Todos los productos energéticos que no son primarios, sino producidos a partir de estos, se clasifican como productos secundarios. La energía secundaria proviene de la transformación de la energía primaria o secundaria. La generación de electricidad quemando combustible es un ejemplo. Otros ejemplos incluyen los productos petroleros (secundarios) producidos a partir de petróleo crudo (primario), el coque de coquería (secundario) a partir del carbón mineral (primario leña) (OCDE/AIE, 2015).

En relación con las fuentes renovables de energía se encuentran numerosas definiciones en la bibliografía técnica, incluido la siguiente, del Manual de Estadísticas Energéticas de la OCDE/AIE (2015); la energía renovable es la que se deriva de procesos naturales que se reponen constantemente. Aunque esta definición pudiera generar ciertas dudas, como por ejemplo cuanto tiempo es necesario para que se repongan, por su sencillez puede resultar útil en esta parte del trabajo, una definición más completa que podrá encontrarse en el epígrafe 1.2.

Otros, como los desechos son un combustible compuesto de muchos materiales que provienen de desechos combustibles, industriales, institucionales, hospitalarios y familiares, como caucho, plásticos, aceites fósiles desechados y otros productos similares.

Otra definición importante a tener en cuenta, es la intensidad energética, que constituye un indicador de eficiencia energética que relaciona el consumo de energía de una economía con su producto interno bruto (PIB). Este indicador se interpreta como la cantidad de unidades de energía que se necesitan para producir una unidad de riqueza (PIB) (Finley, 2018).

Generalmente, el consumo de energía de un país y la eficiencia con que este la transforma, constituyen indicadores para medir su desarrollo (González-Velasco, 2009). Con este punto de vista coincide lo expresado por el Consejo Mundial de Energía, quienes hacen el análisis del crecimiento del producto interno bruto (PIB) y la energía primaria (WEC, 2017), según el gráfico que se muestra a continuación, donde se correlacionan estos indicadores y la intensidad energética (Gráfico 1.1).

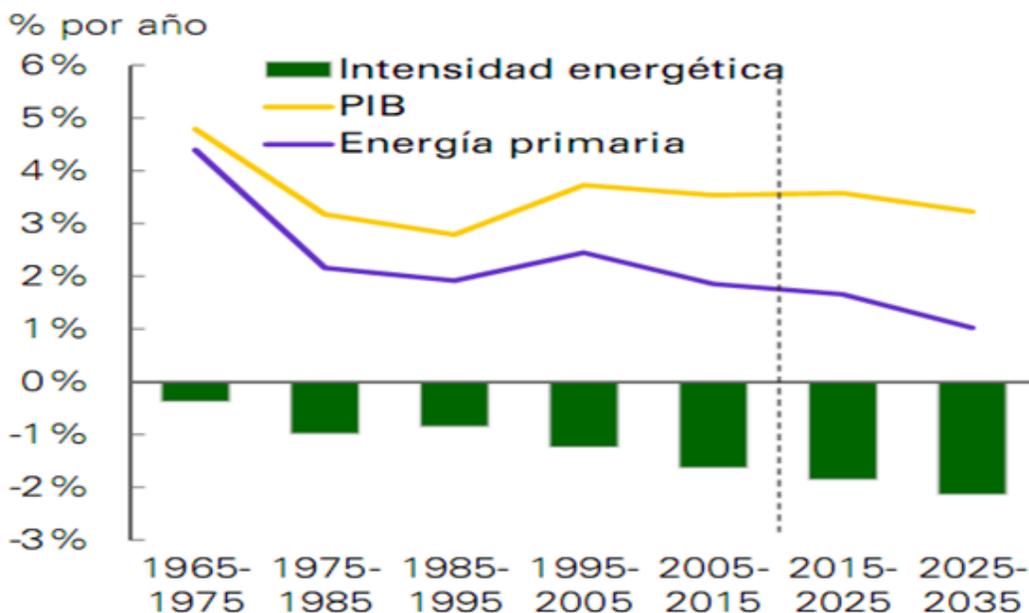


Gráfico: 1.1 Correlación entre el crecimiento del PIB y la energía primaria en diferentes periodos, su interrelación con la intensidad energética. **Fuente:** BP-Energy- Outlook-2017.

Lo mencionado anteriormente, durante mucho tiempo ha contribuido a que las consecuencias medioambientales y sociales, asociadas a los patrones de consumo de energía, fueran dejadas a un lado y se mantuvieran aisladas de un análisis exhaustivo. El acceso a la energía ha sido siempre un prerrequisito del desarrollo económico; la prosperidad que trae, estimula la demanda de más servicios y de mejor calidad; sin embargo, en materia de energía, la única manera de tener un futuro seguro es producirla de manera sostenible y utilizarla en forma racional (Saure, 2010).

Como se puede apreciar, estas consideraciones no han sufrido muchos cambios, en el mundo globalizado de hoy los ritmos de consumo de portadores energéticos continúan en ascenso, a la par de la población mundial, la cual alcanzó una tasa de crecimiento en el año 2016 de un 1.19% (UNFPA, 2017). Esto crea un panorama energético mundial muy controvertido, basado en la sobreexplotación de las fuentes primarias de energía, como el petróleo, el gas natural y el carbón.

Según el reporte estadístico del Consejo Mundial de Energía, (WEC por sus siglas en inglés), el consumo de energía primaria a nivel mundial mostró un crecimiento de un 1% en el año 2016 con relación al año 2015 (WEC, 2017). En este informe, además se refleja el consumo por cada uno de estos componentes, en el que se destacan el petróleo con un 33.3%, el gas natural con 28.1% y el carbón con 24.1% como las fuentes más consumidas a nivel mundial. (Gráfico 1.2).

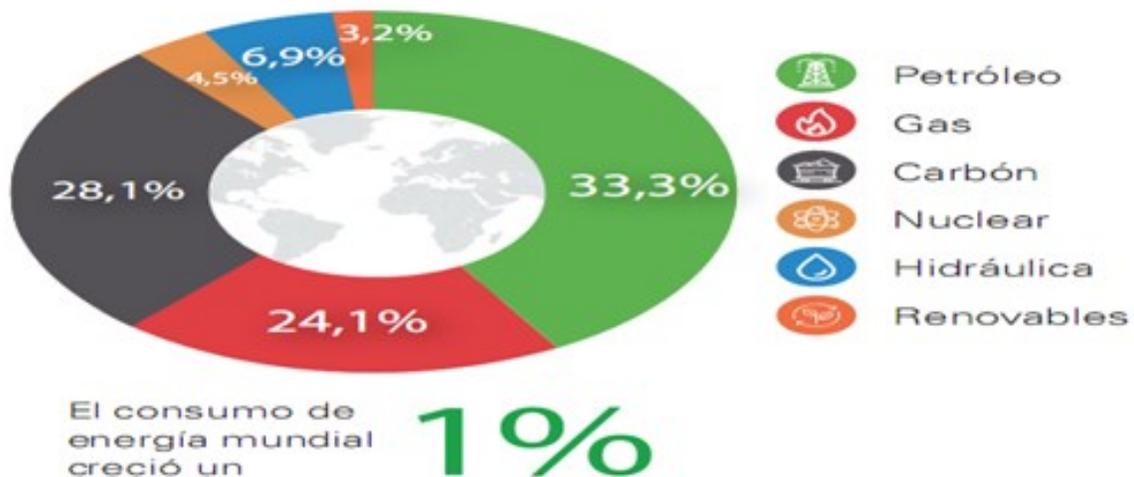


Gráfico: 1.2 Consumo de energía primaria 2016. **Fuente:** Reporte estadístico del Consejo Mundial de Energía, 2017.

Este informe también refiere, las tasas de crecimiento que manifestaron estas fuentes de energía en 2016 con relación al año 2015 (Figura 1.1), lo cual muestra sin lugar a dudas el comportamiento de la matriz energética mundial. En este informe se puede observar como el uso de las energías renovables mostraron el mayor crecimiento entre todas las fuentes, lo cual representa un elemento esencial a tener en cuenta durante la investigación.

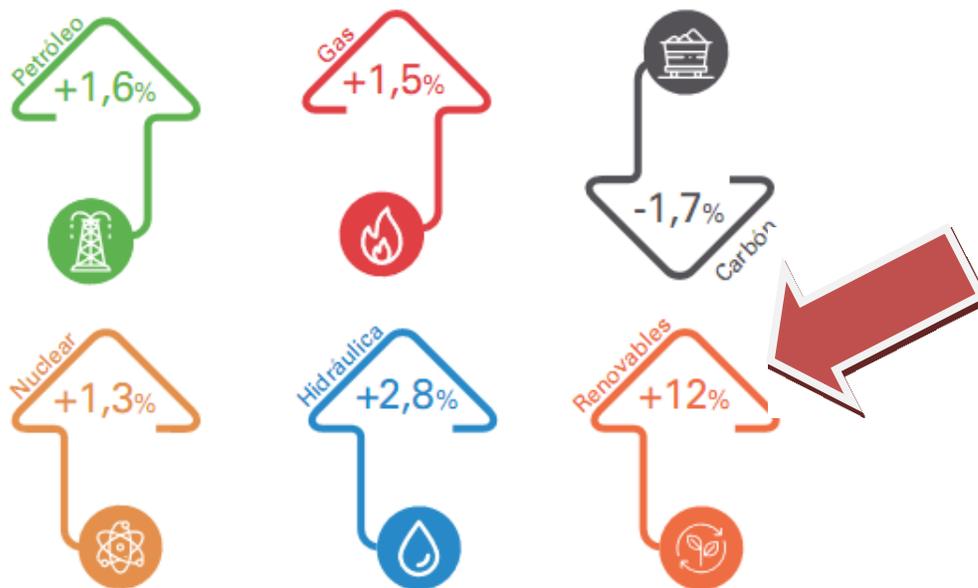


Figura: 1.1 Tasas de crecimiento de las energías primarias año 2016 vs 2015.

Fuente: Reporte estadístico del Consejo Mundial de Energía, 2017.

Dado la caída del precio del petróleo se planea aprovechar esta ventana de oportunidad, para ello el Banco de Desarrollo del Caribe y el Banco Internacional de Desarrollo (BID), crean un Fondo para la Energía Sostenible de 71 millones de dólares para el Programa del Caribe Oriental (Ariel. Yopez, 2016). El programa contribuirá a la diversificación de la matriz energética en los seis países del Caribe Oriental, para reducir el costo de las tarifas de generación de energía y electricidad. Lo hará a través de la promoción de la eficiencia energética y tecnologías de energía renovable, para reducir la dependencia de la región del Caribe Oriental de los combustibles fósiles líquidos.

El programa es compatible con los objetivos de la iniciativa Energía Sostenible para Todos Américas, que promueve el acceso universal a la energía, la eficiencia energética y el uso de las energías renovables en América Latina y el Caribe.

Con el fin de lograr una matriz energética más diversificada y sostenible, Latinoamérica tendrá que cambiar sus marcos legales y reglamentarios para alentar al sector privado a ser un socio en estos proyectos, ya sea a través de inversiones directas o a través de asociaciones público-privadas. Varios países del Caribe ya han comenzado a poner en práctica este tipo de reformas, y están preparando el terreno para un futuro energético más sostenible. Por ejemplo, Jamaica ha comenzado a trabajar con el sector privado para explorar la idea de importar gas natural, un paso que ayudaría a diversificar la matriz energética (Ariel Yepez, 2016).

Resulta interesante, además, señalar la constante variación a que se encuentran sujetas las reservas de combustibles fósiles, las cuales según algunos autores continúan en ascenso. Cuando se habla del tema, existen varios criterios en cuanto a la durabilidad de estos en el tiempo. Algunas bibliografías, muestran que las reservas de estos combustibles han registrado una variación positiva en los últimos años (Colomo, 2016), lo cual no revoca la idea de que su agotamiento es inevitablemente e irreversible. Para citar un ejemplo, este autor muestra un estudio realizado en 2014, que evidencia el comportamiento de las reservas de estos tipos de combustibles.

En el caso del petróleo las reservas han experimentado un incremento constante en los treinta años de referencia, pasando de los 802.559,5 millones de barriles en 1985 a 1.700.057,7 millones en 2014. El incremento de las reservas fue pues de: $(1.700.057,7 - 802.559,5) = 897.498,2$, millones de barriles, que en términos porcentuales tomando el año 1985 como base 100, se incrementaron hasta el 211,8% en el año 2014. Si se analiza la producción de petróleo desde 1985 a 2014, se obtiene 807.899,9 millones de barriles, lo que supera en 5.340,5 a los 802.559,5 millones de barriles en que se estimaban las reservas probadas en 1985. Es decir, que si el cálculo de duración del petróleo se hubiera realizado en 1985 sobre la base de la producción de ese año, la estimación hubiera sido de 38,3 años.

Hasta ahora, el descubrimiento anual de nuevas reservas es superior a la producción anual, por lo tanto hasta que no cambie esa tendencia no se puede calcular de manera confiable la duración de las reservas de petróleo (Colomo, 2016).

Por otro lado, el gas natural también experimenta una variación, el mismo mostró un incremento constante en los treinta años de referencia, pasando de los 83.643,4 kilómetros cúbicos (km³) en 1985 a 187.073,8 (km³) en 2014. El incremento de las reservas fue de: $(187.073,8 - 83.643,4) = 103.430,4$ (km³), que en términos porcentuales tomando el año 1985 como base 100, se incrementaron hasta el 223,7% en el año 2014. Al igual que el caso del petróleo, la producción de gas natural, sumando la producción de los 30 años desde 1985 a 2014, fue de 74.410,3 (km³), lo que supone el 89% de las reservas probadas en 1985. Es decir, que, si el cálculo de duración del gas natural se hubiera realizado en 1985 sobre la base de la producción de ese año, la estimación hubiera sido de 50,8 años.

En el caso del carbón sucede lo contrario en el periodo de referencia hubo una contracción o sea un decrecimiento de sus reservas las cuales se encuentran en retroceso, los descubrimientos de nuevas reservas no compensan la producción mundial habiendo pasado de los 909.064,61 millones de toneladas en el año 2004 a 891.531, lo que supone un decrecimiento de $(909.064,1 - 891.531,0) = 17.533,1$ millones de toneladas. Pocos son los países que muestran un crecimiento en sus reservas de carbón, entre estos se destacan, Alemania, que ha incrementado sus reservas en el periodo 2004-2014 en un 192,8%, e Indonesia que lo ha hecho en un 131,5%. Para China sin embargo la situación es más controvertida, con una previsión de duración de sus reservas de Carbón de 30 años es el país que deberá implementar más rápidamente políticas de sustitución de esta fuente de energía, pues produce el 47% de la producción mundial y su sistema energético se basa mayoritariamente en este combustible fósil (Colomo, 2016).

De manera general a partir del comportamiento de las reservas de combustibles fósiles, en el periodo que se analiza, pudiera decirse que la adopción de las FRE como vías de producción energética en sustitución de las fuentes primarias, es más necesario y más urgente de lo que realmente se piensa.

Pues Según los datos de las reservas probadas y producción mundial de carbón, petróleo y gas natural, del año 2014, las duraciones de las mismas serían: 109 años las del carbón; 52 años las del petróleo, y 54 años las del gas natural.

El descubrimiento de nuevas reservas y las variaciones en su producción modifican continuamente estos datos, aunque los descubrimientos de nuevas reservas progresivamente son menores y la tendencia de la producción en el caso del petróleo y el gas natural es a incrementarse como consecuencia del crecimiento económico mundial (Colomo, 2016). A continuación, en la tabla 1.1 se muestra un resumen de las reservas de estos combustibles, según datos de BP (British Petroleum) 2014.

Tabla 1.1 Resumen duración de las reservas de carbón, petróleo y gas natural, según datos de reservas probadas y producción mundial del año 2014.

Según datos del año 2014		Reservas mundiales	Producción año	Años duración reservas
Carbón	Millones toneladas	891.531,0	8.164,9	109,2
Petróleo	Millones barriles	1.700.057,7	32.365,5	52,5
Gas Natural	Km ³	187.073,8	3.460,6	54,1

Fuente: (Colomo, 2016).

Otras investigaciones también relacionadas con el tema, muestran la ubicación de estas reservas a escala global. Donde se destacan la región de Oriente Medio y Norte de África y América Latina y el Caribe quienes poseen entre sí, más de 70 % de las reservas recuperables de petróleo (Gráfico 1.3) (Hüber, 2016). En este mismo informe se hace alusión al panorama de América Latina y el Caribe, donde se destaca Venezuela, como el principal propietario de estas reservas con más del 90% del total que posee la región, lo que consolida a esa nación como el principal productor y exportador de crudo en el área.

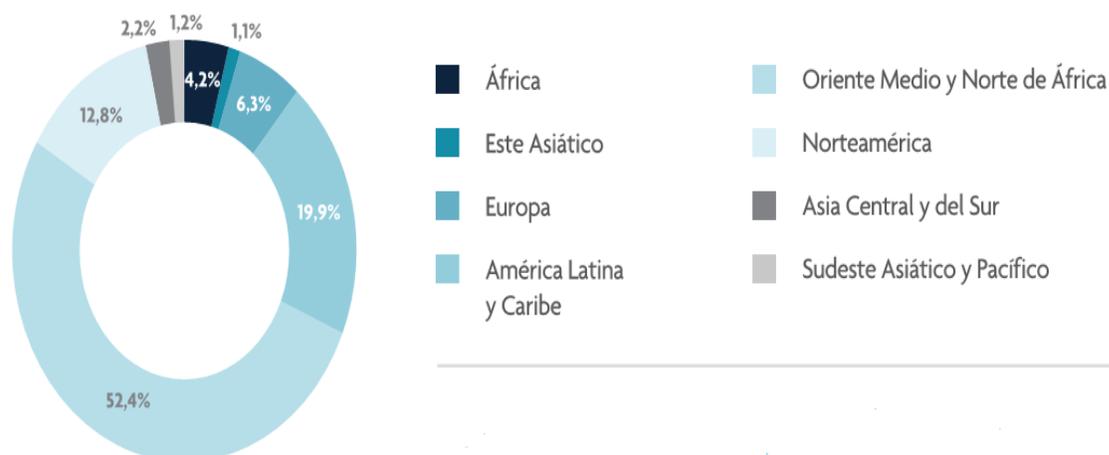


Gráfico 1.3 Ubicación de las reservas recuperables de petróleo por regiones 2016.

Fuente: (Hüber, 2016).

1.3 Fuentes renovables de energía. Conceptualización

Hay varias formas de energía renovable, derivadas directa o indirectamente de sol, o del calor generado muy dentro de la Tierra. Incluyen la energía generada de los recursos solares, eólicos, de biomasa, geotermia, hidro-energía y recursos marinos, biocombustibles líquidos, biogás y biomasa sólida.

La biomasa sólida (principalmente la leña utilizada para cocción en los países en vías de desarrollo), es la más importante de todas las fuentes de energía renovable y representa más del 10% de toda la oferta mundial de energía primaria (TPES) por sus siglas en inglés, o tres cuartas partes de la oferta de fuentes renovables del mundo (Quesada et al, 2007).

Desde 1990, las fuentes renovables de energía en el mundo, han crecido a un ritmo anual promedio del 1,7%, que es ligeramente mayor al ritmo de crecimiento de la TPES. El crecimiento ha sido especialmente alto para las fuentes renovables “nuevas” (eólica, solar), que crecieron a un ritmo anual del 19%, y la mayor parte del incremento fue en los países de la OCDE, con grandes programas de energía eólica en los países como Dinamarca y Alemania (OCDE/AIE, 2015).

Las conversaciones sobre el cambio climático indudablemente han estimulado el desarrollo de la energía renovable para poder reducir las emisiones de gases con efecto invernadero de los Países Signatarios de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC).

Al definir energías renovables, se engloban una serie de fuentes energéticas que a veces no son nuevas, como la leña o las centrales hidroeléctricas, ni renovables en sentido estricto y que no siempre se utilizan de forma blanda o descentralizada y su impacto ambiental puede llegar a ser importante, como los embalses para usos hidroeléctricos o los monocultivos de biocombustibles (Santamarta, 2010).

En tal sentido para hablar de las energías renovables, se debe recordar que estas se entienden como fuentes de energía cuya durabilidad en el tiempo es inagotable, en comparación con la vida de los seres humanos (Romero, 2005). Existen, tres fuentes principales de energías renovables: la energía del sol, la energía del sistema gravitacional tierra – luna (que se manifiesta principalmente por la energía del oleaje del mar) y la energía de las profundidades terrestres (que se manifiesta fundamentalmente por la energía de los volcanes).

Según Oria Gómez (2010), existen varias formas de utilizar las energías renovables, las que a su vez poseen tecnologías específicas:

- La energía solar fotovoltaica, procedimiento mediante el cual la energía radiante de la luz solar es convertida en energía eléctrica, mediante el flujo electrónico que se provoca en materiales específicos.
- La energía solar, método que permite utilizar la radiación solar para producir calor, o utilizarla en procesos de secado de materiales.
- La energía eólica, que permite utilizar la fuerza del viento para generar electricidad, o para procesos de bombeo de agua.
- La energía hidráulica, mediante esta vía se utiliza la energía potencial gravitatoria de saltos de agua o columnas de líquido que se formaron por vía natural o artificial, para mover una turbina hidráulica que genere electricidad. Otra forma de utilizar la energía hidráulica es la utilización del llamado *golpe de ariete* para impulsar agua de un lugar para otro, de mayor altura.

□ La biomasa como fuente de energía: el uso de la biomasa como fuente de energía, es una vía de utilización indirecta de la energía solar. Las plantas, mediante el proceso de fotosíntesis, producen biomasa vegetal que puede ser utilizada por combustión, gasificación o bio-digestión anaerobia para producir biogás, entre otras, para finalmente generar energía (ya sea térmica, eléctrica, o mecánica) (Romero, 2005).

Un elemento importante a definir, es la generación de energía mediante fuentes renovables, lo cual no es más que el proceso en el cual un dispositivo es capaz de producir o transformar una fuente renovable en energía, bien sea mecánica o eléctrica (Romero, 2005).

1.4 Generación de energía a partir de fuentes renovables

Las fuentes de energía renovables son el futuro, dado que, en comparación con otro



tipo de generadores, su impacto es muy bajo y hacen uso de un bien que se renueva con el tiempo. El carbón, el petróleo o el uranio son ejemplos de bienes no renovables, mientras que el viento o la luz solar sí lo son: puedes “capturar” gran cantidad de viento o fotones sin gastar la fuente que los produce (Martínez, 2018).

Pero, ¿vamos por buen camino? ¿Estamos trabajando para que las energías renovables

supongan el 100% del mix energético? ¿Cuánta de la potencia mundial viene de las energías renovables? Estas son interrogantes que a cada minuto se hacen más recurrentes y que constituyen en sí elementos esenciales para medir el avance en estos temas. Según Martínez (2018), una de las preguntas que se suele hacer la gente es si podemos vivir únicamente de las fuentes renovables. Y él mismo responde que sí, usando un mix de ellas, del mismo modo que usamos un mix de energía de todo tipo en la actualidad; para lo cual se hace necesario aprovechar las ventajas de cada una en cada ámbito, de manera que permita explotar al máximo las potencialidades. En tal sentido, a continuación, se muestran los posibles usos de estas fuentes renovables, a partir de las ventajas y limitaciones que estas suponen.

Energía geotérmica

Para calefactor o refrigerar espacios. Dicho de otro modo, como climatizador hacia el confort. Aunque es cara de implantar, una vez construidas las cañerías podemos aprovechar el calor y frío del interior del suelo para templar nuestra vivienda. Puede aprovecharse de día y de noche.

Energía solar

Probablemente la más importante y con mayores tasas de abaratamiento, se acopla perfectamente a la demanda de los picos de consumo y puede ser instalada en cualquier lugar del globo; así como en cualquier lugar de la ciudad: suelos, paredes, tejados (Martínez, 2018).

La mayor central fotovoltaica del mundo se encuentra en Portugal, con una potencia instalada de 62 MW, cuenta con 350 000 paneles fotovoltaicos y evita el envío a la atmosfera de 60 000 toneladas de dióxido de carbono al año (Arrastía, 2013).

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.

A la interconexión de varias celdas fotovoltaicas se le llama panel fotovoltaico; un grupo de paneles da lugar a un módulo, que conjuntamente con las baterías que almacena la energía eléctrica, el inversor, el conmutador y los cables, forman el sistema fotovoltaico. Se estima que la cantidad de energía eléctrica generada con tecnología fotovoltaica es 0,1% de la demanda de energía primaria mundial. Al final del 2008 la potencia fotovoltaica global acumulada fue de 15,5 GW y el 90% se hallaba conectada a la red (Arrastía, 2013).

Energía eólica

Usada ya en siglos pasados para moler grano, hoy día nos genera electricidad para alimentar nuestras ciudades y nuestros coches. A partir de una cota de 15 metros (aproximadamente) todas las regiones del globo tienen corrientes aprovechables, y el viento sopla a todas horas del día.

Se denomina energía eólica a la energía solar que se transforma en energía cinética del viento, este método clasifica como una forma de aprovechamiento indirecto de la energía solar. La radiación solar no alcanza por igual a toda la atmósfera terrestre. Como resultado de esta condición, las diferentes partes del planeta no se calientan por igual lo que trae como consecuencia que la temperatura no sea siempre la misma.

Estas diferencias térmicas, provocan cambios en la densidad del aire que ocasionan a su vez variaciones en la presión atmosférica (Bravo Hidalgo, 2015).

Como el aire se desplaza en las zonas de alta presión a las zonas de baja presión, se establece un cierto equilibrio energético al transferirse la energía entre zonas de diferentes temperaturas. Todo este proceso ocasiona un desplazamiento de las masas de aire produciéndose los vientos a nivel planetario, este fenómeno meteorológico se denomina circulación atmosférica planetaria.

El molino es una máquina que transforma la energía del viento en energía mecánica aprovechable. Esta energía proviene de la acción del viento sobre unas aspas oblicuas unidas a un eje común. El eje giratorio puede conectarse a varios tipos de maquinarias para moler granos, bombear agua, o generar electricidad. Cuando el eje se conecta a una bomba recibe el nombre de acero-bomba, si se usa para producir electricidad se le denomina aerogenerador.

En Cuba, existen hoy unas 7 000 máquinas de este tipo que prestan servicios en empresas ganaderas, estas permiten un ahorro estimado de 30 000 toneladas de diesel al año y evita la emisión de contaminantes a la atmosfera.

Energía mareomotriz

Con una localización ideal debido a que la mayor parte de los entornos urbanos del mundo se encuentra en la costa; y es buena idea acercar consumo a generación. Sigue siendo una tecnología en desarrollo, pero con un potencial enorme. El problema de estas fuentes primarias es el almacenamiento de energía, muy costoso hasta el momento. Pero es aquí donde entra la hidráulica.

Energía hidráulica

Se designa energía hidráulica a la energía solar que se transforma y acumula como energía potencial de agua cuando se encuentra en un punto a mayor altura respecto a otro, este método clasifica como una forma de aprovechamiento indirecto de la energía solar. El ciclo del agua se inicia cuando el sol evapora el agua de ríos, mares y lagos dando lugar a la formación de nubes que viajan largas distancias y se precipitan en forma de lluvia o nieve, a causa de la gravedad, busca de nuevo el nivel del mar formando ríos caudalosos o pequeñas corrientes; este caudal que se presenta en forma de grandes saltos o de pequeñas corrientes, es la fuente de la energía hidráulica que se puede transformar en energía mecánica a través de moto bombeo y molinos, o en energía eléctrica mediante represas hidroeléctricas.

Los rendimientos de los molinos de agua están comprendidos entre 30 y 80%, y aumenta con el uso de paletas. Las plantas hidroeléctricas modernas alcanzan rendimientos del 75% al 90%, son muy eficientes en comparación con las centrales térmicas de obtención de energía eléctrica a partir de los combustibles fósiles o reacciones nucleares (Arrastía, 2002). Una presa transforma la energía potencial del agua en energía cinética de rotación del eje de la turbina hidráulica, que a su vez acciona un generador eléctrico para producir finalmente la electricidad.

Esta fuente de energía aunque tiene un coste ambiental significativo en su construcción (los pantanos), se convierten en reguladores de potencia magníficos, abriendo las esclusas cuando sea necesaria un plus de energía; e incluso remontando el agua cuando tengamos excedente para usarla luego, convirtiéndose así en “baterías” de agua (Martínez, 2018).

1.5 Situación de las fuentes renovables de energía

El agotamiento paulatino de los recursos energéticos existentes, su impacto en el cambio climático, la salud, la conservación y ahorro de la energía, la disponibilidad real de alternativas basadas en fuentes renovables y su dependencia de la evolución de la población del planeta y de los nuevos descubrimientos científicos en este campo, son hoy temas medulares para el futuro de la humanidad. El problema energético tiene hoy una importancia crucial, no solo desde el punto de vista de la satisfacción de la creciente demanda global, sino en lo que se refiere al impacto ambiental y social del

sistema energético contemporáneo, basado fundamentalmente en el uso de los combustibles fósiles.

Se han realizado varias acciones a nivel mundial para la sustitución de combustibles fósiles y la utilización de las FRE. Sin embargo, los desafíos persisten, sobre todo más allá del sector eléctrico. En este año se observaron diversos avances que influyeron en la energía renovable, incluyendo una dramática disminución en los precios de los combustibles fósiles a nivel mundial; una serie de anuncios respecto a la disminución más sustancial en la historia de los precios en contratos a largo plazo de energía renovable (Vipsom, 2017).

En el caso de Alemania, el gobierno ha apostado claramente por las energías renovables con la creación del ambicioso programa 'Energiewende' (Revolución Energética) en el año 2010, impulsado por Angela Merkel. En 2016 se produjo una caída del 13% con respecto al año anterior, con mínimos que no se alcanzaban desde hacía 12 años. A pesar de que las energías renovables en Alemania solo representan un 25% del total de la producción eléctrica del país, el plan prevé que en 2035 la energía de origen renovable represente el 60% del total (Vipsom, 2017).

Según declaraciones a Cubasolar, de Carlos Manuel Pazo, Director General de la Empresa de Hidroenergía, actualmente, las energías renovables se han establecido en todo el mundo como una importante fuente. Su rápido crecimiento, particularmente en el sector eléctrico, es impulsado por diversos factores, incluyendo el aumento de la rentabilidad de las tecnologías renovables; iniciativas de política aplicada; un mejor acceso al financiamiento; seguridad energética y cuestiones de medio ambiente; demanda creciente de energía en economías en desarrollo y emergentes; y la necesidad de acceso a una energía modernizada (Pazo Torrado, 2018).

En consecuencia, en los países en desarrollo surgen mercados nuevos, tanto para la energía renovable centralizada como para la distribuida. A nivel mundial la potencia instalada es de 740 mil millones de kW y 100 mil millones de kW en construcción. El ritmo de crecimiento que se estima anualmente hasta el 2020 es de 3,6%. Los líderes mundiales por regiones es Asia con 68% de la capacidad instalada, y por países: China, India, Japón, Corea, Estados Unidos, Brasil, Venezuela, Noruega, Francia, Rusia, Egipto e Irán, entre otros (Pazo Torrado, 2018).

En Cuba, la energía renovable es una opción atractiva porque los recursos renovables disponibles en Cuba, tomados en su conjunto, pueden suministrar significativamente mayores cantidades de electricidad que la demanda actual o proyectada total (Desarrollo, 2017). En este sentido se ha llegado a plantear que el país recibe 1800 kW por metro cuadrado (Domínguez Cruz, 2014).

Lo significativo de ese dato, según destacó el Doctor en Ciencias Luis Bériz Pérez, presidente de CUBASOLAR, es que esta irradiación es mayor que todo el consumo de la energía que genera el uso del petróleo de los sectores industriales residenciales y de servicios a la población de la nación, lo cual hace ver las potencialidades de su utilización como otra fuente de energía para el desarrollo socio-económico de país. El objetivo final es la abolición total del uso de los hidrocarburos, el carbón, la energía nuclear y otros recursos primarios no renovables, de forma tal que la matriz energética esté compuesta únicamente por FRE. Si aceptamos que el término “transición” es el proceso o período en el cual ocurre un cambio o se pasa de un estado, etapa o forma a otra, la «transición energética» sería el proceso o período durante el cual tiene lugar un paso del uso de una fuente de energía a otra.

En el caso cubano sería el abandono del petróleo y otros combustibles convencionales como fuentes de energía y su sustitución por FRE, apoyado por la eficiencia energética. Hasta el 2013 solo 4,3 % de la producción de electricidad se produjo con FRE; para el 2030 se pretende llegar por lo menos a 24 % con esas fuentes. A ojo de buen cubero, si en los próximos 15 años aumentásemos en 20 % la participación de las FRE, es de esperar que en los próximos 60 años pudiéramos acercarnos a 100 %. Teniendo en cuenta todo lo anterior, entonces podemos aseverar que Cuba pasa por una transición energética. En realidad, se puede decir que la transición energética en Cuba comenzó hace varias décadas. Primeramente, con la desaparecida Comisión de Energía, en 1993, y después Cubasolar fue un claro ejemplo de ello en la década de los 90, desde su creación en 1994. Las primeras instalaciones para la alergización de zonas rurales con FRE las llevó a cabo esta organización, de una manera sistemática (González et al, 2018).

La transición energética da respuesta a tres desafíos: primeramente, disminuir la dependencia de los combustibles fósiles que como se sabe tenderán a escasear,

disminuir los costos de generación de la energía como resultado de los altos costos del petróleo y a la baja eficiencia del sistema eléctrico, y por otro lado revertir el proceso de cambio climático que nos amenaza.

La eficiencia energética es el segundo sostén de la transición energética, junto con la extensión de las FRE. Cada kilowatt-hora que no sea consumido evita la quema de combustibles fósiles y la construcción de nuevas centrales eléctricas y redes eléctricas. De ahí la importancia de la eficiencia energética. El consumo de electricidad en Cuba va en aumento, por lo que el camino es largo para lograr una disminución aceptable. Hay que poner el énfasis en el sector residencial, que consume más de 50% de la electricidad producida, fundamentalmente en la cocción de alimentos.

El país ha hecho firme el compromiso, de llegar al año 2030 con un 24% de generación de energía a partir de fuentes renovables de energía (ANPP, 2014). Este compromiso se ratifica en la voluntad política de la máxima dirección del gobierno y el partido y en la necesidad imperiosa de buscar alternativas más “limpias” para la obtención de este propósito. En tal sentido el estado cubano ha presentado ante el máximo órgano legislativo la propuesta de la matriz energética para el año 2030.

Tabla 1.2 Composición de la matriz energética aspirada por Cuba para el **2030**

Fuente de Energía	2030 (%)
Fuel en Centrales Térmicas	12.0
Fuel en Motores	9.0
Diesel	2.0
Gas acompañante	9.0
GNL	2.0
Eólica	5.0
Solar	4.0
Biomasa	14.0
Hidráulica	1.0
Crudo	42.0

Fuente: (ANPP, 2014).

1.5.1 Situación de las fuentes renovables de energía en Sancti Spíritus

La provincia Sancti-Spíritus, como expresara el comandante en jefe “no podía ser una ciudad más”, también se hace cómplice de estos intereses para lograr tal propósito, en este sentido ha desarrollado varias acciones encaminadas a este tema. Desde hace varios años cuenta con experiencias en la explotación de fuentes renovables de energía, como es el caso de la pequeña central hidroeléctrica (PECHE) Zaza, que se encuentra ubicada aguas debajo del embalse del propio nombre.

Otro elemento importante es sin duda la puesta en marcha de modernos sistemas de paneles solares fotovoltaicos, localizados en varios municipios del territorio que ya aportan al sistema electro-energético nacional (SEN). En este sentido, otro de los mayores avances en la provincia ha sido la instalación de esta propia tecnología en casi la mitad de las 347 viviendas aisladas ubicadas en zonas montañosas adonde no es posible llegar con la red eléctrica nacional, para de alguna manera, incrementar el nivel de vida de este importante sector de la población y así disminuir el éxodo de la población rural hacia las ciudades (Rodríguez., 2017).

1.6 Situación energética del municipio

El municipio La Sierpe, no representa un alto consumidor de energía en comparación con otros territorios de la provincia o el país, en 2017 su consumo de energía, sólo representó aproximadamente un 4% del consumo total de la provincia (Despacho-OBE, 2018). No obstante, a pesar de su bajo consumo en comparación con otros territorios, posee actividades gran consumidoras, como es el caso de los procesos industriales de la EAIG: “Sur del Jíbaro”, entidad que como se planteó anteriormente constituye, el principal actor económico del territorio y representa el mayor consumidor de electricidad del sector estatal.

En el empleo de FRE, el territorio no cuenta con grandes experiencias de su uso, solamente algunos casos aislados de implementación de bio-digestores para obtener biogás, a partir de las excretas porcinas aprovechadas generalmente en la cocción de alimentos. Actualmente ha alcanzado gran relevancia, puesto que uno de estos novedosos sistemas de paneles solares fotovoltaicos, fue implantado en las cercanías de la cabecera municipal.

El nuevo parque cuenta con un total de 5200 mesas y una capacidad de generación de 1.2 MW, cuyo propósito elemental es liberar la carga del circuito principal en el horario pico del mediodía (Camellón, 2016).

Otra de las experiencias con las que se cuenta en el territorio, es la puesta en marcha de 15 bombas solares vinculadas a la ganadería y los cultivos varios y el funcionamiento de 34 sistemas de paneles solares fotovoltaicos que se encuentran ubicados, en zonas aisladas cuya solución energética no es posible por otra vía (Estadísticas EAIG, 2018).

1.7 Las fuentes renovables de energía como apoyo al desarrollo local

Cuando se habla de fuentes renovables de energía, resulta inevitablemente necesario, valorar el impacto que generan en el desarrollo local del territorio, el cual no solo se determina por su valor económico, que es trascendental sino también el social. Una de las características de estas fuentes que incide en el desarrollo local, es la capacidad de adaptación que poseen, puesto se conciben para generar energía a pequeña, mediana y gran escala de acuerdo con los potenciales y necesidades del territorio. Diversos factores como la generación de empleos, el aumento del nivel de vida de los pobladores y la disminución de los daños ambientales, constituyen claros ejemplos del aporte de las FRE al desarrollo local.

En este sentido juegan un papel fundamental los pequeños productores y las mini-industrias, sectores a los que el país ha llamado a crecer paulatinamente, como vía para impulsar el desarrollo socioeconómico del territorio. De manera que estos sean capaces de suplir las necesidades locales y aportar a la economía nacional. Por tanto, el crecimiento y desarrollo de estas formas productivas, supone un aumento de la demanda energética y la generación de residuos, aspectos en los que entra a jugar un papel decisivo la implementación de FRE, como alternativa primordial para lograr de conjunto con estas instituciones un desarrollo próspero y sostenible, acorde con los objetivos y metas de la agenda de desarrollo 2030.

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, 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: Materiales y Métodos

2.1 Introducción

En este capítulo, se exponen los materiales y métodos empleados para la realización de la investigación, para lo cual se hizo necesario apoyarse en diferentes herramientas, para dar solución al problema planteado y cumplir con los objetivos propuestos. En tal sentido y con el objetivo de organizar la tarea investigativa, se conforma una estructura compuesta por tres etapas, la cual se describe en lo adelante.

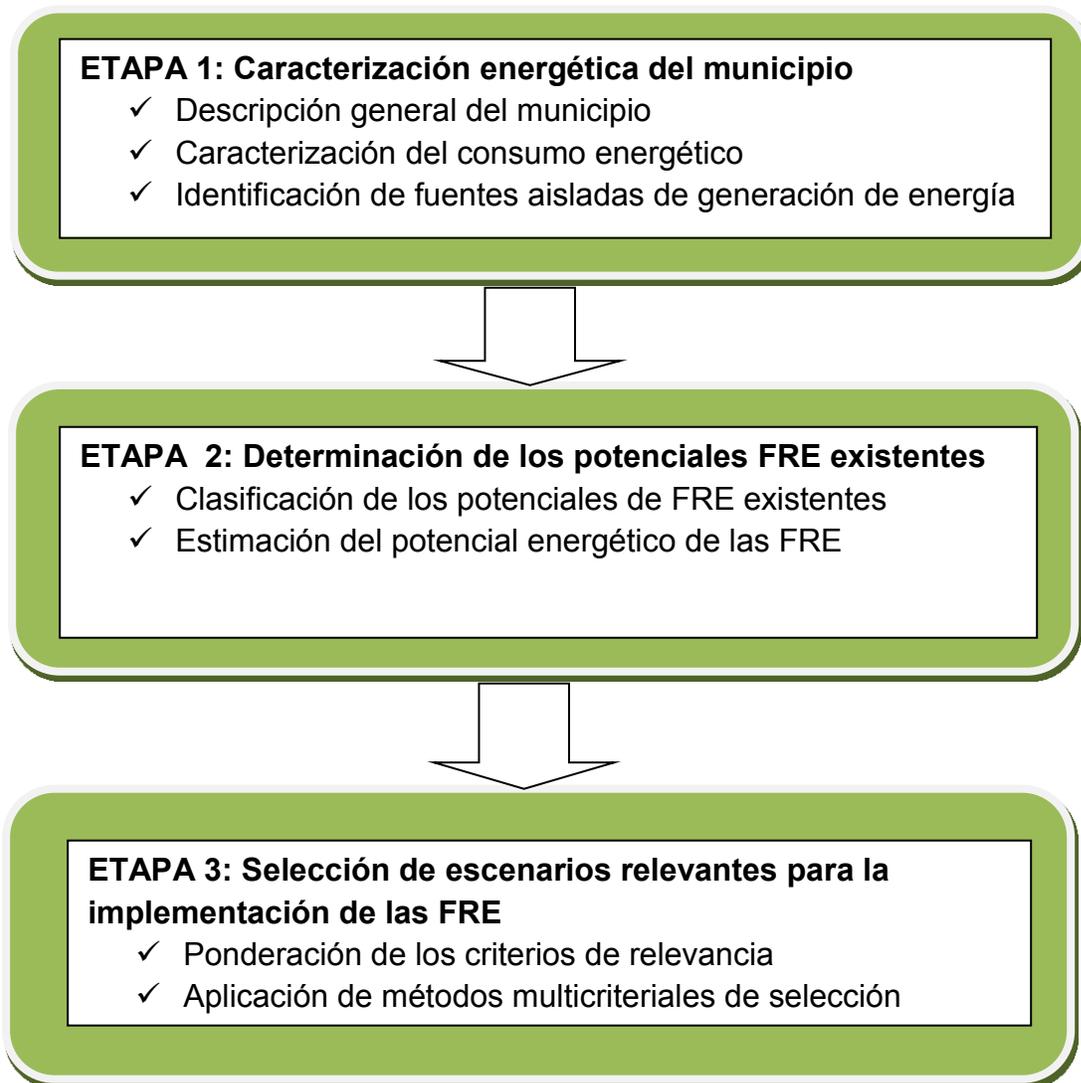


Figura 2.1 Estructura de las etapas de la investigación.

Fuente: Elaboración propia.

2.2 Etapa 1. Caracterización energética del municipio

La figura muestra de manera gráfica, la secuencia a seguir en esta primera etapa.

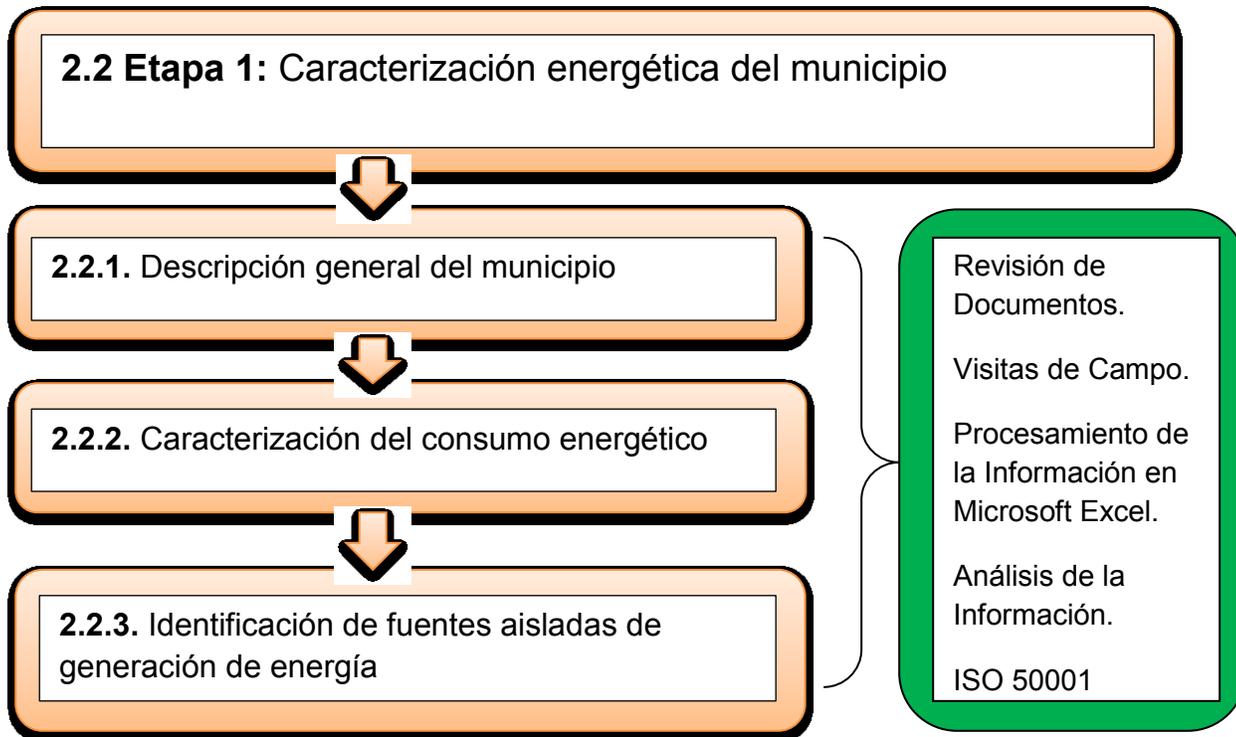


Figura 2.2 Secuencia de la Etapa 1 de la investigación.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.1 Descripción general del municipio

En este epígrafe de la investigación, se expondrá una caracterización del municipio La Sierpe, en función de sus principales indicadores políticos, económicos, sociales y culturales. Se tendrán en cuenta, elementos que permitan identificar claramente el territorio. El desarrollo de esta etapa, se basa fundamentalmente en realizar una revisión y análisis de la documentación, así como en la realización de visitas a lugares de interés.

2.2.2 Caracterización del consumo energético

La caracterización energética del territorio está encaminada a mostrar una serie de elementos que evalúen el comportamiento del municipio en materia energética. La estructura del servicio eléctrico, la estratificación de los consumos, la situación energética, sus principales consumidores entre otros aspectos vinculados con este

tema serán expuestos en este punto de la investigación. Se utiliza como base las normas ISO: 50001, desarrollada para la elaboración de diagnósticos energéticos en el sector industrial. Con la finalidad de cumplir este propósito se hizo una recopilación de información en la Organización Básica Eléctrica (OBE) del municipio, los gobiernos locales y entidades implicadas. Estos datos fueron analizados y se procesaron en Microsoft Excel, para su análisis. En todos los casos se utilizó información correspondiente al año 2017.

2.2.3 Identificación de las fuentes aisladas de generación de energía

En este epígrafe se exponen elementos generales acerca de las fuentes aisladas de generación de energía que posee el territorio y la situación que este presenta en cuanto a comunidades aisladas. Para desarrollar este epígrafe, se buscó información en la Asamblea Municipal del Poder Popular (AMPP), en el municipio, y en la OBE del territorio. El resultado del análisis de esta información, se resumió en forma de tabla para una mejor interpretación.

2.3 Etapa 2. Determinación de los potenciales FRE existentes

Para el desarrollo de ésta segunda etapa de la investigación se hizo necesario cumplimentar una secuencia de pasos, los cuales se muestran en la figura 2.3.

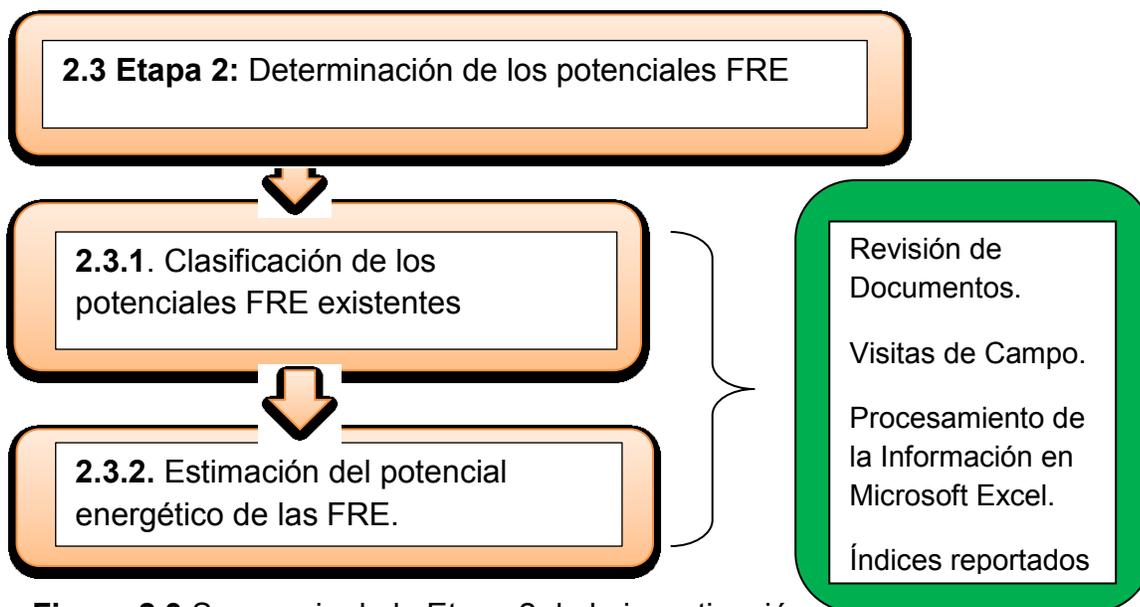


Figura 2.3 Secuencia de la Etapa 2 de la investigación.

Fuente: Elaboración Propia.

2.3.1 Clasificación de los potenciales de FRE existentes.

En este epígrafe se comenzó por establecer dos grupos o categorías, en las que se pueden aglomerar estos potenciales de FRE, los cuales se relacionan a continuación:

- **Grupo 1:** Los provenientes de fuentes limpias, tales como; eólica, solar fotovoltaica y solar térmica.
- **Grupo 2:** Los generados a partir de otros procesos que traen implícitos una gran carga contaminante, con un impacto negativo en el medio ambiente (biomasas y otros residuos biodegradables).

Una diferencia muy peculiar entre estos dos grupos, es que el grupo # 1, contiene alternativas que de no aprovecharse no tienen un impacto negativo en el medio ambiente, todo lo contrario del grupo # 2, puesto que el tratamiento de estos residuales constituye una necesidad imperiosa desde el punto de vista ambiental. En tal sentido, en el territorio existe un potencial muy variado de FRE, que abarca la totalidad de estos grupos, en el que se exceptúa el potencial hidráulico debido a las características geográficas propias del territorio. A continuación, se relacionan estos potenciales existentes en el territorio.

Eólica: En cuanto al potencial eólico del territorio, cabe señalar que por su ubicación geográfica el municipio no es favorecido por el viento, principal elemento a tener en cuenta para este potencial. En el 2016 sopló en dirección NE con una velocidad media de 5,3 km/h, cifra muy por debajo de la media nacional de 8,7 Km/h según revela el anuario estadístico de Cuba (ONEI, 2016).

Lo expuesto anteriormente, no significa que este potencial no se pueda aplicar en el territorio, sino, que no constituye un elemento a aplicar a gran escala, es más bien vinculado a las actividades de bombeo de agua como forma de sustitución de energía, a partir de los molinos de vientos. Aspecto en el cual el territorio ya cuenta con experiencias anteriores, principalmente relacionadas con la ganadería y los cultivos varios. La investigación centró la atención en un levantamiento de las necesidades que posee el municipio, de este tipo de tecnología, a partir de la información suministrada por la Delegación Municipal de la Agricultura en el territorio. La estimación de este potencial se realizó sobre la base de lo expuesto anteriormente.

Solar fotovoltaica: En cuanto a este potencial, se puede referir que a nivel global es uno de los mayores potenciales con que cuenta la humanidad, pues según la edición de 2018 del Energy Outlook de British Petroleum (BP), citado por Martínez Plasencia (2018), este potencial presenta una alta competitividad con las restantes fuentes de energía, el cual aporta el mayor crecimiento en 2018 dentro de las FRE.

En el territorio en particular, esta fuente tiene gran potencial, pues según datos publicados en el anuario estadístico año 2016, la temperatura máxima media en ese periodo fue de 31.7 °C, por encima de la media provincial y nacional de 30.4 °C y 30.0 °C respectivamente, lo cual evidencia en gran medida el impacto que recibe el territorio de las radiaciones solares. En comunicación efectuada, con especialistas del departamento de inversiones de la empresa eléctrica en la provincia, se pudo conocer que esta organización, tiene identificadas las áreas donde se pueden instalar parques solares fotovoltaicos (PSFV), lo cual responde a intereses nacionales y para lo cual existe un programa de desarrollo dirigido por la Unión Nacional Eléctrica (UNE).

En consonancia con lo expuesto anteriormente, se decide analizar en la investigación el uso de este potencial, como vía de sustitución o fuente alternativa en aquellas instalaciones u objetivos económicos que presentan gran dimensión de cubiertas, que pudieran ser explotadas con este tipo de tecnología.

Solar térmica: En el caso de este potencial, sucede algo parecido a lo relacionado en el punto anterior, solo que en este sentido el territorio no posee experiencias anteriores de su implementación, además por las características propias de su funcionamiento y las necesidades del territorio, no se encuentra dentro de las prioridades del gobierno local.

Analizados los potenciales pertenecientes al grupo # 1, se pasa entonces a realizar el análisis del grupo # 2 que comprende la biomasa de manera general y los distintos tipos de residuos que se generan en el territorio. Para un mejor resultado del análisis, éste se realiza para cada tipo de residuo generado en el territorio. Los principales tipos de residuos que se encuentran en el territorio se describen en lo adelante.

Residuos pecuarios (vacunos, porcinos, equinos, ovinos, caprinos, canículas y avícolas)

En el territorio existe un gran potencial biodegradable proveniente de los residuos pecuarios ya sean vacunos, porcinos, equinos, ovinos, caprinos, canículas y avícolas, que podrían utilizarse para la generación de metano. Para la realización de esta investigación solo se tomaron en cuenta los residuos porcinos debido a que en el caso de los restantes residuos son rebaños cuya estabilidad es baja, presentan poco tiempo de estabulación y se localizan en producciones aisladas lo cual dificulta el proceso de recolección de las excretas. En el caso del porcino, sucede lo contrario, son animales que permanecen estabulados durante toda su vida, tiene mayor estabilidad en su producción y existen concentraciones considerables de animales en determinados lugares del territorio, que posibilitan mejor su recolección.

Se analizaron todas las unidades porcinas del territorio, así como las cochiqueras de las diferentes unidades pertenecientes al sistema de la agricultura. El resto representan producciones aisladas y no son fiables en cuanto a la cantidad de cabezas, y la estabilidad de sus producciones. Estos factores dependen en gran medida de los intereses particulares de los productores, y pueden presentar alta variabilidad en su comportamiento. Análisis posteriores podrían considerar estos potenciales.

Residuos agroindustriales arroceros.

Los principales residuos agroindustriales del territorio, están vinculados directamente con la producción arrocera, que constituye el principal actor económico del municipio y el principal generador de estos residuos. Estos desechos a su vez se dividen en tres tipos fundamentales (García, 2010), los cuales serán descritos a continuación.

Residuos de Cosecha (Paja)

La paja es un residuo que queda en el campo, luego de efectuada la cosecha producto de la limpieza que realizan las máquinas cosechadoras en el momento del corte. Estudios anteriores refieren que el índice de este residuo es de aproximadamente 4,86 t/ha (García, 2010), valor que se tendrá en cuenta para determinar el potencial de este residuo.

Actualmente este residuo, tiene poco uso, en el que una parte se recoge para su utilización como pasto en la ganadería y el resto es quemado en el campo, por lo que

sería recomendable utilizarlos como fuente de energía renovable, máxime cuando este renglón económico a mantener un incremento sostenido en sus producciones y por ende un aumento en la cantidad de residuos.

Residuo de Secadero (Impurezas).

Este residuo está compuesto por algunas impurezas, restos de ramas y tallos, paja y punta de arroz, que acompañan la masa de arroz a su llegada a la industria y que son generados por esta a partir de sus procesos de limpieza. El índice de generación de este residuo según datos obtenidos el departamento de calidad de la EAIG, pueden oscilar entre un 4 y un 8% del arroz húmedo total recibido en las industrias. Actualmente este residuo prácticamente no se utiliza en ninguna actividad y es quemado en los alrededores de la instalación lo que constituye una gran carga contaminante para el medio ambiente sin aprovechar su potencial, siendo un potencial a considerar en este trabajo.

Residuos del Molino (Cáscara o Cascarilla).

Estos residuos, son los provenientes del proceso de molinada del arroz, en el cual el grano es liberado de la cáscara. Varios autores (García, 2010; Huaraz Choi, 2013; Urquiza, 2016), refieren que el índice de cascarilla alcanza valores entre el 20 y el 22 % del total de cáscara a molinar, en esta investigación se tendrá en cuenta el índice obtenido en el departamento de producción de la EAIG que obtuvo una media de 22.1%. Este potencial al igual que los anteriores se encuentra débilmente explotado, ya que actualmente una pequeña parte se utiliza en las actividades avícolas como camada, una menor parte como forma de incorporarle sustrato al suelo y el resto es quemado en los alrededores de la instalación, por lo que se impone tenerlos en cuenta como FRE.

Es necesario enfatizar que, en el año tomado como referencia para el análisis (2017), la actividad arrocera se explotó en menos del 50 % a causa de las afectaciones causadas por la sequía en el territorio, lo cual significa que los potenciales que se obtendrán a partir de estos residuos equivalen a menos de la mitad de lo que genera esta actividad en el territorio.

Residuos forestales: En el territorio estos residuos están concentrados fundamentalmente en la existencia de varias zonas pobladas de marabú, que pudieran ser aprovechadas como FRE a partir de su termo-conversión.

Actualmente estos residuos se utilizan para obtención de carbón con destino a la exportación y vinculados a actividades agropecuarias, por lo que esta población puede disminuir considerablemente en los años venideros. A causa del alto precio del carbón vegetal, obtenido a partir de esta planta en el mercado internacional (principalmente europeo), el uso de este potencial como FRE no se tendrá en cuenta en la investigación, pues este constituye en la actualidad el principal rublo exportable y proveedor de divisas de la empresa y por tanto del territorio.

Residuos sólidos urbanos: Este constituye un potencial presente en todo el país, pero su implementación depende en gran medida de varios factores relacionados con su composición, la cual al ser muy heterogénea y diversificada limita sus posibilidades de aprovechamiento en el territorio. Por lo que este potencial no se tendrá en cuenta en la investigación.

2.3.2 Estimación del potencial energético de las FRE

Como se puede apreciar el territorio cuenta con una gran variedad de potenciales de FRE, que no se manifiestan de la misma forma ni en la misma medida. Por tal motivo para determinar el volumen de estas fuentes y estimar su potencial se hace necesario, analizar cada uno por separado y convertirlos todos en una misma unidad de energía, en el caso de esta investigación el autor decide expresar los resultados finales en toneladas equivalentes de petróleo (Tep.), ya que es la unidad de medida por la que se rige la Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI).

Potencial eólico

Para evaluar el potencial de energía eólica del municipio, a partir de lo expresado en el epígrafe 2.3.1, la investigación tiene en cuenta la necesidad de molinos de viento destinados al bombeo de agua que presenta la localidad. Luego se realizó un análisis lógico retrospectivo de la energía sustituida por estos equipos en el período (2011-2016) en Tep(ONEI, 2016) y se tomó la media de este valor como el coeficiente a

multiplicar por la cantidad de dispositivos que se necesitan para determinar el potencial total. Estos datos se procesaron en una hoja de cálculo de Excel, para lo cual se utilizó la expresión de cálculo siguiente:

$$PT_{eólica} = N_{dispositivos} * FES_{periodo}$$

Donde:

$PT_{eólica}$: Potencial total de energía eólica (Tep).

$N_{dispositivos}$: Cantidad de dispositivos que se necesitan incorporar (Dispositivos).

$FES_{periodo}$: Valor medio del factor de energía sustituida (Tep/Dispositivos).

Potencial solar

Para la evaluación de este potencial, a partir de lo planteado en el epígrafe 2.3.1, se determinó la cantidad de metros cuadrados de cubierta (con condiciones constructivas adecuadas para la instalación de PSFV) disponibles en el sector estatal del territorio (EAIG, 2017). Además, resultó necesario también determinar la energía que puede generar un PSFV por metro cuadrado y establecer el valor de eficiencia de este sistema, el cual se obtuvo en información proporcionada por especialistas de la OBE en la provincia. Los datos seleccionados fueron procesados en una hoja de cálculo de Excel, para lo cual se utilizó la expresión siguiente:

$$PT_{solar} = A_{disponible} * I_{generación} * K_{sistema} * FC_{tep}$$

Donde:

PT_{solar} : Potencial total de energía solar.

$A_{disponible}$: Área donde se va a instalar el panel en m^2

$I_{generación}$: Índice de generación de energía en kW/m^2 .

$K_{sistema}$: Eficiencia de producción de energía del sistema = 0.95 (Este valor se establece a partir de experiencias anteriores que indican una eficiencia mínima de estos sistemas del 95 %).

FC_{tep} : Factor de conversión de kW a Tep (1Tep = 11630kW).

En el caso del área disponible, solo se tuvo en cuenta aquellas instalaciones que poseían las condiciones constructivas, adecuadas para este fin.

Potencial de biomasa

En el caso de este potencial al tratarse de diferentes tipos de residuos, existen varias formas de obtener energía a través de estos, pero sin duda alguna las dos vías fundamentales son la combustión y el biogás. Donde el nivel de humedad de estos residuos resulta determinante para un mejor aprovechamiento de este potencial.

Este tipo de residuos se analiza por separado, en el caso de las excretas porcinas, los residuos de cosecha y de secadero se determinan a partir de la obtención de biogás. Por otro lado, los residuos del molino (cascarilla), se determinan a partir de la obtención de energía por medio de la combustión.

Potencial de residuos pecuarios

Primeramente, es necesario determinar el inventario de rebaño de estos animales, por cada unidad dentro de cada circuito. Para la evaluación de este potencial solo se tuvo en cuenta, los productores pertenecientes al sector estatal, debido que es el sector que mayor estabilidad presenta en sus producciones, además de ser el más fiable en cuanto a la información presentada.

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:

$$PT_{\text{porcino}} = \sum (N_i * M_{(i)}) * M_{\text{exc}} * SV_{\text{porcino}} * K * F_{C_{\text{tep}}}$$

Donde:

PT_{porcino} : Potencial total de energía porcino en Tep.

N_i : Existencia de rebaño de cada productor.

M_i : Peso promedio del rebaño existente en cada unidad en kg.

M_{exc} : Fracción másica de la excreta porcina de cada animal (5%).

SV_{porcino} : Porcentaje de sólidos volátiles de la excreta porcina (20%)

K : Rendimiento de biogás de las excretas porcinas (0.45 m³ de biogás/kg SV)

$F_{C_{\text{tep}}}$: Factor de conversión de m³ de biogás a Tep (0.45 Tep/m³ de biogás) (ONEI, 2013).

Potencial de residuos agroindustriales del arroz

En el caso de los residuos derivados de la agroindustria arrocera, es preciso tener en cuenta, que elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia en la combustión debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química del material (Valverde; Sarría; Monteagudo, 2007). Por tal motivo con los residuos de cosecha y del secadero los cuales presentan alto contenido de humedad, su potencial se determina a partir de la obtención de biogás.

Residuos de cosecha

En el caso de los residuos de cosecha, primeramente, se determinó el volumen total de residuos generado en el periodo evaluado, para lo cual fue necesario contactar con el departamento de producción de la EAIG. Los datos obtenidos fueron procesados en una hoja de cálculo de Excel para lo cual se utilizó la expresión siguiente:

$$PT_{\text{cosecha}} = \sum (A_{\text{siembra}} * I_{\text{res}}) * \%ST_{\text{paja}} * K * F_{\text{Ctep}}$$

Donde:

PT_{cosecha} : Potencial total Residuos de Cosecha en Tep.

A_{siembra} : Área total de siembra de cada unidad en ha.

I_{res} : Índice de residuos generados (4,86t/ha) (García, 2010).

$\%ST_{\text{paja}}$: % de sólidos totales de la paja.

K : Rendimiento de biogás (306 m³biogás/tonelada de ST)

F_{Ctep} : Factor de conversión de m³ de biogás a Tep (0.45 Tep/m³ de biogás) (ONEI, 2013).

Residuos de secadero

En el caso de los residuos de secadero, también se determinó el volumen total de residuos generado en el periodo evaluado, para lo cual fue necesario contactar con el departamento de calidad de la EAIG. Los datos obtenidos fueron procesados en una hoja de cálculo de Excel se utilizó la expresión siguiente:

$$PT_{\text{secadero}} = \sum (HR * Imp_{\text{Iimp}}) * \%ST_{\text{paja}} * K * F_{\text{Ctep}}$$

Donde:

PT_{secadero} : Potencial total Residuos de Secadero en Tep.

HR: Es el total de arroz húmedo recibido por cada unidad en t.

Imp_{limp}: Índice de residuos generados en % (Según cada unidad).

%ST_{paja}: Porcentaje de ST de la paja (Según cada unidad).

K: Rendimiento de biogás (306 m³de biogás/t)

F_{Ctep}: Factor de conversión de m³ de biogás a Tep (0.45 Tep/m³ de biogás) (ONEI, 2013)

La composición de ST y SV de los residuos arroceros se muestra en la tabla 2.1 que referencia el valor de estos análisis presentes en estos sustratos.

Tabla 2.1 Concentración de sólidos totales y volátiles de los residuos del procesamiento del arroz

Característica	Sustrato		
	Paja	Residuos de secadero	Cáscara
SV (%)	87.81	89.30	89.23
ST (%)	79.85	77.54	77.78

Fuente: (Oria Gómez, 2010).

Residuos de molino (cascarilla)

Para el caso de este residuo que posee un bajo por ciento de humedad se determina su potencial a partir de la combustión. En tal sentido al igual que los casos anteriores también se determinó el volumen total de residuos generados en el periodo, para lo cual fue necesario contactar con el departamento de producción industrial de la EAIG.

En este caso en particular, la expresión de cálculo es más sencilla, puesto que, en la tabla de factores de conversión de la ONEI, aparece el equivalente a una tonelada de cascarilla en Tep. Entonces la expresión de cálculo utilizada fue:

$$PT_{\text{molino}} = \sum (V_i * F_{C_{\text{tep}}})$$

Donde:

PT_{molino}: Potencial total de residuos molino (cascarilla) en Tep.

V_i: Volumen de cascarilla generado en cada unidad en toneladas.

F_{Ctep}: Factor de conversión de t de cascarilla a Tep (0,3498), (ONEI, 2013).

Una vez concluida la estimación de los potenciales de FRE existentes en el territorio, los resultados son llevados a una tabla para facilitar el análisis y mostrar de una manera más clara estos resultados.

2.4 Etapa 3. Selección de escenarios relevantes para implementación de las FRE

Al igual que en las etapas anteriores, se cumple una secuencia para el desarrollo de esta etapa los cuales se muestran en la figura 2.4.

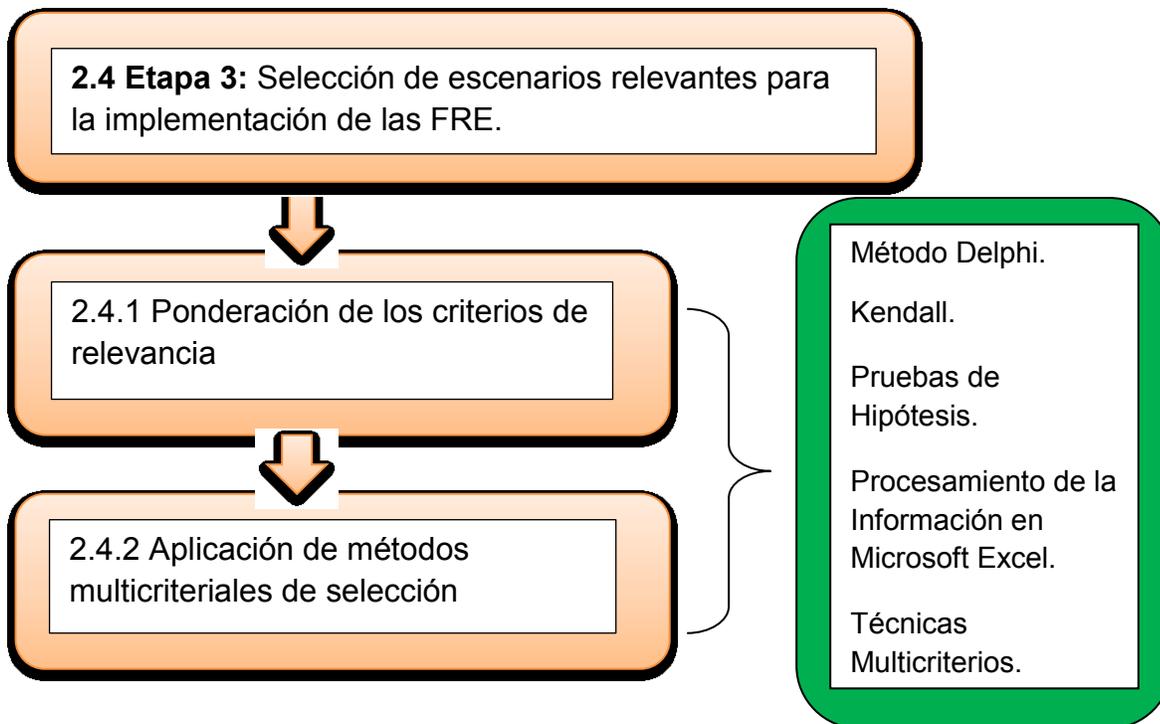


Figura 2.4 Secuencia de la tercera etapa de la investigación.

Fuente: Elaboración Propia.

2.4.1 Ponderación de los criterios de relevancia

Para dar cumplimiento a esta etapa de la investigación, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ Se identifican los posibles expertos a utilizar en la investigación, los cuales deben estar relacionados de alguna manera con el tema tratado. Un elemento importante dentro de este paso es que los expertos deben ser identificados a partir de las características siguientes: experiencia, competencia, creatividad, disposición a participar en la encuesta, capacidad de análisis y de pensamiento, interés colectivista y autocrítico.

- ✓ Luego se realiza, la evaluación de los expertos, a partir de determinar su nivel competencia, para lo cual se utilizó el método Delphi a través de la metodología establecida por Hurtado de Mendoza (Mendoza, 2003).

Coefficiente de Conocimiento o Información (Kc). Se determina por la expresión (1).

$$K_{cj} = n * (0,1) \tag{1}$$

Donde: Kcj: Coeficiente de Conocimiento o Información del experto “j”

n: Rango seleccionado por el experto “i” (tabla 2.2).

Tabla 2.2 Rango de conocimiento en el tema, auto-seleccionado por cada experto.

Experto “i”\ Escala	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Coefficiente de Argumentación (Ka) de cada experto, se determina por la expresión (2).

$$K_a = \sum_{i=1} N_j \tag{2}$$

Donde: Ka: Coeficiente de Argumentación

n_i : Valor correspondiente a la fuente de argumentación “i” seleccionada por cada uno de los expertos. Las casillas (1 hasta 6) marcadas por cada experto en la tabla se llevaron a los valores de una tabla patrón (tabla 2.3).

Tabla 2.3 Fuentes de argumentación evaluadas en cada uno de los expertos.

Fuentes de argumentación	Alto	Medio	Bajo
Estudios teóricos realizados	0.27	0.21	0.13
Experiencia obtenida	0.24	0.22	0.12
Conocimientos de trabajos en Cuba	0.14	0.10	0.06
Conocimientos de trabajo en el extranjero	0.08	0.06	0.04
Consultas bibliográficas	0.09	0.07	0.05
Cursos de actualización	0.18	0.14	0.10

Una vez obtenidos los valores del **Coefficiente de Conocimiento** (K_c) y el **Coefficiente de Argumentación** (K_a), se procedió a obtener el valor del **Coefficiente de Competencia** (K), que finalmente fue el coeficiente utilizado para la selección de los expertos tomados en consideración para la ponderación de cada indicador. Este coeficiente (K) se calculó según la expresión (3).

$$K = 0,5 (K_c + K_a) \quad (3)$$

Donde: **K**: Coeficiente de Competencia

Posteriormente se valoró el resultado del coeficiente de competencia de cada experto en la siguiente escala según el método empleado:

0,8 < **K** < 1,0 Coeficiente de Competencia Alto

0,5 < **K** < 0,8 Coeficiente de Competencia Medio

K < 0,5 Coeficiente de Competencia Bajo

Se seleccionaron para la consulta, los expertos de competencia alta y media, nunca a los de competencia baja.

Después se seleccionan los expertos, para lo cual se hace necesario primero que todo, determinar la cantidad de expertos necesarios para la investigación. Este valor se determinó por la expresión (4), a partir de la distribución binomial.

$$n_e = \frac{p(1-p)k}{i^2} \quad (4)$$

Donde:

n_e : cantidad necesaria de expertos

p : proporción estimada de errores de los expertos

i : nivel de precisión deseada en la estimación

k : constante asociada al nivel de confianza elegido ($1-\alpha$).

Tabla 2.4 Valores de la constante **k** para el nivel de confianza ($1-\alpha$).

(1-α)	α	$\alpha/2$	$Z_{\alpha/2}$	K
0,90	0,10	0,05	1,64	2,6896
0,95	0,05	0,025	1,96	3,8416
0,99	0,01	0,005	2,58	6,6564

Los valores asignados a las variables de la expresión (4) fueron:

$p: 0,01$ $i: 0,10$ $(1-\alpha)= 0,99$ $k= 6,6564$

Los cuales se encuentra dentro de los límites establecidos en la INC-49:81 para que el número de expertos esté entre 7 y 15.

Una vez determinada la cantidad de expertos se procede a su selección, esta se realiza a partir de los resultados obtenidos en el paso # 2, por medio del nivel de competencia alcanzado por cada experto, en el que se seleccionan los que mayor nivel de competencia poseen entre expertos propuestos inicialmente, de acuerdo con el resultado obtenido en la expresión (3).

Los cuestionarios aplicados a cada uno de los expertos para el cálculo del coeficiente de competencia (Anexo # 1).

2.4.2 Aplicación de métodos multicriteriales de selección

Para aplicar el método de selección, a partir de técnicas Multicriterios, igualmente se elaboran una serie de pasos para aplicar este método planteados por Marrero Delgado, los cuales se describen a continuación:

Paso # 1: Definición de las alternativas o escenarios a evaluar.

Para desarrollar este punto se tuvo en cuenta la estructura en la que se trabajó durante la investigación, que se basó en el trabajo por circuitos del municipio La Sierpe, por lo cual estos serán los escenarios o alternativas a evaluar.

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

En este paso, se definen los criterios de decisión a tener en cuenta en la investigación basado en la teoría de (7 ± 2), que plantea que el ser humano solo puede desarrollar (7 ± 2) cosas a la vez. Estos criterios se establecieron de conjunto con los expertos en tormenta de ideas, y partiendo de reportes encontrados en la literatura.

Por sus características estos criterios se pueden expresar de forma cuantitativa o cualitativa, en el caso este último es necesario cuantificar estos criterios cualitativos, en aras de poder emplearse en los cálculos a realizar. En esta investigación se establecieron cinco criterios cualitativos y tres cuantitativos, en el caso de estos últimos los valores se determinaron a partir de los resultados obtenidos en las dos primeras

etapas de la investigación. En el caso de los criterios cualitativos, se definió un rango de evaluación para cuantificarlos según las escalas que se muestran en la tabla 2.5

Tabla 2.5 Rango de Evaluación de los Criterios Cualitativos

Criterios Cualitativos	Rango	Valor del Rango
Experiencias previas en Cuba.	Ninguna	1
	5 o Menos	2
	Más de 5	3
Nivel de Prioridad	Baja	1
	Media	2
	Alta	3
Articulación con otros Proyectos	No Articula	1
	Articula	2
Daños Ambientales	Bajos	1
	Moderados	2
	Severos	3
Percepción de los Actores	Desfavorable	1
	Aceptable	2
	Favorable	3

Fuente: Elaboración Propia.

Paso # 3: Evaluación de cada alternativa según cada criterio.

Este paso se cumplimenta, a través de datos obtenidos en la recopilación de información, a partir de pronósticos y estimaciones, además de los intereses de los actores implicados en la investigación.

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

Dentro de este paso de la investigación, un elemento importante a tener en cuenta, es la determinación del nivel de concordancia del juicio de los expertos. En la cual los expertos seleccionados asignaron un orden de importancia a los criterios a evaluar definidos en el paso # 2, para ello se utilizó el cuestionario mostrado en el (Anexo # 2). Una vez completado el cuestionario se conformó la tabla resumen, que muestra los valores de importancia asignados por cada experto a los criterios (Anexo # 3).

Posteriormente se determinó el nivel de concordancia basado en el cálculo del coeficiente de Kendall (5) que expresó el grado de asociación entre los M expertos, constituyendo una medida del grado de correlación utilizando rangos.

$$W = \frac{1 - \sum \sigma^2}{K_{exp} * (n^3 - n)} \quad (5)$$

Donde:

n: cantidad de criterios

K_{exp}: cantidad de expertos.

σ: desviación de valor medio de los juicios emitidos y se calculó por la expresión (6):

$$\sigma = \sum R_j - T \quad (6)$$

Donde:

T: factor de comparación (valor medio de los rangos) y se calculó por la expresión (7):

$$T = 0.5 * (n+1) * K_{exp} \quad (7)$$

R_j: valores asignados por los expertos a cada criterio.

Para probar la significación del grado de concordancia de los expertos al ordenar los criterios por su importancia (significación de W) se empleó la siguiente prueba estadística, recomendada para cuando la cantidad de factores (criterios) es superior a 7.

Ho: no hay concordancia en el juicio de los expertos

H1: hay concordancia en el juicio de los expertos

Estadígrafo: $X^2 = K_{exp} * W(n-1)$

Región crítica: $X^2 > X^2_{(a; k-1)}$

Determinando $X^2_{(a; k-1)}$ con el número criterios ponderados (n), en la tabla Chi-Cuadrado (Siegel 1970), (Anexo # 4). La concordancia entre los expertos se determina a partir del rechazo de la hipótesis nula (Ho), sí $X^2 > X^2_{(a; k-1)}$ con el nivel de significación tomado para la prueba de hipótesis realizada.

Para dar continuidad al paso # 4, una vez evaluado el nivel de concordancia en el juicio de los expertos, para cada uno de los criterios a evaluar, se procedió entonces a la ponderación de estos criterios.

Existen varios métodos para establecer la importancia relativa o pesos de los criterios, estos pueden ser objetivos y/o subjetivos. En la investigación esta ponderación se realiza con el empleo de cada método y luego se combinan para arribar a un mejor resultado (Marrero Delgado, 2001).

Entre los métodos de cálculo subjetivos se encuentran el Triángulo de Füller, la Ordenación Simple, la Asignación probabilística de Rietveld, el AHP de Saaty, la Tasación Simple, las Comparaciones sucesivas y la Asignación directa por ratios; estos métodos permiten tener en cuenta las preferencias del decisor de un criterio respecto a otro. Con el fin de utilizar los valores de importancia dados por los expertos a cada indicador se utilizó la ordenación simple pues se ajusta a los requerimientos de los indicadores.

Sin embargo, teniendo en cuenta que los valores fueron ordenados por orden de importancia dando 1 al valor más importante y el valor del número de máximo de indicadores al menos importante (contrario a lo que establece el método de Ordenación simple), fue necesario homogenizar la matriz como el inverso de los Rij, con vistas a lograr el mayor factor de peso para el elemento más importante.

El cálculo del peso por indicador se efectuó mediante la expresión (8):

$$W = \sum (1/R_j) / \sum (1/R_{ij}) \quad (8)$$

Donde:

Rij: valor otorgado por cada experto "i" a cada indicador "j"

Como se mencionó anteriormente la importancia relativa o pesos de los criterios debe ser establecida por métodos objetivos y subjetivos, a partir de una combinación de ambos pesos, por tanto, una vez determinado el peso por el método subjetivo, se procede entonces a determinar el peso de estos criterios por métodos objetivos.

Entre los métodos objetivos se pueden encontrar el Método de Diakoulaki y el de la Entropía, que solo tienen en cuenta los valores de la matriz neutralizada obviando las preferencias que el decisor tiene de un criterio respecto a otro. A partir de los datos obtenidos en la matriz ejemplo se calcularon porcentajes de peso por métodos objetivos, utilizando el método de la entropía. Para lo cual fue necesario primeramente homogenizar los valores R_{ij} de dicha matriz a valores H_{ij} , con el fin de convertirla en una matriz donde los valores máximos sean los mejores indicadores.

Para esto se utilizó la siguiente expresión (9).

$$H_{ij} = Q_h - R_{ij} \quad (9)$$

Donde: Q_h es un número arbitrario suficientemente grande para que todos los valores pasen de mínimo a máximo. En esta investigación se tomó como valor $Q_h = 1000$ y solo se aplicó al criterio C3 en la tercera fila de la matriz.

Para dar continuidad al ejercicio es necesario normalizar los datos o sea llevarlos a una misma unidad de medida, de manera que puedan ser comparados. Para ello se neutralizaron los valores de la matriz homogenizada, obteniéndose la matriz normalizada (N_{ij}). A partir de estos valores se determina el valor de la entropía (E_j) de cada criterio, la cual se determinó a partir de la expresión (10).

$$E_j = -k * (\sum N_{ij} * \log N_{ij}) \quad (10)$$

Donde:

K : es una constante que se ajusta para que siempre sea $0 \leq E_j \leq 1$, para todo j , y se determina a partir de la expresión de cálculo siguiente:

$$k = 1 / (\log m) \quad (11)$$

Donde: m ; es la cantidad de criterios.

Como la entropía (E_j) de un criterio es tanto mayor cuanto más iguales son sus evaluaciones N_{ij} , lo cual es precisamente lo contrario de lo que se desea que ocurra si (E_j) fuese a ser un valor aproximado del peso de W_{ij} del criterio.

Se utilizó por tanto una medida opuesta que se puede denominar como la diversidad (D_j) del criterio la cual se determina por la expresión (12).

$$D_j = 1 - E_j. \quad (12)$$

Finalmente, después de normalizada a suma uno, las diversidades D_j se obtienen los pesos objetivos por la expresión (13).

$$W_{ij} = D_j / \sum D_j \quad (13)$$

Por último, una vez determinado los pesos objetivos y subjetivos de los criterios ponderados, se procede entonces a determinar el peso de cada criterio combinando los dos métodos, a partir de la expresión planteada por (Marrero Delgado, 2001). La cual plantea lo siguiente:

$$W_{ij} = W_{ij\text{ obj}} * W_{ij\text{ sub}} / \sum W_{ij\text{ obj}} * W_{ij\text{ sub}} \quad (14).$$

Donde:

$W_{ij\text{ obj}}$: es el peso del indicador basado en métodos objetivos.

$W_{ij\text{ sub}}$: es el peso del indicador basado en métodos subjetivos

Paso # 5: Construcción de la matriz de decisión.

En este paso se construye la matriz de decisión a partir de los cálculos realizados en los pasos anteriores, de acuerdo con los escenarios a seleccionar y los criterios evaluados.

Paso # 6: Aplicar un método de agregación.

Pueden existir varios métodos de agregación, en este caso se utiliza el de suma ponderada o utilidad aditiva (SP_i), como también se denomina. Este se determina por la expresión de cálculo (15).

$$SP = \sum_j N_j * W_j \quad (15)$$

Paso # 7: Ordenar las alternativas o escenarios.

Este paso se cumplimenta, a partir de ordenar, las alternativas o escenarios en forma ascendente o descendente a partir de su valor de suma ponderada SP_i , de manera que permita su selección.

Paso # 8: Selección del escenario o alternativa.

Este sería el último paso contenido dentro de la investigación, en el cual se selecciona el escenario que mayor valor de SPi tenga, el que sería entonces el escenario más relevante para la implementación de FRE, en el territorio evaluado.

Es necesario resaltar que esta metodología propuesta por Marrero Delgado, incluye dos últimos pasos, que serían la implantación y el seguimiento y control, los cuales no se desarrollan en la investigación puesto que no es objetivo de la misma.

Conclusiones Parciales Capítulo 2

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 el desarrollo de este capítulo, se exponen los resultados obtenidos durante la identificación de los principales escenarios para la implementación de las FRE en el municipio de la Sierpe como apoyo al desarrollo local. Para este fin se desarrollaron las tres etapas descritas en el capítulo II.

3.2 Etapa 1 Caracterización energética del municipio

3.2.1 Descripción general del municipio La Sierpe

El municipio La Sierpe, surge en 1976 a raíz de la división político-administrativa, aprobada en el Primer congreso del Partido Comunista de Cuba (PCC). Se constituyó a partir de la unión de los antiguos municipios de Mapos y El Jíbaro y la adquisición de algunos territorios pertenecientes a Jatibonico, Sancti Spíritus y Ciego de Ávila, en la actualidad pertenece a la provincia espinosa.

A pesar que constituye uno de los municipios más jóvenes del país, cuenta con una historia precolombina, marcada por la presencia de asentamientos aborígenes en los territorios que ocupan las comunidades de Mapos y Natividad, así como en los márgenes del río Zaza en la Toma de Agua, de donde se tienen evidencias de la existencia de estas comunidades primitivas.

En la etapa colonial tuvo relevancia por la construcción de varios ingenios azucareros en las localidades de Mapos, Natividad, San Fernando y Santa Ana, los cuales trabajaban fundamentalmente con fuerza de trabajo esclava. En la etapa insurreccional, marcan relevancia en la historia el alzamiento del patriota Néstor Leonelo Carbonell en la finca el Meloncito y la constante presencia del general Máximo Gómez en las varias batallas que sostuvo en el poblado del Jíbaro durante la guerra de liberación nacional.

Se encuentra ubicado en la parte sureste de la provincia, al norte limita con el municipio Jatibonico, al sur con el golfo de Ana María y el Mar Caribe, al este con Ciego de Ávila y al oeste con el municipio Sancti Spíritus (ONEI, 2016). Esta propia fuente muestra que el territorio posee una extensión territorial de 1075.02 km², la cual representa el 15.9% de la superficie total de la provincia. Cuenta con una población de 16697 habitantes, con una densidad poblacional de 15.5 hab/km² la más baja del país.

El 56.33% de la población se encuentra ubicada en zonas urbanas, agrupadas en cuatro consejos populares y el resto en comunidades rurales que suman 16 asentamientos. Se caracteriza por ser un territorio agroindustrial–arrocero, sus industrias se encuentran diseminadas en varias comunidades del territorio relativamente cercanas a las bases productivas y a una distancia de entre 15 y 20 km de la cabecera municipal. Cuenta con una superficie agrícola total de 80.9 Miles de hectáreas (Mha), de las cuales 43 mil son cultivadas, y cerca del 70% se emplea en el cultivo del arroz. En el resto del territorio se desarrollan la actividad pecuaria, ganadera, forestal y de cultivos varios, además de la acuicultura (ONEI, 2016).

Este territorio tiene gran responsabilidad en la producción de alimentos, no solo para el municipio, sino también para la provincia. Dentro de los principales sistemas productivos enclavados en el territorio, se destacan la Empresa Agroindustrial de Granos (EAIG) “Sur del Jíbaro” (principal renglón económico y fuente de empleo de la localidad), especialmente identificados en tres grandes industrias dedicadas al secado y beneficio del arroz, la estación de alevinaje Acuisier, el centro multiplicador de porcino ubicado en el poblado tamarindo y las diferentes bases productivas dedicadas al cultivo del arroz. También, se localizan sistemas productivos de menor tamaño como, la mini-industria de frutas y vegetales, la mini-industria de productos lácteos y otros centros dedicados a la producción de bienes y servicios asociados a la actividad económica del municipio en la localidad.

Además de las producciones agrícolas, el municipio cuenta con un importante desarrollo de la ganadería, que además de producir la leche con destino a la población, suministra este producto al Combinado Lácteo "Río Zaza" de la cabecera Provincial. El Sector campesino cuenta con ocho Unidades Básicas de Producción Cooperativa (UBPC), cinco dedicadas al cultivo del arroz y tres dedicadas al cultivo de la caña, que representan la fuente principal de materias primas para el desarrollo del municipio. Además, cuenta con siete Cooperativas de Crédito y Servicios (CCS) dedicadas al cultivo del arroz, la ganadería y los cultivos varios(ONEI, 2016).

En cuanto aspectos sociales y de interés de la localidad, de manera general el municipio se caracteriza, por ser relativamente tranquilo de tradiciones revolucionarias y apegadas a los principios revolucionarios.

3.2.2 Caracterización del consumo energético en La Sierpe

Primeramente, es conveniente definir algunos elementos esenciales que permitan comprender mejor dicha caracterización, anteriormente se expuso una breve panorámica de los principales aspectos geográficos, sociales y económicos del territorio. En este sentido dos puntos importantes son la extensión territorial del municipio (la más alta de la provincia) y la cantidad de habitantes (la más baja de la provincia), lo cual técnicamente significa, que se hace necesario recorrer grandes distancias para abastecer la demanda energética del territorio.

A lo expuesto anteriormente, se le suma el hecho de que el territorio no cuenta con una fuente propia para la generación de energía eléctrica, que aporte a la demanda local, en tal sentido esta necesidad, es suplida por medio de dos rutas o líneas (trazas) principales, una proveniente de la Subtransmisión de 110 Kv del municipio Jatibonico, por medio de la traza 1675 (Anexo # 1) y la otra ruta, la traza 3010 (Anexo # 2) que parte de la Subtransmisión de 110 kV, ubicada en las cercanías de la localidad de Tuinucú, la cual recorre la cabecera provincial hasta llegar a los consejos populares de Banao y Guasimal, para posteriormente brindar servicio al resto del municipio sierpense (Fernández Olmo, 2017). La estructura de la distribución eléctrica del municipio, es una de las más simplificadas y más sencillas de la provincia según especialistas de la empresa eléctrica, la misma está compuesta por cinco circuitos que forman parte de las trazas antes mencionadas, tres de estos circuitos (48, 49 y 50) pertenecen a la traza 1675 y los dos restantes (51 y 52) a la traza 3010. Para la alimentación de estos circuitos la localidad cuenta con cuatro subestaciones con una capacidad de 13.2 kV cada una, ubicadas en diferentes puntos del territorio, cuyo objetivo esencial es convertir la energía de entrada en la que se va a distribuir a los clientes de esa subestación. Las particularidades de esta distribución, se muestran en la figura 3.1.

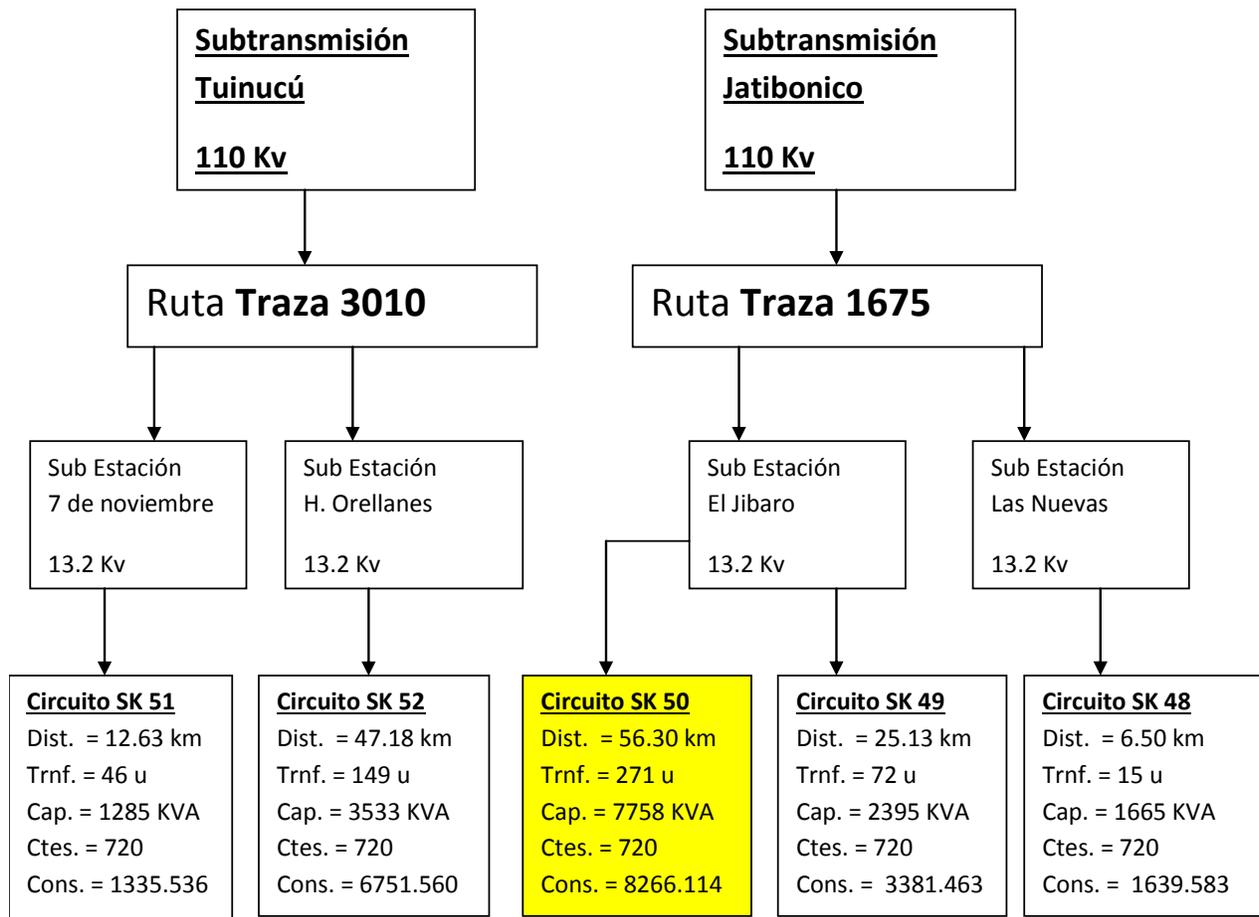


Figura 3.1 Estructura del suministro de electricidad, Municipio La Sierpe. Fuente: Elaboración propia

En el caso de la energía consumida en el año 2017 en la localidad, mostró un comportamiento similar a los años anteriores, a pesar de las afectaciones que sufrieron los procesos industriales arroceros del territorio, ocasionado por la intensa sequía que afectó la producción del cereal en el referido año. Este consumo representó el 85.35% de cumplimiento del plan anual. Lo cual se traduce en un ahorro de 4123.99 MWh, que equivalen a 1030.99 toneladas de combustible convencional evaluadas en 515495.00 USD aproximadamente, según datos del departamento comercial de la referida entidad.

El consumo total de electricidad del municipio representa el 3.29% del consumo de la provincia, el cual, a pesar de tener poca representatividad, equivale al gasto de 5343.564 toneladas de combustible valoradas en aproximadamente 2.67 millones de dólares USD.

El gráfico 3.1 mostró el comportamiento del consumo energético en los sectores estatal y residencial.

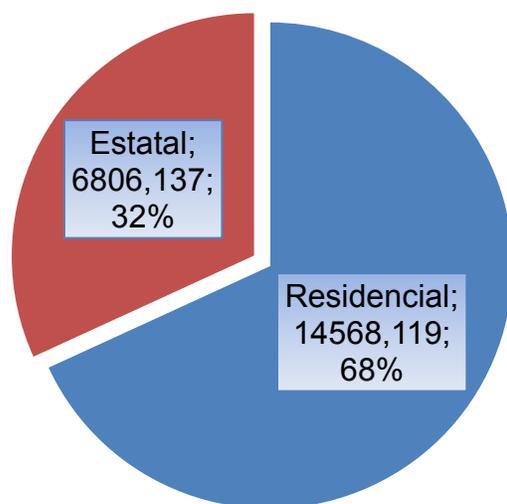


Gráfico 3.1 Estratificación de los consumos de electricidad por sectores en La Sierpe, Año 2017.

Como se puede observar en gráfico 3.1, el sector residencial supera dos veces al sector estatal, el cual a pesar de representar solo el 32% del consumo del municipio, es el que mayor oportunidad de ahorro de energía posee, ya que en él se encuentran las empresas mayores consumidoras del municipio. Además, es un segmento que tiende a tener un comportamiento inestable y hasta cierto punto impredecible, debido a que se encuentra estrechamente vinculado con aquellas actividades generadoras de bienes y servicios en el territorio y que están llamadas a marcar un ascenso paulatino en sus producciones. El sector estatal muchas veces ve limitada su capacidad de producción por la disponibilidad del suministro energético, limitándose también el desarrollo económico y social del país.

Adicionalmente, es el sector estatal el de mayor concentración del consumo, lo que se traduce en que hay un mayor consumo por cada cliente. Por lo antes expuesto, se decide centrar el análisis en el sector estatal. Una representación global del consumo de este sector, por cada circuito durante el 2017 en el territorio, es mostrado en el gráfico 3.2, donde se expresan los datos en forma descendente.

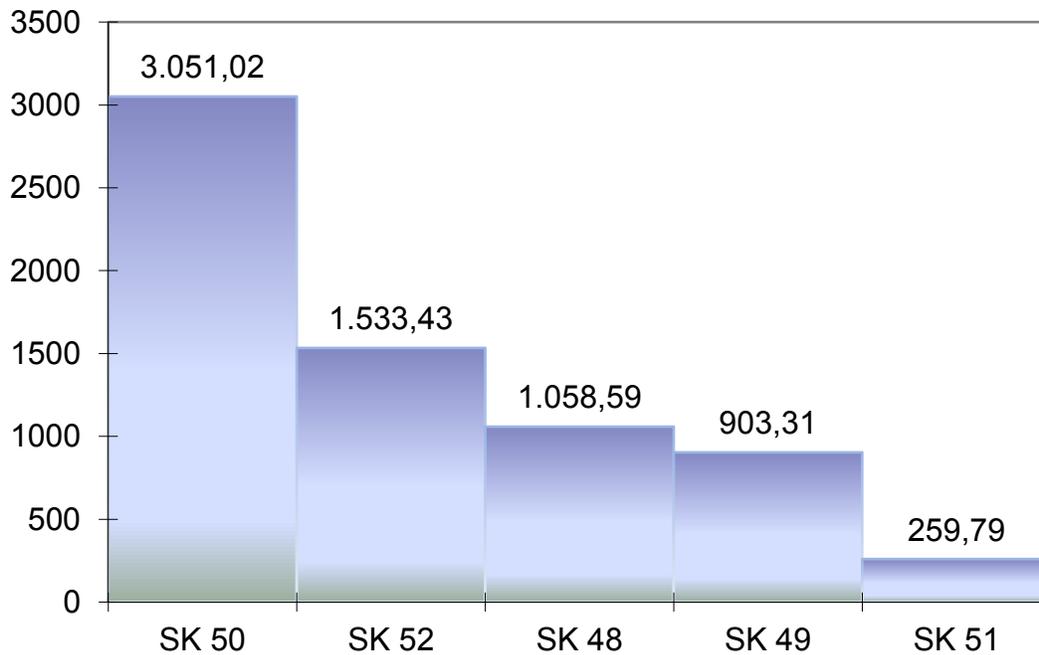


Gráfico 3.2 Consumo de energía eléctrica en el sector estatal por circuitos en La Sierpe, año 2017. **Fuente:** Elaboración propia

En la gráfica se puede observar claramente, como el circuito SK 50, representa el mayor consumidor del territorio con casi el doble del circuito SK 52. Esto está dado principalmente porque este circuito, es el más grande del territorio, suministra energía a la cabecera del municipio y cuenta con varios sistemas productivos altos consumidores. No obstante, se refleja también el consumo del circuito SK 48, que conjunto con los dos primeros representan más del 80% del consumo del sector estatal, en el referido año y precisamente en estos circuitos es donde se alimentan las tres grandes industrias del territorio.

Un elemento importante para el análisis energético, es desglosar los principales sistemas productivos altos consumidores dentro de estos circuitos (tabla 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, y 3.5).

Como se puede observar claramente en la tabla 3.1, existe un sistema productivo que consume por sí solo, el 96,44% de la electricidad del circuito y el 15% del sector estatal. Este es el caso de la unidad empresarial de base (UEB) Las Nuevas, que es una de las tres industrias de secado y molinado de arroz con que cuenta el municipio.

Tabla 3.1 Principales consumidores de electricidad del circuito SK 48.

Sistema Productivo	Consumo	% Relativo Circuito	% Relativo Acumulado Circuito	% Relativo Sector	% Relativo Acumulado Sector
UEB: Las Nuevas	1020,866	96,44	96,44	15,00	15,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2 Principales consumidores de electricidad del circuito SK 49.

Sistema Productivo	Consumo	% Relativo Circuito	% Relativo Acumulado Circuito	% Relativo Sector	% Relativo Acumulado Sector
Bombeo Canales	536,530	59,40	59,40	7,88	7,88
E.B.A.P: Las Nuevas	88,512	9,80	69,19	1,30	9,18
Autoconsumo UBPC: Las Nuevas	43,125	4,77	73,97	0,63	9,82
PANADERIA LAS NUEVAS	41,064	4,55	78,51	0,60	10,42
E.B.A.R LAS NUEVAS	20,408	2,26	80,77	0,30	10,72

Fuente: Elaboración propia

En el caso del circuito SK 49, es el segundo que menos consume en el territorio. En la tabla 3.2 se reflejan los principales consumidores de electricidad de este circuito, los que están asociados a la actividad de bombeo de agua (59.4%) tanto de agua potable como de residuales. El resto de los consumidores que completaron el 80% del consumo del circuito representaron entre el 2.26 y el 9.8% del total.

La mayor parte de los consumidores (26 de 30) del circuito SK 50 (tabla 3.3) que completaron el 80% del total, tuvieron consumos por debajo del 4%. Por lo que se pudo afirmar que el consumo se encuentra disperso entre varios clientes. El molino Los Españoles, el alumbrado público, la EBAP y la CCS Tony Alomá, representaron cerca del 40% del consumo del circuito, siendo sus principales consumidores.

Tabla 3.3 Principales consumidores de electricidad del circuito SK 50.

Sistema Productivo	Consumo	% Relativo Circuito	% Relativo Acumulado Circuito	% Relativo Sector	% Relativo Acumulado Sector
UEB: Españoles	503,27	16,50	16,50	7,39	7,39
Alumbrado Público	295,81	9,70	26,19	4,35	11,74
E.B.A.P: La Sierpe	222,30	7,29	33,48	3,27	15,01
CCS: Tony Alomá	195,00	6,39	39,87	2,87	17,87
Fábrica Hielo EAIG: "Sur del Jíbaro"	112,05	3,67	43,54	1,65	19,52
Panadería La Sierpe	102,35	3,35	46,90	1,50	21,02
Mini- Industria	100,40	3,29	50,19	1,48	22,50
Policlínico La Sierpe	95,44	3,13	53,31	1,40	23,90
Oficinas EAIG: "Sur del Jíbaro"	84,70	2,78	56,09	1,24	25,14
E.B.A.P: El Jíbaro	73,81	2,42	58,51	1,08	26,23
DTSS CT La Sierpe	62,09	2,04	60,54	0,91	27,14
Estación Experimental	54,35	1,78	62,33	0,80	27,94
UEB: Aseguramiento P-1	52,10	1,71	64,03	0,77	28,70
Centro Reprodutor de Endomopatógenos (CREE)	50,50	1,66	65,69	0,74	29,45
Matadero Tata	46,50	1,52	67,21	0,68	30,13
BANDEC La Sierpe	44,14	1,45	68,66	0,65	30,78
Taller de Reparaciones EAIG	41,46	1,36	70,02	0,61	31,39
Panadería El Jíbaro	37,43	1,23	71,25	0,55	31,94
Centro Capacitación EAIG P-5	34,70	1,14	72,38	0,51	32,45
SC La Sierpe	33,06	1,08	73,47	0,49	32,93
UEB: Modernización	29,50	0,97	74,43	0,43	33,37
Tienda La Sierpe	23,89	0,78	75,22	0,35	33,72
AMPP: La Sierpe	22,45	0,74	75,95	0,33	34,05
Merendero Restaurante	22,15	0,73	76,68	0,33	34,37
ESBEC Néstor Leonelo Carbonell	22,00	0,72	77,40	0,32	34,70
BPA: La Sierpe	20,80	0,68	78,08	0,31	35,00
Módulo Pecuario IPA: Educación	19,52	0,64	78,72	0,29	35,29
Taller Contingente	18,80	0,62	79,34	0,28	35,56
Estación RADIOCUBA	18,16	0,60	79,93	0,27	35,83
Feria Agropecuaria Ranchón	17,90	0,59	80,52	0,26	36,09

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.4 Principales consumidores de electricidad del circuito SK 51.

Sistema Productivo	Consumo	% Relativo Circuito	% Relativo Acumulado Circuito	% Relativo Sector	% Relativo Acumulado Sector
E.B.A.P: Mapos	130,538	50,25	50,25	1,92	1,92
UBPC: Mapos	30,895	11,89	62,14	0,45	2,37
Panadería Praga Mapos	24,334	9,37	71,51	0,36	2,73
Bombeo La Santa	11,802	4,54	76,05	0,17	2,90
Bombeo Los Cocos	11,560	4,45	80,50	0,17	3,07

Fuente: Elaboración propia

El circuito SK 51 (tabla 3.4), constituye el de menor consumo de electricidad del territorio, más del 80% del consumo se encuentra en solo cinco sistemas productivos que acumulan entre sí solo un 3.07% del total de electricidad consumida por el sector estatal. Donde al igual que en el circuito 49 las actividades mayor consumidoras son las referentes al bombeo de agua, tanto para la población como para la agricultura.

Tabla 3.5 Principales consumidores de electricidad del circuito SK 52.

Sistema Productivo	Consumo	% Relativo Circuito	% Relativo Acumulado Circuito	% Relativo Sector	% Relativo Acumulado Sector
UEB: Tamarindo	572,607	37,34	37,34	8,41	8,41
UEB: Acuisier	361,262	23,56	60,90	5,31	13,72
E.B.A.P: Brígido	189,381	12,35	73,25	2,78	16,50
E.B.A.P: San Carlos	127,427	8,31	81,56	1,87	18,38

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 3.5, este circuito presenta características similares al SK 48, ya que sus mayores consumidores se encuentran agrupados en solo cuatro sistemas productivos.

En relación a lo planteado anteriormente se refleja también la presencia de la tercera gran industria procesadora de arroz del municipio (UEB: Tamarindo), como la principal consumidora de este circuito con 37,34% del consumo del circuito y un 8,41% del total del sector. También se destaca nuevamente, la actividad de bombeo de agua, la cual está presente en los restantes sistemas productivos mostrados en la tabla.

Pues en el caso de la UEB: Acuisier, ésta contiene dentro, varios sistemas para bombear el agua en sus piscinas y estanques, actividad a la cual está asociado su consumo de electricidad.

En resumen, se puede plantear que las principales actividades consumidoras de electricidad, son las relacionadas con las actividades industriales y el bombeo de agua, tanto en actividades agrícolas como en el suministro a la población.

En cuanto a la matriz energética del municipio, se puede plantear que no es muy diversificada, ésta se nutre fundamentalmente a partir de la explotación de fuentes primarias de energía, la cual representó en el año 2017 el 91.07% de la energía consumida. El restante 8.93%, se obtuvo a partir de la puesta en marcha a mediados del año 2016, de un parque solar fotovoltaico, en las cercanías de la cabecera municipal.

3.2.3 Fuentes aisladas de generación de energía en el territorio

Con relación a las fuentes aisladas de generación de energía, el territorio cuenta con un parque solar fotovoltaico con 5200 paneles de 250W de potencia para una capacidad de generación de 1.2 MW. Este parque suministra la energía al circuito SK 50 que alimenta la cabecera municipal y busca cubrir el 80% de la demanda del horario pico del mediodía de este circuito y representa el equivalente al consumo de 941 clientes del sector residencial durante un mes (Camellón, 2016).

Se cuenta con el funcionamiento de 128 molinos de viento y 11 plantas de biogás, diseminados a lo largo del territorio de los cuales en 2016, acumularon solo 9 TEP (toneladas equivalentes de petróleo) de energía sustituida (ONEI, 2016). Cifra que alcanza valores muy bajos con relación a su potencial y los resultados anteriores.

Otra fuente de generación de energía que por sus características se considera aislada, es la generación a partir de grupos electrógenos, en el territorio se cuenta con un total de 21 grupos que se encuentran ubicados en objetivos de gran importancia económica y social, de los cuales solo 2 se emplean para liberar carga a los circuitos en que se encuentran ubicados, los 19 restantes solo cumplen funciones de emergencia.

De los dos grupos electrógenos mencionados, uno se encuentra ubicado en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Tamarindo, que posee una capacidad de 0.45 MW y se interconecta al circuito SK 52. El otro grupo se encuentra en la UEB Las Nuevas, tiene una capacidad de 0.62 MW y pertenece al circuito SK 48 (OBE, 2018).

Como se puede apreciar, ambos dispositivos de conjunto poseen una capacidad 1.1 MW, lo cual representa una importante fuente aislada de generación de energía.

3.3 Etapa 2. Determinación de los potenciales FRE existentes

3.3.1 Clasificación de los potenciales de FRE existentes.

En el territorio se pueden describir varios tipos de potenciales:

Eólica: En el caso del potencial eólico, como se explicó anteriormente, el municipio no tiene grandes potencialidades y se caracteriza, principalmente por la explotación de los molinos de viento en actividades vinculadas a la ganadería y los cultivos varios.

Solar Fotovoltaica: Esta fuente tiene en el territorio un gran potencial, debido las altas temperaturas que se registran y las características del terreno donde predominan las sabanas. Es importante destacar que el municipio, cuenta con experiencias positivas en la implementación de este potencial, como se ha mencionado anteriormente. El territorio cuenta con grandes instalaciones que poseen gran cantidad de área de cubiertas, las cuales pudieran ser utilizadas, para la instalación de sistemas de PSFV, que podrían aportar a las necesidades de esas instalaciones el área en que se encuentran.

Solar Térmica: Este potencial no se explota en el territorio y no se cuenta con experiencias previas. Aunque se pudiera implementar, su implantación no es interés de los actores locales.

Residuos pecuarios (vacunos, porcinos, equinos, ovinos, caprinos, cunícolas y avícolas)

En el territorio existe un gran potencial de residuos biodegradables provenientes de la actividad pecuaria ya sea vacuno, porcino, equino, ovino, caprino, cunícola y avícola, que podrían utilizarse para la producción de metano.

Sin embargo, se encuentran escasamente explotados, sólo se cuenta con experiencias en el caso de los residuos porcinos, asociado a pequeños productores, que debido a las regulaciones del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), se ven obligados a implementar pequeños bio-digestores para uso propio. Producto a las características de la economía del municipio, este potencial podría constituir uno de los más relevantes dentro del territorio y su explotación hoy, se encuentra muy por debajo de sus potencialidades.

Residuos agroindustriales de las producciones de arroz

En el caso de estos residuos, como se mencionó en el capítulo anterior estos se pueden dividir en tres elementos fundamentales (paja, impurezas y cascarilla). Además, se puede plantear que constituyen los que mayor incidencia, medioambiental tienen en el territorio dado por los grandes volúmenes que se generan en la actividad arrocera, que es por demás la más importante del territorio. Existen experiencias previas del uso de estos residuos en actividades agropecuarias e industriales, que van desde la utilización de la cascarilla como alimento animal y el tratamiento del suelo hasta la combustión para la producción de calor para el secado de arroz. Esta última se utilizó en los tiempos del periodo especial, cuando la escases de combustible obligó al país a buscar alternativas para continuar con las producciones. En este sentido las experiencias no fueron positivas ya que este proceso trabajó en condiciones muy desfavorables y tenía un impacto ambiental negativo.

Residuos forestales: En el caso de estos residuos, el territorio cuenta con algunas zonas pobladas de marabú, y otras plantaciones forestales. En cuanto al marabú, su población se encuentra principalmente en terrenos de baja fertilidad y generalmente intrincados, aunque es válido destacar que con el precio que ha alcanzado el carbón vegetal de esta planta en el mercado internacional, el auge de la ganadería y el cultivo del arroz, su nivel de población ha disminuido considerablemente y se estima que continúe decreciendo en los años venideros. El territorio también cuenta con áreas pobladas de recursos forestales, cuyo principal destino es la reforestación de áreas ociosas y el empleo de algunas de estas plantaciones en las actividades relacionadas con el cultivo del tabaco para la construcción de las casas de campo.

3.3.2 Estimación del potencial energético de las FRE.

Para realizar la estimación de la cantidad de energía a obtener, a partir de estos potenciales se realiza un análisis de cada uno por separado por cada escenario y luego se aglomeran de manera general. Los resultados finales de los cálculos realizados se expresan en Toneladas equivalentes de petróleo (Tep).

Tabla 3.6 Resultado final del potencial eólico por circuitos municipio La Sierpe.

Código del Circuito	Necesidad de Equipos. (U).	Factor medio Energía Sustituida (Tep/Equipo)	Total de Potencial Eólico (Tep)/año	% Representa del Total
SK 48	1	0,9682	0,9682	4,17
SK 49	3	0,9682	2,9046	12,50
SK 50	6	0,9682	5,8092	25,00
SK 51	1	0,9682	0,9682	4,17
SK 52	13	0,9682	12,5866	54,17
Total	24	0,9682	23,2368	100

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 3.6 que muestra el potencial eólico por cada circuito, en ésta se destacan el circuito SK 52 y SK 50, con los mayores niveles de potencial, aunque es válido destacar que este potencial es el de menor impacto en el territorio. Dado por las cuestiones planteadas anteriormente en relación con la velocidad del viento, la cual no es favorable en esta parte de la geografía del país.

En el caso del potencial solar, a pesar que la investigación se basa en el aprovechamiento de las cubiertas disponibles para la instalación de PSFV, como forma de sustitución de energía, se puede observar que el territorio cuenta con grandes potencialidades en este sentido. En la tabla 3.7 se puede ver como los principales circuitos que se destacan, son los dos circuitos de mayor consumo en el sector estatal (50 y 52).

Tabla 3.7 Resultado final del potencial solar por circuitos municipio La Sierpe.

Código del circuito	Área m ²	Índice de Generación kWh.	Eficiencia %	Total de Potencial (Tep)/año	% Representa del Total
SK 48	7800	0,846	0,95	196,8139	21,09
SK 49	2300	0,846	0,95	58,0349	6,22
SK 50	13620	0,846	0,95	343,6673	36,83
SK 51	150	0,846	0,95	3,7849	0,41
SK 52	13115	0,846	0,95	330,9249	35,46
Total	36985	0,846	0,95	933,2258	100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.8 Resultado final del potencial de residuos pecuario (porcino) por circuitos municipio La Sierpe.

Código del circuito	Producción de Biogás (m ³).	Factor de Conversión (Tep/m ³ Biogás)	Total de Potencial (Tep)	% Representa del Total
SK 48	67,91	0,4500	11154,2832	6,08
SK 49	23,45	0,4500	3852,1717	2,10
SK 50	377,80	0,4500	62053,4389	33,82
SK 51	3,66	0,4500	601,3817	0,33
SK 52	644,13	0,4500	105798,8699	57,67
Total	1116,957	0,4500	183460,1454	100

Fuente: Elaboración propia. Procesado en Microsoft Excel 2007.

En relación a los residuos pecuarios (tabla 3.8), específicamente derivados del porcino la tabla muestra que este se encuentra distribuido prácticamente en dos circuitos, quienes agrupan más del 90% del potencial investigado. Un punto interesante en este sentido es que en el circuito SK 52, el de mayor potencial con cerca del 58%, se encuentra ubicado el mayor centro porcino del municipio, que cuenta con

aproximadamente el 43% del rebaño que se tuvo en cuenta en la investigación y el mayor peso promedio por animal. Esto define a este centro porcino perteneciente al Grupo Empresarial Ganadero (GEGAN), como uno de los principales potenciales, no solo del territorio, sino también de la provincia.

Tabla 3.9 Resultados globales obtenidos del potencial de residuos agroindustriales arroceros.

Código del circuito	Potencial Res. Cosecha (Tep)	Potencial Res. Secadero (Tep)	Potencial Res. Molino(Tep)	Total de Residuos Agroindustriales (Tep)	% Representa del Total
SK 48	0,000	100309,596	1174,387	101483,9831	1,38
SK 49	2053991,508	0,000	0,000	2053991,5077	28,00
SK 50	2482971,510	135524,874	0,000	2618496,3833	35,69
SK 51	1104946,709	0,000	0,000	1104946,7090	15,06
SK 52	1409816,332	46698,959	1178,724	1457694,0148	19,87
Total	7051726,06	282533,43	2353,11	7336612,5979	100

Fuente: Elaboración propia

Sin duda alguna se puede afirmar que los residuos agroindustriales arroceros (tabla 3.9), constituyen el principal potencial con que cuenta el territorio, en la tabla 3.9 se muestra el resultado obtenido en la estimación de estos residuos. Un elemento importante a tener en cuenta en estos datos es lo significativo que resulta, los residuos de cosecha que lideran por amplio margen al resto de estos residuos. No obstante, es válido destacar que este potencial a pesar de ser muy superior al resto, se encuentra muy disperso en el territorio, puesto que se origina en el campo, lo cual pudiera traer aparejados inconvenientes en su posible utilización como FRE, a partir de lo que supone su recogida y transportación. Por el contrario, en el caso de los residuos del secadero y del molino, esta situación es más favorable, pues estos son generados en las propias industrias quienes actúan como centro de acopio, lo que significa que existe un gran volumen de residuos en área relativamente pequeña.

En este sentido un criterio a considerar para aprovechar estos residuos como FRE, sería la ubicación de estas instalaciones, cerca de estas industrias ya se lograría una combinación entre el consumo de electricidad de estas plantas y los potenciales que poseen muy favorable. El impacto de estos potenciales es tal, que aún sí no se tiene en cuenta el residual de la cosecha, seguiría siendo el de mayor resultado.

Para un mayor análisis de los resultados obtenidos, estos se agrupan en una tabla resumen (tabla 3.10), que muestra de manera global el volumen de energía de estos potenciales por cada circuito.

Tabla 3.10 Resumen General Volumen de los Potenciales.

Código del circuito	Potencial en Toneladas equivalentes de petróleo. (Tep)				Total	% Representa del Total
	Eólico	Solar	Residuos Pecuarios.	Agroindustriales arroceros.		
SK 48	0,9682	196,8139	11154,2832	101483,9831	112836,04	1,50
SK 49	2,9046	58,0349	3852,1717	2053991,5077	2068278,92	27,36
SK 50	5,8092	343,6673	62053,4389	2618496,3833	2667760,67	35,65
SK 51	0,9682	3,7849	601,3817	1104946,7090	1105552,84	14,70
SK 52	12,5866	330,9249	105798,8699	1457694,0148	1566600,71	20,79
Total	23,2368	933,2258	183460,1454	7336612,5979	7521029,20	100

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 3.10 refleja el gran impacto que tienen los residuos agroindustriales arroceros en el potencial existente en el territorio con cerca del 98% del potencial, lo cual constituye un elemento muy importante a tener en cuenta, para futuros análisis relacionados con esta temática.

Se ratifica el circuito SK 50, como el de mayor potencial disponible con aproximadamente el 36% del potencial total, que a su vez es también el mayor consumidor de energía.

3.4 Etapa 3 Selección de escenarios relevantes para la implementación de las FRE

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 # 7. El nivel de competencia de los expertos propuestos, arrojó los resultados que se muestran en la gráfica 3.3.

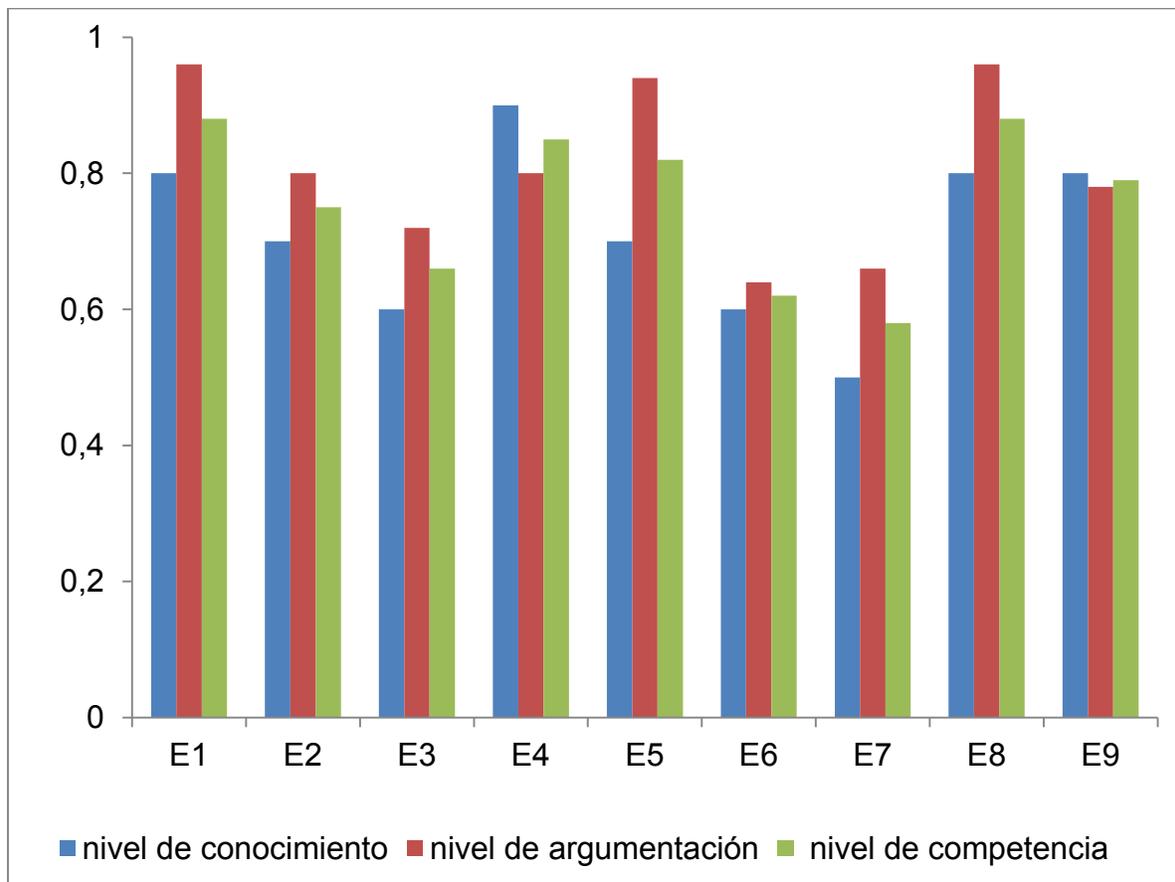


Gráfico 3.3 Evaluación del nivel de competencia de los expertos.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, una vez evaluado el nivel de competencia (Anexo # 8) 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): Circuito SK 48
- Escenario 2 (E2): Circuito SK 49
- Escenario 3 (E3): Circuito SK 50
- Escenario 4 (E4): Circuito SK 51
- Escenario 5 (E5): Circuito SK 52

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 FRE en Miles de Tep, 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
C1	112,84	2068,28	2667,76	1105,55	1566,60
C 2	1058,59	903,31	3051,02	259,79	1533,43
C3	200	600	150	300	150
C 4	2,4	2,5	2,4	2,5	2,33
C 5	2,0	1,0	3,0	1,0	3,0
C 6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C 7	2,0	1,75	1,8	1,75	2,0
C 8	2,0	1,0	3,0	1,0	3,0

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 necesaria 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:

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

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 (Hij), que es la base de los cálculos posteriores (tabla 3.12).

Tabla 3.12 Matriz Homogenizada (Hij).

Crit. / Esc.	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	ΣH_j
C1	112,84	2068,28	2667,76	1105,55	1566,60	7521,03
C2	1058,59	903,31	3051,02	259,79	1533,43	6806,14
C3	800,00	400,00	850,00	700,00	850,00	3600,00
C4	2,40	2,50	2,40	2,50	2,33	12,13
C5	2,00	1,00	3,00	1,00	3,00	10,00
C6	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,00
C7	2,00	1,75	1,80	1,75	2,00	9,30
C8	2,00	1,00	3,00	1,00	3,00	10,00

Fuente: Elaboración propia.

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 o

estandarizar la matriz homogenizada. En este punto se obtiene entonces la matriz normalizada (N_{ij}).

Tabla 3.13 Matriz Normalizada (N_{ij})

Crit. / Esc.	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	$\sum N_{ij}$
C1	0,015	0,275	0,355	0,147	0,208	1,00
C2	0,156	0,133	0,448	0,038	0,225	1,00
C3	0,222	0,111	0,236	0,194	0,236	1,00
C4	0,198	0,206	0,198	0,206	0,192	1,00
C5	0,200	0,100	0,300	0,100	0,300	1,00
C6	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	1,00
C7	0,215	0,188	0,194	0,188	0,215	1,00
C8	0,200	0,100	0,300	0,100	0,300	1,00

Fuente: Elaboración propia

Luego se procede a determinar los pesos de los criterios (W_j) a partir de la combinación del peso subjetivo (W_{subj}) y el peso objetivo (W_{obj}), para lo cual se hizo necesario determinar los valores de entropía y la diversidad. Los resultados obtenidos son mostrados en la gráfica 3.4.

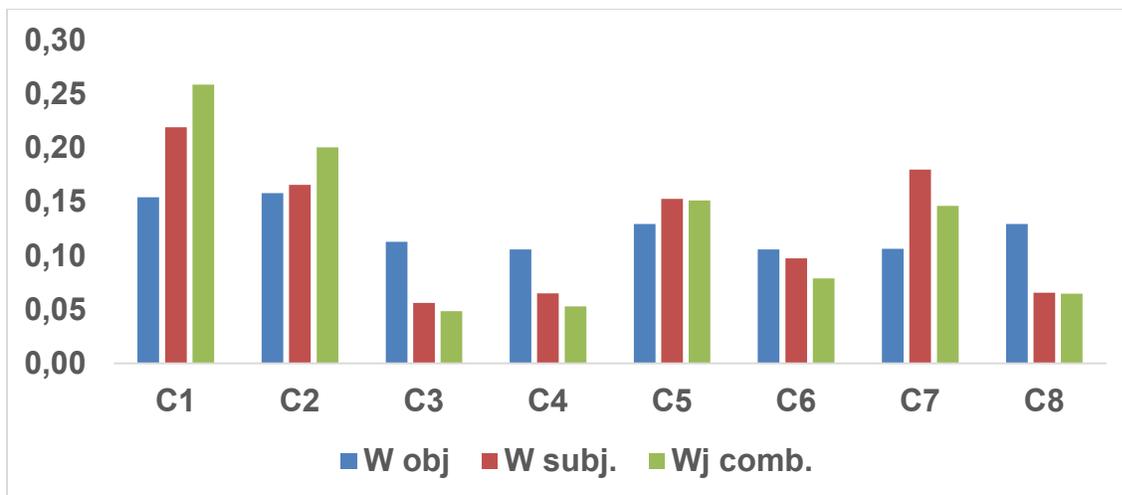


Gráfico 3.4 Representación gráfica de la ponderación de los criterios.

Fuente: Elaboración propia.

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. Además, la ilustración corrobora la importancia de determinar el peso a

partir de la combinación de ambos métodos, pues existen criterios que aún con mayor peso objetivo o subjetivo que otro, tienen un menor peso combinado.

Paso # 5: Construcción de la matriz de decisión.

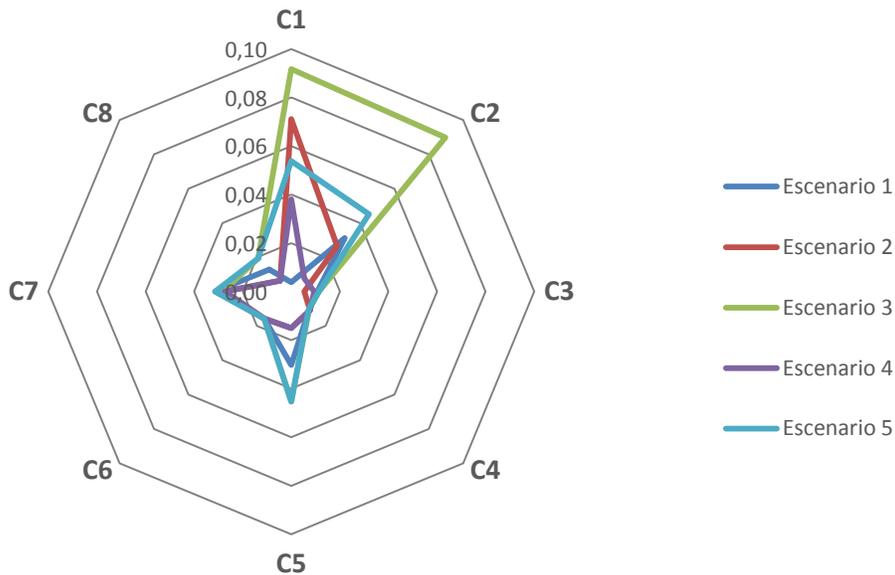
Luego de determinados los valores de los pesos de los criterios, en este paso se construye la matriz de decisión, la cual se muestra en la tabla 3.14.

Tabla 3.14 Matriz de decisión.

Crit. / Esc.	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	SPI
C1	0,004	0,071	0,092	0,038	0,054	0,26
C2	0,031	0,027	0,090	0,008	0,045	0,20
C3	0,011	0,005	0,011	0,009	0,011	0,05
C4	0,010	0,011	0,010	0,011	0,010	0,05
C5	0,030	0,015	0,045	0,015	0,045	0,15
C6	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,08
C7	0,031	0,027	0,028	0,027	0,031	0,15
C8	0,013	0,006	0,019	0,006	0,019	0,06
SPI	0,146	0,179	0,312	0,131	0,232	

Fuente: Elaboración propia.

A los datos contenidos dentro de esta 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. El gráfico 3.5 mostró, los criterios que mayor incidencia presentaron para cada escenario, tal es el caso del escenario 3, donde los criterios C1 y C2, agruparon más del 90% de la suma ponderada. Sin embargo, en el caso de escenario C5, se observa como existen tres criterios similares de las sumas ponderadas (SPI).



Gráfica 3.5 Representación gráfica de la relación entre criterios, peso y escenarios.

Fuente: Elaboración propia.

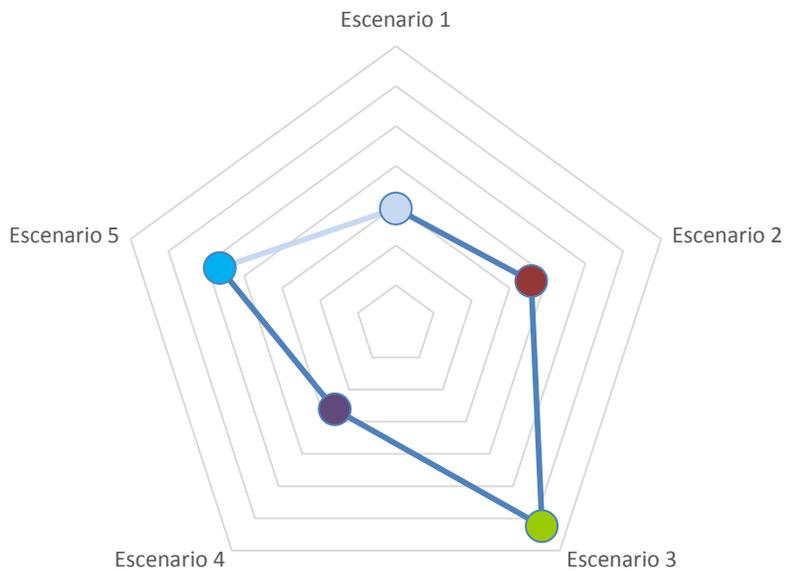


Gráfico 3.6 Representación gráfica la relevancia de los escenarios.

Fuente: Elaboración propia.

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 Multicriterios, es el escenario 3, que comprende el circuito SK 50, al que le sigue en segundo lugar, el escenario 5, luego el escenario 2 y posteriormente le siguen el 1 y el 4, estos dos marcados por un comportamiento similar.

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 (UEB las Nuevas y Tamarindo, Bombeo de agua, panaderías y alumbrado público).
2. Los principales potenciales de FRE existentes fueron los Residuos Agroindustriales con más de 7 millones de Tep, seguido de los residuos porcinos con más de 183 mil Tep.
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 La Sierpe, el escenario más relevante es el número 3 (circuito SK 50), que combinó los mayores potenciales, los mayores consumos de electricidad, 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 La Sierpe mostró la que las industrias con mayores consumos de electricidad se agrupan en la UEB las Nuevas y Tamarindo, el bombeo de agua potable y residual, las panaderías y el alumbrado público, siendo necesaria su sustitución con FRE.
2. Los Residuos agroindustriales evaluados, fueron los de mayor potencial en el municipio, seguido por los residuales porcinos; siendo capaces de sustituir más de 7.5 millones de Tep anuales.
3. Los criterios que mayor repercusión tuvieron en la selección de los escenarios relevantes, fueron el 1 y 2 (*Potencial Existente y Demanda Energética*), debido al efecto combinado de métodos objetivos y subjetivos y a los valores de estos criterios en los escenarios.
4. El escenario más relevante para la implementación de las FRE, fue el número 3 (circuito SK 50), donde se lograrían sustituir los mayores consumos de electricidad a partir de los potenciales existentes de FRE.

Recomendaciones

Recomendaciones

Se derivan las siguientes recomendaciones:

1. Profundizar en la evaluación de los criterios cuantitativos para cada escenario, con énfasis en el potencial de energía solar térmica, y los consumos de energía en forma de calor del sector estatal; así como en las potencialidades de los pequeños productores porcinos del territorio, para su aprovechamiento como FRE.
2. Aplicar otras metodologías para la evaluación de criterios cualitativos para su cuantificación, como el análisis de ciclo de vida para los daños ambientales.
3. Discutir los resultados alcanzados con los gobiernos locales para que reconozcan las potencialidades de las FRE en el territorio.

Bibliografía

Bibliografía

- ANPP. (2014). *Política para el Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la energía 2014 – 2030*. La Habana.
- Arrastía. (2002). *Ahorro de Energía y Respeto Ambiental* (Empresa de Gestión del Concimiento y la Tecnología Ed. Editorial Política ed.). La Habana.
- Arrastía. (2013). *Energía, el invencible dios del Sol*. (Instituto Cubano del Libro Ed. Editorial Científico-Técnica ed.). La Habana.
- Arthouros, Z. (2016). *ENERGÍAS RENOVABLES, REPORTE DE LA SITUACIÓN MUNDIAL*.
- Bravo Hidalgo, D. (2015). Energía y Desarrollo Sostenible en Cuba. *SciELO*, 42.
- Camellón, J; L. (2016). Genera electricidad parque fotovoltaico de La Sierpe. *Escambray Digital*.
- Colomo. (2016). El porvenir del Sistema Energético Mundial.
- Desarrollo, By Blog MinalCuba in. (2017). Proceso de Transición Energética. Una opción futurista from <http://minalcuba.cubava.cu>
- Despacho-OBE. (2018). Circuitos La Sierpe (Redes y Sistemas., Trans.) (pp. 2). Sancti-Spíritus: Organización Básica Eléctrica.
- Domínguez Cruz, Ana M. (2014). Cuba y sus fuentes renivables de energía. *CUBAHORA*.
- EAIG. (2017). Informe Anual de Energía (Energía, Trans.) (pp. 4). El Jíbaro: Empresa Agroindustrial de Granos "Sur del Jíbaro".
- Estadísticas EAIG. (2018). Cierre Estadístico Año 2017 (Estadística, Trans.). La Sierpe: Empresa Agroindustrial de Granos "Sur del Jíbaro".
- Fernández Olmo, J; M. (2017). Expediente de Circuitos 2017 (Operaciones, Trans.). La Sierpe: UNE-OBE: La Sierpe.
- Finley, Mark. (2018). BP Energy Outlook (2017 ed.). Londres: British Petroleum.
- García, Rivero; A, E. (2010). *Mejoramiento de la eficiencia energética y económica del CAI Arrocero Sur del Jíbaro mediante el estudio de potenciales de ahorro por aprovechamiento energético de residuos*. (Tesis presentada en opción al grado académico de Master en Ciencias, Eficiencia Energética), José Martí "Sancti-Spíritus", Cuba.

- González-Velasco, J. (2009). *Energía Renovable* (Editorial Reverté ed.). UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID.
- González et al. (2018). Energías Renovables en Cuba. *Cuba Solar*.
- Huaraz Choi, Carlos Yi. (2013). *Diseño de un gasificador de 25 kW para aplicaciones domésticas usando como combustible cascarilla de arroz*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico), Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Hüber, Christian. (2016). UN ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN AMÉRICA LATINA Y EUROPA. España: FGV.
- 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.
- Martínez, Marcos. (2018). Cuánto de la energía mundial viene de las energías renovables? *NOBBOT Tecnología para las personas*.
- Martínez Plasencia, Alina. (2018). Las energías renovables representan más del 50% del aumento en la generación mundial de electricidad. *renovable.cu*, 10.
- Mendoza, Hurtado de. (2003). "CRITERIO DE EXPERTOS. SU PROCESAMIENTO A TRAVÉS DEL MÉTODO DELPHY."
- MINEM. (2017). Situación de la Energía Renovable en Cuba. from www.une.com
- OBE, La Sierpe. (2018). Levantamiento de Grupos Electrógenos. (Energético, Trans.) (pp. 8). La Sierpe.
- OCDE/AIE. (2015). Manual de Estadísticas Energéticas. Francia.
- ONEI. (2013). Factores de Conversión. Cuba: Oficina Nacional de Estadística e Información.
- ONEI. (2016). Anuario Estadístico de Cuba (2017 ed., pp. 25).
- Oria Gómez, Y. (2010). *Procedimiento para localizar plantas y conformar la red logística de la producción de biogás en la provincia Sancti Spiritus*. (Tesis presentada en opción al grado académico de Master en Ingeniería Industrial.), Universidad Central "Martha Abreu" de Las Villas.
- Pazo Torrado, Carlos M. (2018). La hidroenergía en Cuba. *Cubasolar*

- Quesada et al. (2007). GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BIOGÁS. *Tierra Tropical*, 3.
- Rodríguez., Carmen. (2017). Sancti Spíritus en busca de la transición energética. *viernes, 17 febrero, 2017* from <http://www.escambray.cu>
- Romero, Romero O. (2005). *“Metodología para incrementar el aporte de electricidad con bagazo y alternativa de combustible para generar fuera de zafra”*. (Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias.), Universidad Central "Martha Abreu" de Las Villas.
- Santamarta, J. (2010). Las energías renovables son el futuro. 2010, from www.nodo50.org
- Saure, Rodríguez. I. (2010). *Procedimiento para el diseño de instalaciones de biogás con fines energéticos*. (Tesis presentada en opción al grado académico de Master en Ciencias en Ingeniería Industrial.), Universidad Central "Martha Abreu" de Las Villas.
- UNFPA. (2017). Estado de la Población Mundial 2017: Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA).
- Urquizo, Javier. (2016). Reemplazar el uso de Diesel por Cascarilla de Arroz empleado para la generación de Vapor. Aspectos Técnicos y Económicos. Guayaquil.
- Valverde; Sarría; Monteagudo. (2007). ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA CASCARILLA DE ARROZ. *Scientia et Technica Año XIII*, 37, 3.
- Vipsom. (2017). Repaso de los precios y estado de la energía en Europa en el 2016. Retrieved Marzo 2018
- WEC. (2017). Reporte Estadístico WEC. 2017 (pp. 4). España: WEC.
- Yepez, Ariel. (2016). Tres estrategias para transformar el sector energético del Caribe from <https://blogs.iadb.org>
- Yepez, Ariel. (2016). Tres estrategias para transformar el sector energético del Caribe <https://blogs.iadb.org>

Anexas

Anexos

Anexo # 1

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.

Experto \ Escala	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

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.

Fuentes de argumentación o fundamentación	Alto	Medio	Bajo
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

PONDERACION DE CRITERIOS

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.

Criterios	Importancia
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

Anexo # 4

Tabla para la distribución Chi-cuadrado (χ^2). Para el evaluar el grado de Significación.

Tabla Distribución Chi-cuadrado (χ^2). $P(X \geq x)$

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 # 7 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	34	MSc.
Experto 2	Elizabeth Pérez Díaz	Lic. Socio Cultural	Desarrollo Local	AMPP	4
Experto 3	Nidia Ramírez González	Ing. Forestal	Medio Ambiente	CITMA	23	MSc.
Experto 4	Julio Pedraza Garciga	Ing. Químico	Fuentes Renovables	CEEPI	34	Dr. C
Experto 5	Javier A. García González	Ing. Agrónomo	Desarrollo Local	AMPP	10
Experto 6	Yasmany Rodríguez Carménate	Ing. Eléctrico	Comercial	OBE	4
Experto 7	Jesús M. Fernández Olmo	Téc. Medio	Operaciones	OBE	4
Experto 8	Sinaí Boffill Vega	Ing. Industrial	Desarrollo Local	AMPP	10	Dr. C
Experto 9	Jorge L. Issac Pino	Ing. Eléctrico	Especialista de FRE	MINEM	40

Anexo # 8

Cálculo del nivel de competencia de los expertos.

Indicadores / Expertos	David Calzada	Nidia Ramírez	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
N	8	7	6	9	7	6	5	8	8
Coefficiente de conocimiento Kc	0,8	0,7	0,6	0,9	0,7	0,6	0,5	0,8	0,8
Coefficiente argumentación Ka	0,96	0,80	0,72	0,80	0,94	0,64	0,66	0,96	0,78
Coefficiente 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 # 9

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	$S=\sum \Delta^2$
Δ^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								