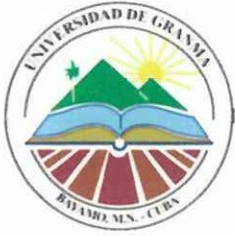


MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR



UNIVERSIDAD DE GRANMA



**FACULTAD DE CIENCIAS
TÉCNICAS**

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS TÉCNICAS

Trabajo de Diploma

En opción al título de Ingeniero Eléctrico con especialización en SEP

TITULO: Planificación Energética del Consejo Popular "Victorino".

AUTOR: Egdo. Gorky Stalin Rocha Marcillo

TUTORES: Ms.c. Ing. David Verdecia Torres
Ms.c. Ing. Raúl Pacheco Gamboa

Bayamo. M.N. 2012 - 2013

"Año de 55 de la Revolución"



AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

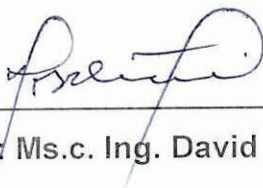
En calidad de Tutor de Trabajo de Investigación sobre el Tema "**PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL CONSEJO POPULAR VICTORINO**" del Autor **Rocha Marcillo Gorky Stalin** y quien es Diplomante de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador de la Especialización de **Ingeniería Eléctrica con especialización en SEP**, considero que dicho Proyecto Investigativo cumple con los requerimientos Metodológicos y aportes Científicos – Técnicos suficientes, por lo que autorizo su presentación de acto de defensa en la Facultad de **Ciencias Técnicas** del Departamento de **Mecánica** de la Universidad de Granma.

Designo para su correspondiente estudio y clasificación.

Bayamo – Cuba a 05 de Junio del 2013



Tutor: Ms.c. Ing. Raúl Pacheco Gamboa



Tutor: Ms.c. Ing. David Verdecia Torres



UNIVERSIDAD DE GRANMA
ACTA DE DEFENSA DE TRABAJO DE DIPLOMA

Nombre (s) y apellidos del estudiante: GOREY STALIN ROCHA MARINO

De acuerdo con la Resolución Ministerial 210 / 07 del Ministro de Educación Superior y la convocatoria librada por el Decano, se constituye el tribunal integrado por:

Presidente: D. C. RUBÉN JEREZ PEÑERA

Secretario: ING. ALAIN A. DE LA ROSA ANDINO

Vocal: D. C. YANS GUARDIA PUEBZA

Fungiendo como Tutor: M. C. RAÚL F. PACHECO GAMBORA

y como Oponente: ING. LAZARO V. BENITEZ REYNA

para evaluar en este acto público el Trabajo de Diploma que tiene por título:

PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL CONSEJO POPULAR "VICTORINO"

Una vez escuchadas la exposición del estudiante, del Tutor, del Oponente y las preguntas planteadas, el tribunal emite la calificación de 5 puntos y formula las siguientes conclusiones y recomendaciones:

Y para que así conste en el expediente académico del mencionado estudiante, se expide y firma la presente Acta a los 5 días del mes de Junio año 2013

[Signature]
Presidente

[Signature]
Secretario

[Signature]
Vocal

Ejemplar único para archivar en el expediente académico del estudiante.



UNIVERSIDAD DE GRANMA
FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS TÉCNICAS

OPINIÓN CRÍTICA DEL TUTOR

TÍTULO: PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL CONSEJO POPULAR "VICTORINO".

AUTOR: GORKY STALIN ROCHA MARCILLO

INTRODUCCIÓN.

Estudios realizados en el marco de la Revolución Energética en Cuba han demostrado que no existe el personal técnico y administrativo de las empresas que tengan toda la preparación, así como la exigencia necesaria que garanticen mejores planes energéticos, ya sea a nivel urbano y rural.

El siguiente trabajo se realizó en el consejo popular Victorino, del Municipio Guisa, de la provincia Granma. El mismo surge por la necesidad de realizar un estudio de planificación energética con vista a conocer las posibles alternativas energéticas. En el mismo se desarrolla una metodología para el cálculo de las alternativas utilizando métodos multicriterios basándose en los potenciales de todas las fuentes renovables presentes en el consejo popular las cuales han sido seleccionadas principalmente porque responden a las características propias del lugar.

a) Estructura del trabajo.

La calidad de la impresión del trabajo es buena reflejándose en las tablas, gráficos y figuras. La estructura es adecuada para este tipo de ejercicio ya que cuenta con el índice, introducción, desarrollo, conclusiones, recomendaciones, bibliografías y anexos. Cuenta con 83 cuartillas. En el contenido del desarrollo se presentan 11 figuras. Posee además 25 citas bibliográficas, donde 17 son de los últimos 10 años.

b) Correspondencia del contenido del trabajo con la tarea indicada.

El contenido del trabajo tiene plena correspondencia con la tarea indicada, las conclusiones y recomendaciones dan respuesta adecuada al objetivo general y los específicos.

La investigación realizada posee gran actualidad para nuestro país, ya que se determinan las principales potencialidades energéticas de la comunidad "Victorino", entre las cuales tenemos la biomasa, la energía solar, etc.

Además, se realizó la planificación energética de acuerdo a las posibilidades de los recursos existentes.

Por otro lado, se puede afirmar que la forma de expresión de los diferentes aspectos tratados en este trabajo son claros, precisos y, se tratan además con profundidad los resultados de la investigación.

e) Cumplimiento de las tareas programadas para la realización del trabajo de diploma.

El estudiante mostro independencia, buena disciplina y cumplió con las tareas según el plan de trabajo programado con el profesor.

l) Resultado final

Por tanto considero que el trabajo presentado por el estudiante cumple con lo establecido por instrucción número 1/2009 del ministro de educación superior sobre el descuento ortográfico, así como con lo establecido por la resolución 210/2007 para la culminación de estudios a través del trabajo de Diploma.

Por tanto consideramos que las recomendaciones planteadas son posibles de aplicar en la comunidad "Victorino".

Por tal motivo propongo al tribunal que considere este trabajo como culminación de estudios, en la especialidad de Ingeniería eléctrica.

Dado en Bayamo a los 5 días del mes de junio de 2013.

Autores: MSc. Ing. Raúl F. Pacheco Gamboa _____

MSc. Ing. David Verdecia Torres _____



UNIVERSIDAD DE GRANMA
FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS TÉCNICAS

OPINIÓN CRÍTICA DEL OPONENTE

Título: Planificación Energética Del Consejo Popular "Victorino".

Autor: Gorky Stalin Rocha Marcillo

Tutor: Ms. C. Raúl Pacheco Gamboa

INTRODUCCIÓN.

Esta investigación fue llevada a cabo en el consejo popular Victorino, del Municipio Guisa, de la provincia Granma. El mismo surge por la necesidad de realizar un estudio de planificación energética con vista a conocer las posibles alternativas energéticas. En el mismo se desarrolla una metodología para el cálculo de las alternativas utilizando métodos multicriterios basándose en los potenciales de todas las fuentes renovables presentes en el consejo popular las cuales han sido seleccionadas principalmente porque responden a las características propias del lugar.

a) Estructura del trabajo.

La calidad de la impresión del trabajo es buena reflejándose en la mayoría de los gráficos, las tablas y figuras a pasear de algunos señalamientos que se harán posteriormente. La estructura es la normanda por el *Departamento de Ciencias Técnicas de la Universidad de Granma* para este tipo de ejercicio que debe tener implícito índice, introducción, desarrollo, conclusiones, recomendaciones, bibliografías y anexos. Cuenta con 83 cuartillas. En el contenido del desarrollo se presentan 11 figuras. Posee además 25 citas bibliográficas, donde 17 son de los últimos 10 años.

b) Correspondencia del contenido del trabajo con la tarea indicada.

El contenido tiene correspondencia con las tareas planteadas, las conclusiones y recomendaciones dan respuesta adecuada al objetivo general y los específicos.

Este trabajo tiene un valor práctico debido a que su aplicación es fundamental en la toma de decisiones. Esta labor hace que los decisores tengan un apoyo matemático en la planificación energética cuando esta se vuelve compleja.

Los criterios analizados en el trabajo son los correctos para este tipo de comunidad, así que considero que es aplicable

Por otro lado, se puede afirmar que la forma de expresión de los diferentes aspectos tratados en este trabajo son claros, exactos y se tratan además con profundidad los resultados de la investigación.

c) Cumplimiento de las tareas programadas para la realización del trabajo de diploma.

El estudiante mostro independencia, buena disciplina y cumplió con las tareas según el plan de trabajo programado con el profesor.

d) Deficiencias

No obstante, se necesita señalar algunas deficiencias detectadas en el trabajo:

- Gráfico que no son se ven bien (al menos en el documento impreso) y no tienen título (pág 14).
- Diferente estilos de tablas (ver pág 44 y 68).
- Necesidad de ampliar el espectro de bibliografía.

e) Finalizando

Estos señalamientos no invalida el trabajo y debido a esto propongo al tribunal que considere este trabajo como culminación de estudios en la especialidad de Ingeniería eléctrica.

Dado en Bayamo M.N a los 5 días del mes de junio de 2013.

Ing. Lázaro Ventura Benítez Leyva
Opnente





UNIVERSIDAD DE GRANMA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS TÉCNICAS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
CARRERA DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y
APLICADAS

INGENIERÍA ELÉCTRICA CON ESPECIALIZACIÓN EN SEP

Bayamo, 01 de Abril del 2013

Ms.c. Milton Herrera

DIRECTOR DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA UTC - ECUADOR

Presente

De nuestra consideración:

Nosotros, Ms.c. Raúl F. Pacheco Gamboa y Ms.c. David A. Verdecia Torres, docentes de la Universidad de Granma y tutores del estudiante Egdo. Gorky Stalin Rocha Marcillo, por medio de la presente le informamos a usted Ms.c. Milton Herrera acerca del cambio de tema de tesis el cuál es "Planificación Energética del Consejo Popular 'Victorino'."

Éste cambio se debe a las siguientes razones:

- La Universidad no cuenta con una facultad destinada a la educación de Ingenieros Eléctricos.
- No cuenta con el programa SCADA el cuál es necesariamente indispensable para el desarrollo del tema de diploma aprobado en Ecuador.
- El conocimiento del manejo total de dicho programa es ligeramente desconocido, lo cual no es apto para el desarrollo de la tesis de grado.

Por otro lado, el tema escogido y aprobado por los directivos consta de las siguientes características:

- Existe fuentes alternativas de energía en la Comunidad "Victorino" las cuales pueden ser determinadas para una excelente planificación.
- La Universidad puede realizar gestiones con las estaciones destinadas al estudio de las fuentes alternativas de energía.

- Es un tema el cuál se puede complementar con un estudio de optimización para futuros trabajos de diploma, aportando el conocimiento necesario en la preservación del medio ambiente y el aprovechamiento de la mejor fuente de energía alternativa.

Es todo en cuanto se puede detallar en honor a la verdad.

Firman para constancia de la presente:



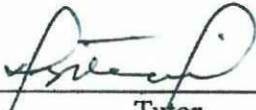
Tesista
Egdo. Gorky Stalin Rocha Marcillo



Tutor
Ms.c. Ing. Raúl F. Pacheco Gamboa



Jefe de Departamento
Ms.c. Ing. Rubén Jerez



Tutor
Ms.c. Ing. David A. Verdecia Torres





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
COTOPAXI**
**INFORME MENSUAL DEL TRABAJO DE
DIPLOMA**



Diplomante: Egdo. Gorky Stalin Rocha Marcillo

Tutores: Ms.c. Ing. Raúl F. Pacheco Gamboa

Ms.c. Ing. David A. Verdecia Torres

Título: *Planificación Energética del Consejo Popular "Victorino".*

Tarea	Fecha
Semana de adaptación en Bayamo - Granma	18/03/2013
	19/03/2013
	20/03/2013
	21/03/2013
	22/03/2013
Visita a la Universidad de Granma y reunión con los docentes del Departamento de Ciencias Técnicas	26/03/2013
Presentación de los tutores a cada grupo de estudiantes	27/03/2013
Designación de los docentes Ms.c. Raúl Pacheco y Ms.c. David Verdecia como tutores del estudiante Egdo. Stalin Rocha	28/03/2013
Diálogo entre tutores y estudiante	29/03/2013
Revisión y modificación del tema de tesis	01/04/2013
Resolución como nuevo tema de tesis "Planificación energética del Consejo Popular 'Victorino'."	02/04/2013
Redacción de la introducción del nuevo tema del trabajo de pre-grado	03/04/2013
Designación de los sub-temas correspondientes al primer capítulo	04/04/2013
Recopilación de la información correspondiente a la Planificación energética en el mundo	05/04/2013
Recopilación de la información correspondiente a la Planificación energética en América Latina y el Caribe	08/04/2013
Recopilación de la información correspondiente a la Planificación energética en el Ecuador	09/04/2013
Recopilación de la información correspondiente a las Alternativas energéticas para pequeñas comunidades rurales	10/04/2013
Recopilación de la información correspondiente a las Vías para electrificar pequeñas comunidades rurales sin conexión a la red	11/04/2013
Recopilación de la información correspondiente a los Métodos para evaluar la planificación energética de comunidades rurales	12/04/2013
Recopilación de la información correspondiente a los Métodos computacionales utilizados para evaluar alternativas de planificación energética	15/04/2013
Recopilación de la información correspondiente al Método para localización óptima de centrales de energías renovables	16/04/2013
Presentación de la información a los tutores	17/04/2013
Redacción del primer capítulo del trabajo de diploma	18/04/2013

Bayamo, M.N, 18 de Abril del 2013
"Año 55 de la Revolución"

Observaciones:

Al no existir en la Universidad de Granma Ingenieros Eléctricos, al presente estudiante se le asignó Tutores quienes son Ingenieros del Departamento Mecánico y quienes tienen los conocimientos necesarios en el área de planificación razón por la cual el tema inicial fue descartado y se le cambio de forma total el tema de tesis para desarrollarlo sin el menor inconveniente.



Tesista
Egdo. Gorky Stalin Rocha Marcillo



Tutor
Ms.c. Ing. Raúl F. Pacheco Gamboa



Jefe de Departamento
Ms.c. Ing. Rubén Jerez



Tutor
Ms.c. Ing. David A. Verdecia Torres



Bayamo, M.N, 18 de Abril del 2013
"Año 55 de la Revolución"



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
COTOPAXI**
**INFORME MENSUAL DEL TRABAJO DE
DIPLOMA**



Diplomante: Egdo. Gorky Stalin Rocha Marcillo

Tutores: Ms.c. Ing. Raúl F. Pacheco Gamboa

Ms.c. Ing. David A. Verdecia Torres

Título: *Planificación Energética del Consejo Popular "Victorino".*

Tarea	Fecha
Diálogo entre tutores y estudiante sobre el avance inicial de la tesis	19/04/2013
Consulta y descarga del segundo tema de investigación	22/04/2013
Desarrollo del segundo tema de investigación denominado como Materiales y Métodos	23/04/2013
Recopilación de la información sobre la Caracterización del lugar de investigación	24/04/2013
Recopilación de la información sobre el Proceso de planificación energética en comunidades rurales	25/04/2013
Recopilación de la información sobre la Clasificación del problema	26/04/2013
Recopilación de la información sobre la Solución del modelo matemático	29/04/2013
Recopilación de la información sobre la Validación, análisis de sensibilidad, análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones	30/04/2013
Recopilación de la información sobre la Implementación	01/05/2013
Recopilación de la información sobre la Decisión Multicriterio Discreta	02/05/2013
Recopilación de la información sobre la Decisión Multiobjetivo	03/05/2013
Recopilación de la información sobre las Alternativas energéticas y usos finales de la energía	06/05/2013
Recopilación de la información sobre los Requerimientos energéticos de la comunidad y sus índices de consumo	07/05/2013
Recopilación de la información sobre la Determinación de potenciales de las fuentes de energía	08/05/2013
Recopilación de la información sobre la Aplicación de los métodos de selección	09/05/2013
Ingreso de la información adquirida para el segundo capítulo del trabajo de diploma	10/05/2013
Revisión del segundo capítulo del trabajo de pre-grado	13/05/2013
Corrección del segundo capítulo de la tesis	14/05/2013
Presentación del segundo tema de investigación	15/05/2013
Reestructuración de la información adquirida al momento	16/05/2013
Discusión sobre la estructura del trabajo de diploma	17/05/2013

Bayamo, M.N, 17 de Mayo del 2013
"Año 55 de la Revolución"

Observaciones:

No existe ninguna observación excepto que el trabajo de pregrado está avanzando de manera factible y sin retraso de acuerdo a la organización tanto del estudiante como de los tutores.



Tesista
Egdo. Gorky Stalin Rocha Marcillo



Tutor
Ms.c. Ing. Raúl F. Pacheco Gamboa



Jefe de Departamento
Ms.c. Ing. Rubén Jerez



Tutor
Ms.c. Ing. David A. Verdecia Torres



Bayamo, M.N, 17 de Mayo del 2013
"Año 55 de la Revolución"



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

INFORME MENSUAL DEL TRABAJO DE DIPLOMA



Diplomante: Egdo. Gorky Stalin Rocha Marcillo

Tutores: Ms.c. Ing. Raúl F. Pacheco Gamboa

Ms.c. Ing. David A. Verdecia Torres

Título: *Planificación Energética del Consejo Popular "Victorino".*

Tarea	Fecha
Revisión y corrección del primer y segundo capítulo	20/05/2013
Preparación de la presentación para la exposición ante el tribunal sobre el tema de tesis	21/05/2013
Arreglo de las diapositivas para la presentación	22/05/2012
Repaso junto a los tutores para la exposición	23/05/2013
Exposición sobre el tema de tesis	24/05/2013
Recolección general de datos sobre el terreno de la Comunidad de "Victorino" para su planificación energética	27/05/2013
Ingreso de la información obtenida de la Comunidad "Victorino" por parte de estudiante y tutores	28/05/2013
Recopilación de información sobre las población de la Comunidad "Victorino"	29/05/2013
Ingreso de la información obtenida acerca de la población de la Comunidad "Victorino"	31/05/2013
Recopilación de información sobre las fuentes alternativas de la Comunidad "Victorino"	03/06/2013
Ingreso de la información obtenida acerca de las fuentes alternativas de la Comunidad "Victorino"	04/06/2013
Recopilación de información sobre la producción de la Comunidad "Victorino"	05/06/2013
Ingreso de la información obtenida acerca de la producción de la Comunidad "Victorino"	06/06/2013
Recopilación de información sobre la ubicación geográfica de la Comunidad "Victorino"	07/06/2013
Ingreso de la información obtenida acerca de la ubicación geográfica de la Comunidad "Victorino"	10/06/2013
Elaboración del tercer capítulo de la tesis	11/06/2013
Elaboración del modelo matemático para la cocción de alimentos	12/06/2013
Elaboración del modelo matemático para el bombeo de agua	13/06/2013
Elaboración del modelo matemático para la iluminación	14/06/2013
Elaboración del modelo matemático para las aplicaciones eléctricas	15/06/2013
Elaboración del modelo matemático para el calentamiento de agua	16/06/2013

Bayamo, M.N, 16 de Junio del 2013
"Año 55 de la Revolución"

Observaciones:

Con respecto a la exposición resultó ser muy buena aunque existen aún ciertas pautas por mejorar y sobre la recolección de datos se está haciendo un análisis minucioso para determinar la mejor alternativa energética que va a ser utilizada en la elaboración de la tesis



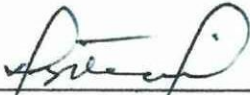
Tesista
Egdo. Gorky Stalin Rocha Marcillo



Tutor
Ms.c. Ing. Raúl F. Pacheco Gamboa



Jefe de Departamento
Ms.c. Ing. Rubén Jerez



Tutor
Ms.c. Ing. David A. Verdecia Torres



Bayamo, M.N, 16 de Junio del 2013
"Año 55 de la Revolución"



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



INFORME MENSUAL DEL TRABAJO DE DIPLOMA

Diplomante: Egdo. Gorky Stalin Rocha Marcillo

Tutores: Ms.c. Ing. Raúl F. Pacheco Gamboa

Ms.c. Ing. David A. Verdecia Torres

Título: *Planificación Energética del Consejo Popular "Victorino".*

Tarea	Fecha
Preparación de la presentación para la pre-defensa de la tesis	17/06/2013
Formalización y aspectos propios para la pre-defensa de tesis	18/06/2013
Presentación de la nómina de los miembros del tribunal	19/06/2013
Diálogo con el tribunal de tesis	20/06/2013
Exposición de la pre-defensa de la tesis	21/06/2013
Revisión y corrección del tercer capítulo y desarrollo de los anexos	24/06/2013
Visita a la Comunidad "Victorino" para la toma de fotos necesarias en la elaboración de los anexos	25/06/2013
Visita a la oficina nacional de estadística para determinar los dispositivos a instalar y su energía obtenida	26/06/2013
Visita a la estación meteorológica para determinar el potencial eólico de la comunidad "Victorino"	27/06/2013
Visita a la estación de energía solar para determinar el potencial solar en la Comunidad "Victorino"	28/06/2013
Elaboración de la portada del trabajo de diploma	01/07/2013
Elaboración de las conclusiones y recomendaciones	02/07/2013
Revisión y corrección general de toda la tesis	03/07/2013
Impresión del trabajo de diploma previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico	04/07/2013
Empastado del trabajo de diploma	05/07/2013
Presentación de la tesis a los tutores	08/07/2013
Presentación de la tesis al oponente	09/07/2013
Aprobación del trabajo de diploma	10/07/2013
Validación del trabajo de pre-grado	11/07/2013
Pre-defensa de tesis ante el tribunal	12/07/2013
Defensa de la tesis de grado y entrega de documentos por parte de la Universidad de Granma	15/07/2013
Finalización del ciclo académico	16/07/2013

Bayamo, M.N, 16 de Julio del 2013
"Año 55 de la Revolución"

Observaciones:

El trabajo de pregrado fue desarrollado con altos estándares de calidad y datos reales recogidos en el lugar de estudio, por lo tanto, el estudiante Egdo. Rocha Marcillo Gorky Stalin se incorpora como Ingeniero Eléctrico en la Universidad de Granma, Cuba con la máxima calificación de cinco (5) puntos.

Firman para constancia del informe final:

Tesista
Egdo. Gorky Stalin Rocha Marcillo

Tutor
Ms.c. Ing. Raúl F. Pacheco Gamboa



Jefe de Departamento
Ms.c. Ing. Rubén Jerez

Tutor
Ms.c. Ing. David A. Verdecia Torres



Bayamo, M.N, 16 de Julio del 2013
"Año 55 de la Revolución"

PENSAMIENTO

*“Desgraciado del pueblo donde los jóvenes
son humildes con el tirano, donde los
estudiantes no hacen temblar al mundo.”*

Juan Montalvo.

DEDICATORIA

Mi tesis se la dedico con todo mi amor y cariño:

Para mis abuelitos César Tarquino Rocha y Leonor Amelia Veloz Andrade quienes han sido como padres para mí y quienes me han sabido amar y apoyar en toda mi vida, especialmente en mi vida universitaria.

A mis padres Gorky Tarquino Rocha Veloz y Laura Piedad Marcillo Cajamarca, quienes con amor y sabiduría me han sabido guiar hasta llegar a ser el hombre de bien quienes siempre anhelaron.

A mis hermanos Lenin Wladimir Rocha Marcillo y Tarquino Pavel Rocha Marcillo quienes a pesar de nuestras diferencias siempre nos hemos mantenido unidos y siempre me han apoyado cuando más los necesitaba.

Y a mi amor, a mi princesita Verónica Nataly Martínez Guzmán quien siempre ha estado a mi lado apoyándome y dándome ánimos cuando creía que ya no podía más, siempre alentándome a seguir adelante y a no rendirme jamás por más difícil que sea camino a seguir, gracias mi amor por tu apoyo, comprensión y amor, gracias por escucharme y por tus consejos, gracias por ser parte de mi vida, eres lo mejor que me ha pasado.

Gracias a todas estas personas quienes forman parte de mi vida ya que por ustedes soy el profesional y el hombre más orgulloso del mundo.

AGRADECIMIENTOS

A mis tutores Ms.c. Raúl Pacheco Gamboa y Ms.c. David Verdecia Torres por aclarar mis dudas y su predisposición permanente de colaboración en la elaboración de mi tesis de grado.

Para los(as) amigos (as) que hice en esta etapa final de mi carrera quienes me supieron apoyar y brindar su amistad incondicional.

RESUMEN:

El siguiente trabajo se realizó en el consejo popular Victorino, del Municipio Guisa, de la provincia Granma. El mismo surge por la necesidad de realizar un estudio de planificación energética con vista a conocer las posibles alternativas energéticas. En el mismo se desarrolla una metodología para el cálculo de las alternativas utilizando métodos multicriterios basándose en los potenciales de todas las fuentes renovables presentes en el consejo popular las cuales han sido seleccionadas principalmente porque responden a las características propias del lugar.

ABSTRACT:

The following work was realized in the popular council of Victorino, Municipality of Guisa, Granma's province. The investigations develop a methodology for energetic planning with a view to know the possible energetic alternatives. In this methodology we used multi criteria methods for the selections of the energetic alternatives using the potentials of all renewable sources present in the popular council, this alternatives have been selected principally because they answer to the own characteristics of the place.

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA (ESTADO DEL ARTE)	4
1.1. La planificación energética en el mundo	4
1.1.1. Planificación energética en América Latina y el Caribe	7
1.1.2. Planificación energética en el Ecuador	10
1.2. Alternativas energéticas para pequeñas comunidades rurales	13
1.2.1. Vías para electrificar pequeñas comunidades rurales sin conexión a la red	21
1.3. Métodos para evaluar la planificación energética de comunidades rurales	24
1.4. Métodos computacionales utilizados para evaluar alternativas de planificación energética.....	25
1.5. Método para localización óptima de Centrales de Energías Renovables	25
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	29
2.1. Caracterización del lugar de investigación.....	29
2.2. Proceso de planificación energética en comunidades rurales	31
2.2.1. Definición del problema.....	31
2.2.2. Determinación de las características de consumo y requerimientos energéticos de la comunidad.....	31
2.2.3. Elementos para determinar los índices de consumo para cada uso final de la energía.....	32
2.3. Clasificación del problema.....	33
2.3.1. Establecimiento de los objetivos de la selección.....	33
2.3.2. Clasificación de factores.....	34
2.3.3. Establecimiento del carácter de la selección.....	34
2.3.4. Selección del método para solucionar el problema.....	34
2.4. Solución del modelo matemático.....	35
2.5. Validación, análisis de sensibilidad, análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones.....	36

2.6.	Implementación.	36
2.7.	Decisión Multicriterio Discreta (DMD).	46
2.7.1.	Ponderación Lineal.	47
2.7.2.	Determinación de los factores de peso.....	48
2.8.	Decisión Multiobjetivo (DMO).	49
2.9.	Alternativas energéticas y usos finales de la energía.	50
2.10.	Requerimientos energéticos de la comunidad y sus índices de consumo.....	51
2.11.	Determinación de potenciales de las fuentes de energía.	54
2.12.	Aplicación de los métodos de selección.	54
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.		56
3.1.	Métodos de selección de alternativas de suministro de energía.	56
3.2.	Determinación de los requerimientos energéticos de la comunidad y sus índices de consumo.	56
3.3.	Determinación de los potenciales de las posibles fuentes energéticas a utilizar.	63
3.3.1.	Determinación del potencial eólico de la comunidad.	63
3.3.2.	Determinación del potencial solar de la comunidad.	64
3.3.3.	Determinación del potencial hidroeléctrico de la comunidad.	64
3.4.	Aplicación de los métodos de selección.....	64
3.5.	Determinación de los factores de peso.	66
3.6.	Análisis de resultados y conclusiones parciales del método aplicado.....	73
CONCLUSIONES:		75
RECOMENDACIONES:		76
BIBLIOGRAFÍAS:		77

INTRODUCCIÓN

La situación actual del panorama energético es muy controvertida. El consumo aumenta y es previsible que siga aumentando. Las formas de energía renovable son muchas en la naturaleza, e incluyen la energía solar, la eólica, energía marítima, geotérmica y biomasa.

Los recursos energéticos renovables no producen el efecto de los fósiles, solamente la biomasa produce CO₂ en su uso, sin embargo a juicio de los expertos, la cantidad emitida puede ser balanceada con la fijación de esta sustancia durante el proceso de fotosíntesis, por ello si es usada adecuadamente y de forma sustentable, el balance neto es cero.

En la actualidad más de 2000 millones de personas en el mundo, pertenecientes principalmente a las zonas rurales de los países en vías de desarrollo, no tienen acceso a la energía eléctrica, además, existe un pequeño número de viviendas en países desarrollados sin conectar a la red eléctrica.

Las zonas montañosas de Cuba cubren una extensión de 19000 km², casi el 17% de la superficie del país y en ellas residen más de 720000 habitantes (6,5% de la población total) (González Morera, 2005).

Antes de 1990, las comunidades aisladas en zonas montañosas recibían un mínimo de servicio eléctrico suministrado por plantas generadoras diesel. En los últimos años, dadas las graves limitaciones económicas de Cuba, estas plantas eléctricas se fueron deteriorando, por falta de piezas de repuesto y combustible. Las pocas que quedan funcionando brindan servicios muy inestables y de sólo de dos a tres horas al día.

En Cuba alrededor de 150000 personas (aproximadamente 101000 viviendas) viven en comunidades rurales aisladas no electrificadas, independientemente de que durante el período revolucionario y antes del período especial se pudo desarrollar el Sistema Electroenergético Nacional (SEN) fundamentado sobre la base de las termoeléctricas y el petróleo importado, dependencia que se planteaba reducir con el desarrollo de la

cogeneración, en la industria azucarera como alternativa, pero los resultados no han sido los esperados.

La Universidad Central de las Villas ha tenido experiencia en la electrificación de zonas rurales, ejemplo de ello se encuentra la comunidad de Manantiales, Las Calabazas en Villa Clara y Palma Criolla en la provincia Granma, esto como una extensión del proyecto internacional RESURL III.

Durante muchos años las familias campesinas han podido subsistir valiéndose de recursos naturales de las propias áreas montañosas donde han vivido, pero con el desarrollo de las ciudades han ido disminuyendo los habitantes de esta zona y por consiguiente han quedado sin cubierta boscosa las fincas abandonadas, y los pobladores que han quedado no cuentan con la infraestructura necesaria para seguir aprovechando los recursos sin dañar el ecosistema circundante. No se cuenta con una cultura conservacionista y existe el peligro de que desaparezcan especies de la flora y la fauna (Correa E., 2005).

La presión humana sobre suelos degradados en las laderas de las montañas de Victorino y las riberas del Río Guisa, ha limitado la diversidad agrícola local y ha provocado afectaciones severas al ecosistema de la montaña.

En la actualidad la intensa sequía que azota a esta zona geográfica es una consecuencia más de estas prácticas agrícolas. La quema indiscriminada por el uso como combustible del deteriorado bosque por los habitantes hacen que las familias de la comunidad de Victorino y el Frío corten diariamente 40 m³ de leña para cocinar, sin tener en cuenta que las instalaciones como el Hospital Rural, el Instituto Pre-Universitario, la Cooperativa de Producción Agropecuaria Desembarco del Granma, la Unidad Básica Agroindustrial de Café y Cacao y la Panadería cortan 7 m³ diario, que en total queman en el año 4320 m³ de leña, o sea 910 kg por cada m³.

Actualmente las reservas energéticas constituyen preocupaciones para la humanidad, tanto desde el punto de vista de sus cantidades como desde el punto de vista de lo nocivo que son para su supervivencia y de otras especies que ya comenzaron a sufrir

en gran medida los efectos del medio en ese sentido. En consecuencia, la energización debe ser considerada como un componente estratégico de un marco más amplio de acciones de desarrollo integral, destacando que se considera a la dimensión energética como una condición necesaria pero no suficiente para lograr dicho desarrollo.

Por todo lo anterior citado, es necesario tener en cuenta para el desarrollo rural sostenible una adecuada proyección energética, que permita satisfacer las necesidades y requerimientos energéticos de dichos asentamientos rurales.

Atendiendo a los planteamientos anteriores tenemos que, la no existencia de un estudio profundo que permita la planificación energética del Consejo Popular "Victorino", constituye nuestro **problema científico**.

Hipótesis: Utilizando herramientas de selección multicriterios, es posible planificar energéticamente al consejo popular "Victorino".

Objetivo general: Obtener una metodología que permita la planificación energética del Consejo Popular "Victorino".

Objetivos específicos:

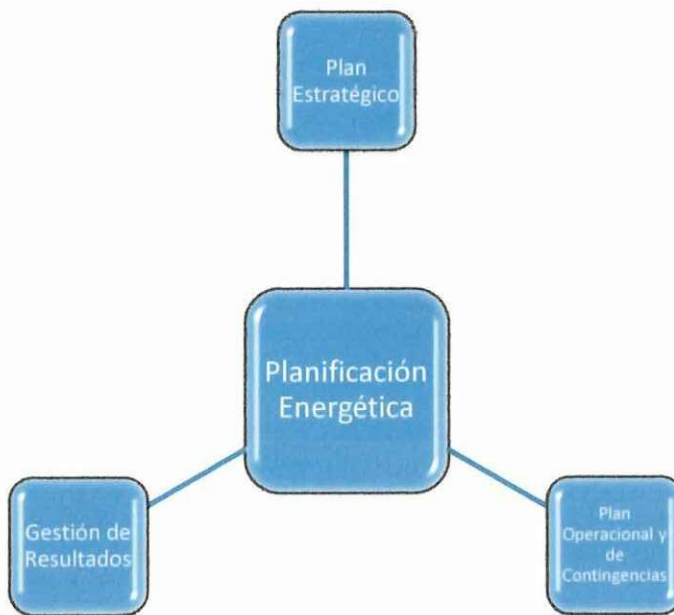
1. Realizar una extensa búsqueda bibliográfica sobre la selección de alternativas energéticas.
2. Determinar los factores de peso para la realización de la toma de decisiones.
3. Obtener las matrices de toma de decisión.
4. Realizar la planificación energética del Consejo Popular "Victorino", utilizando herramientas de selección multicriterios.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA (ESTADO DEL ARTE)

1.1. La planificación energética en el mundo

La integración energética debe enmarcarse dentro de la integración económica. Constituye un objetivo parcial del desarrollo sustentable, por lo que su análisis debe abordarse como una sucesión de conjuntos incluidos y sus proyectos deben estar estrechamente vinculados al proceso de globalización. En general, el estudio del sector energético muestra la ventaja comparativa de la región en cuanto a la disponibilidad de energía primaria, que la pone en condiciones inmejorables para enfrentar el desafío de la integración energética regional y hemisférica a gran escala, lo que proporciona beneficios relevantes para el desarrollo (Zanoni, 2005).

Un proceso de planificación energética integrada es un proceso conformado por los siguientes componentes:



- **El plan estratégico:** Debe focalizar su atención en la misión de planificación energética y en su dirección siendo sus elementos misión, análisis estratégico, estrategia, objetivos a largo plazo, proyectos integrados, estimaciones financieras, resumen ejecutivo.

- **El plan operacional y de contingencias:** Debe concentrarse en cómo implementar la estrategia y alcanzar resultados en el corto plazo, por un lado, y desarrollar opciones de contingencia ante eventuales problemas que, por diferentes motivos, se presentan de forma sorpresiva, por el otro lado siendo sus elementos el análisis operacional, áreas de resultados claves, opciones de contingencia, comando central de contingencias, objetivos al corto plazo, líneas de acción, presupuesto.
- **Gestión de resultados:** Debe realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos con los planificados, tanto en lo estratégico como en lo operacional, a fin de asegurar que los resultados deseados sean alcanzados siendo sus elementos el sistema de monitoreo y control, reportes mensuales y anuales, resultados por áreas operativas, acciones (Correa E., 2005).

La misión de la planificación estratégica es garantizar el derecho a la energía a todos los ciudadanos. Esta misión concibe a los recursos naturales, particularmente a los energéticos del país los cuales son de propiedad inalienable e imprescriptible de la nación. Además la energía es un derecho humano y como tal es una exigencia moral que necesariamente debe ser satisfecha (Correa E., 2005).

La estrategia identifica y formula la dirección de los planes que debe llevar a cabo la Secretaría de Energía de cada nación de acuerdo a las necesidades de la economía en general y de las políticas públicas (Correa E., 2005).

En el mundo existen reservas ricas en petróleo, gas natural, carbón mineral y potenciales hidroeléctricos. Sin embargo, es dramáticamente pobre en la capacidad instalada de generación de electricidad y, por lo tanto, en el consumo.

Como variable explicativa del desarrollo, el bajo consumo de electricidad pone de relieve el significativo atraso de América Latina y el Caribe frente a los países industrializados (Zanoni, 2005).



La principal fuente energética en el mundo es el petróleo, la misma que se está agotando, por lo que los expertos recomiendan diversificar las fuentes o al menos encontrar una combinación de energéticos adecuada para satisfacer las necesidades de cada país (Cobo C., 1999).

El cambio climático, el pico petrolero y la seguridad energética son las tendencias mundiales que empiezan a marcar el ritmo de la transición energética requerida para abastecer a la creciente demanda de energía mundial al tiempo que se abandona aquella que ha sido la fuente principal de energía hasta la actualidad como es el caso de los combustibles fósiles (Lojano Ch. and Rios G., 2013).

El petróleo y sus derivados representan 13,5 % de las reservas mundiales y 13,8 % de la producción. Es el principal energético regional, tanto para el consumo doméstico (48 %) como para la exportación. Los principales exportadores hacia el resto del mundo son Venezuela, México, Colombia, Ecuador y Trinidad y Tobago, que poseen los excedentes más importantes. El comercio extrarregional creció en los últimos años más de 60 % (Zanoni, 2005).

El gas natural representa 5,7% de las reservas mundiales y 7,7 % de la producción. En grado de importancia, es el segundo energético consumido en la región (22 %), porcentaje que coincide con la participación en el consumo mundial de gas. La mayor concentración se observa en el Mercosur ampliado (con Bolivia y Chile como Estados asociados) (Zanoni, 2005).

El carbón tiene baja significación. Las reservas representan 1,7 % del total mundial y la producción, 1,3 %. Aunque en el ámbito global el carbón ocupa el segundo lugar en la matriz de consumo, en América Latina y el Caribe ocupa el quinto lugar, con 5 % del consumo total. Pese a que el carbón de Colombia y Venezuela es de excelente calidad y a que otros países de la región también lo producen, se destina fundamentalmente a la exportación (Zanoni, 2005).

El potencial hidroeléctrico se encuentra entre los más importantes del mundo. La producción de electricidad es 6,5 % del total mundial, y para ella se aprovecha

intensivamente la capacidad de generación hidroeléctrica, que representa 62,7% del total de electricidad producido en la región (Zanoni, 2005).

El eje estratégico sobre el cual puede plantearse una reconfiguración radical y estructural del propio espacio geográfico sudamericano, es el hidrográfico.

Existe una larga tradición que se remonta a las primeras décadas del siglo XX en toda Sudamérica de estudios geofísicos y geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos que tenían como principal objetivo la consolidación de un esquema de aprovechamiento integral de los ríos interiores del continente sudamericano en función de las necesidades cada vez más acuciantes de un desarrollo económico-social (Lahoud, 2008).

En un sugerente trabajo sobre la Integración Iberoamericana publicado por la Fundación Schiller, se afirma la necesidad estratégica de contar con un sistema de comunicación hidrográfica interna que permita viabilizar el desarrollo económico a través de los ríos como agentes potencializadores de un crecimiento sostenido (Lahoud, 2008).

1.1.1. Planificación energética en América Latina y el Caribe.

A pesar de los esfuerzos por impulsar las energías renovables, especialmente en los países desarrollados, los combustibles fósiles seguirán siendo en las próximas décadas la fuente dominante de la energía primaria a nivel global (Ruiz, 2006).

América Latina ha sido tradicionalmente una fuente clave de productos primarios para el mundo. Entre los países especializados en la exportación de productos no renovables (lo que incluye bienes energéticos y bienes minerales, a los que en adelante denominaremos productos no renovables) sobresalen Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, México, Trinidad y Tobago y la República Bolivariana de Venezuela (Jiménez and Tromben, 2006).

A estos países se los puede clasificar en tres grupos:

- En el **primer grupo** se hallan la República Bolivariana de Venezuela y Trinidad y Tobago. Para la República Bolivariana de Venezuela, la participación anual media de las exportaciones de petróleo en sus exportaciones totales fue de 79% en el período considerado, y excepto en tres años (1981, 1982 y 1998), la cifra superó el 70 %. Para Trinidad y Tobago, la participación media anual de las exportaciones de hidrocarburos (petróleo y gas natural) en sus exportaciones totales fue de 66 %.
- En el **segundo grupo** se cuentan Chile y Ecuador, cuyas exportaciones de cobre en el primer caso y de petróleo en el segundo registraron una participación anual media superior a 40% de las exportaciones totales (40,9 % para Chile y 45,6 % para Ecuador).
- En el **tercer grupo** se encuentran Bolivia, Colombia y México, con una participación de los productos no renovables en sus exportaciones totales de entre 20 y 35 % (Jiménez and Tromben, 2006).

La integración energética en América Latina tiene muchas potencialidades de desarrollarse y cuenta con una larga historia. Por eso se desarrollaron interconexiones físicas y se incentivó la operación de empresas energéticas latinoamericanas en otros países de la región. Sin embargo, existen procesos que buscan desarrollar una real integración regional, tanto binacional como multilateral, mediante la planificación y coordinación energética de acuerdo a las capacidades y necesidades de los pueblos, teniendo en cuenta el uso racional y eficiente de los recursos naturales (Mansilla, 2011).

El abordaje de las energías renovables, desde una óptica multidisciplinar integrada al ambiente, constituye un punto clave en los procesos de zonificación y planificación territorial. Las cuestiones energéticas se integran al territorio como demanda y problemática a resolver (requerimientos sociales y productivos), pero también como oportunidad y potencialidad para el cambio (mayor eficiencia, tecnologías nuevas, cuidado ambiental) (Belmonte et al., 2009).

Analizar el tema energético desde la óptica territorial presenta múltiples ventajas, ya que permite, entre otras cosas:

- Valorar los recursos energéticos renovables potenciales
- Visualizar la demanda energética en toda su complejidad
- Incorporar las perspectivas y visiones de los actores locales
- Potenciar recursos y capacidades locales
- Analizar impactos ambientales
- Identificar las prioridades y orientar la planificación a corto y largo plazo de propuestas y acciones en cuestiones energéticas (Belmonte et al., 2009).

De acuerdo con los indicadores de la Organización Latinoamericana de Energía (Olade), América Latina y el Caribe producen 9% de la energía del mundo; consumen 6,8 % y exportan 2,2 %.

El consumo promedio, aunque creció 3,7 % en la última década, aún es bajo si se lo compara con el de las economías industrializadas y también es dispar entre los diferentes países de la región (Zanoni, 2005).

Ello se debe a las diferencias en el desarrollo y la situación de pobreza y bajos ingresos, que impiden una expansión significativa de los mercados de bienes y servicios.

Es ilusorio pensar que, sin un proceso de desarrollo más agresivo, la región pueda reducir la brecha de consumo con los países industrializados e integrarse más plenamente al mundo globalizado (Zanoni, 2005).

De acuerdo con estas cifras, podemos afirmar que América Latina y el Caribe se caracterizan por la diversidad de fuentes energéticas, renovables y no renovables; el consumo autosostenible en conjunto; la distribución desigual de los recursos energéticos; y la falta de eficiencia y de utilización de tecnologías que ahorran energía (Zanoni, 2005).

En América Latina y el Caribe, la reducción de la intensidad energética desde 1990 fue solo del 0.2% anual. Lo anterior ocurre, por un lado porque son pocos los países que mantienen programas de eficiencia de largo plazo, y por el otro, por la baja incorporación de tecnologías eficientes por modernización de electrodomésticos y vehículos (Poveda, 2007).

De acuerdo a estimaciones conservadoras realizadas por OLADE, la región en el período 2003-2018, podría acumular un ahorro de 156 mil millones de dólares en combustibles si emprendiera programas nacionales sólidos y de largo plazo en eficiencia energética (Poveda, 2007).

PDVSA firmó acuerdos con Paraguay, Uruguay y Cuba, que incluyeron la reforma de las antiguas refinerías de las petroleras estatales (Villa Elisa, La Teja y Cienfuegos, respectivamente) para permitirles la destilación de petróleo pesado, garantizando el abastecimiento futuro con producción venezolana (Mansilla, 2011).

A su vez, firmó un acuerdo con la estatal Petróleos de Ecuador (PetroEcuador) para ampliar su capacidad de refinación ya que Ecuador a pesar de exportar petróleo crudo, debe importar subproductos. Mientras tanto, Venezuela refinará unos 100.000 barriles diarios de petróleo ecuatoriano 'Napo' para enviar los subproductos de regreso a Ecuador (Mansilla, 2011).

1.1.2. Planificación energética en el Ecuador.

Teniendo en cuenta los diversos procesos en los cuales interviene el agua y el hecho que esta no se encuentra distribuida de manera equitativa, se establece la importancia que el recurso tendrá en el transcurso del tiempo. El Ecuador cuenta con recursos hídricos suficientes para asegurar el abastecimiento de agua a su población, riego, agua para procesos industriales y otros usos consuntivos.

Sin embargo, el deterioro de las fuentes de agua avanza aceleradamente siendo necesario organizar su explotación y conservación con gestión integral que garantice la disponibilidad del recurso para las futuras generaciones y el desarrollo (Cisneros et al., 2008).



La integración energética tiene el potencial de apoyar y complementar políticas sociales y ambientales de los países, así como incentivar su expansión en capacidad de generación. Para que sea exitosa debe estar relacionada con la integración económica, con objetivos claros que permitan revertir las deficiencias económicas, sociales y ambientales de la región y contribuir a aumentar su competitividad. A fin de avanzar en la integración es necesario considerar las tendencias de las economías y mercados energéticos mundiales, es decir, el marco en el que se implementarán las políticas (Osorio R. and Franco C., 2011).

Energía y Desarrollo son conceptos íntimamente ligados entre sí, uno es razón para otro. La energía es el motor del desarrollo de un pueblo, sin energía no tendríamos bienestar en nuestras viviendas y hábitos de vida (Cobo C., 1999).

El territorio nacional del Ecuador se divide en 31 Sistemas Hidrográficos, conformados por 79 cuencas. Estos sistemas corresponden a las dos vertientes hídricas, 24 drenan hacia el Océano Pacífico y representan 48,07 % de la superficie del territorio nacional; y 7 drenan hacia la Región Oriental, que representa el 51,41 % del territorio (Cisneros et al., 2008). Estos datos se dan a conocer a través de la tabla 1.1.

Coca Codo Sinclair (CCS) es el mayor proyecto hidroeléctrico en implementación y apuntala las políticas de soberanía y eficiencia energética del gobierno ecuatoriano, sin que se evidencien criterios de gestión integrada del recurso hídrico y equidad regional para las poblaciones locales (López, 2011).

Tabla 1.1 Potencial energético del Ecuador

Origen de la Energía	Potencia [MW]	Porcentaje (%)
Hidráulica	2057.41	42.08
Térmica	2355.43	48.18
Importada	400.00	8.18
Renovable	76.22	1.56
Total	4889.06	100.00

Fuente: (Cisneros et al., 2008)

La Dirección de Energías Renovables y Eficiencia Energética (DEREE) del Ministerio de Energía y Minas del Ecuador, está desarrollando el “Plan Nacional de Eficiencia Energética”, buscando la eliminación de barreras para la concreción de proyectos de eficiencia.

Las actividades se llevan a cabo en el marco del “Proyecto de Modernización de los Sectores Eléctricos, de Telecomunicaciones y Servicios Rurales (PROMECC), en cooperación con el Banco Mundial (donación GEF) (Altomonte, 2008).

La adopción de tecnologías de fuentes de energía renovable está influenciada por varios factores que determinan la viabilidad y beneficios de utilizar dichas tecnologías. Para ello se analiza aspectos técnicos, sociales, económicos y ambientales como factores críticos para la implementación de fuentes de energía renovable (Lojano Ch. and Rios G., 2013).

Los programas que integran el Plan son:

- Auditorías energéticas en industrias, hoteles, edificios públicos y hospitales, con el fin de demostrar la factibilidad técnica y económica de la eficiencia energética.
- Plan-piloto de eficiencia energética para el sector residencial, el cual tiene como objetivo la sustitución de focos incandescentes por lámparas fluorescentes compactas
- Capacitación en eficiencia energética que busca entregar las herramientas de conocimiento necesarias a los públicos-clave (usuarios de la energía, promotores y oferentes de bienes y servicios) (Altomonte, 2008).

El país durante los últimos 15 años ha basado sus recursos energéticos a través de su potencial hidroeléctrico, geotérmico y sus reservas probadas en lo que respecta a hidrocarburos como son el petróleo y el gas natural (Cobo C., 1999).

El Ecuador, país petrolero y productor de hidrocarburos, hace que su economía gire alrededor del petróleo, sin embargo el país no produce poca energía, al contrario,

produce 3,5 veces más lo que se consume pero no se utiliza la cantidad total de este recurso ya que el 70 % de petróleo es exportado (Cobo C., 1999).

Puesto que el Ecuador exporta el 70 % del crudo que extrae de la Amazonía, e importa derivados de petróleo y electricidad para complementar una oferta total de energía dependiente de combustibles fósiles en 90 % con alto costo económico y ambiental, se evidencia que en materia energética el país es no sostenible.

A pesar del enorme potencial instalable del país en fuentes de energía renovable, sobre todo hídrica (23500 MW), geotérmica (540 MW), biomasa y solar (sin datos precisos), su aporte actual a la matriz energética es marginal, menor al 4 % de la producción nacional de energía en 2009, por lo que surgen varios cuestionamientos sobre las condiciones en que las energías renovables aporten de forma significativa a la transformación del sistema nacional de oferta y consumo de energía (López, 2011).

En definitiva, la eficiencia energética debe ser considerada como una estrategia para el desarrollo del Ecuador, en la que se promueva el uso de procesos y tecnologías eficientes y limpias, compatibles con la situación socio-económica del país, con la búsqueda de competitividad y modernización de los sectores producidos y con la necesidad de minimizar el impacto ambiental que causan las actividades de producción, transporte y consumo de energía (Cobo C., 1999).

1.2. Alternativas energéticas para pequeñas comunidades rurales.

La necesidad de fuentes energéticas para satisfacer la demanda mundial ha sido siempre uno de los principales retos para la ciencia moderna, el agotamiento de las reservas mundiales de petróleo, la demanda de energía para satisfacer exigencias de las grandes industrias que mueven la economía mundial y la preocupación por producir energía limpia que ayude a reducir los índices de contaminación ambiental, han conducido a investigaciones diversas para encontrar fuentes alternativas de energía.

El incremento de los costos de los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas), los problemas medioambientales derivados de su explotación y la percepción que tiene la humanidad de cómo cada día se incrementan las especies que tienden a desaparecer;

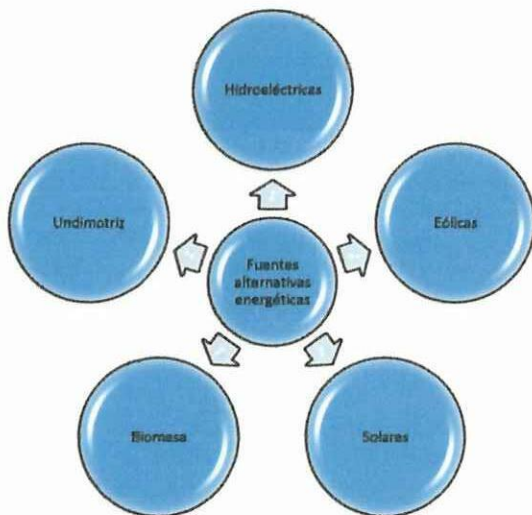
ha originado que el hombre se vea en la obligación de tomar medidas para su protección (Márquez S et al., 2009).

Los científicos han encontrado una solución al problema de cómo generar la energía necesaria para la sustentación del planeta que consiste en el uso de fuentes inagotables de energía a las cuales se les ha llamado Fuentes de energía alternativa, entre las cuales se tienen: hidráulica, biomasa, residuales sólidos, eólica, geotérmica, y la solar fotovoltaica (Márquez S et al., 2009).

Hoy en día, alrededor de un 25 % de la población mundial no tiene acceso a servicios eléctricos. Siendo el resultado la falta de desarrollo y crecimiento económico en dichas comunidades. De esta manera, nuevas formas de obtención de energía cobran importancia a la hora de resolver dicho problema (Iparraguirre Carbonell et al., 2012).

Para el diseño de un sistema de Energías renovables, es conveniente conocer la disponibilidad del recurso, acudiendo a las oficinas de mediciones meteorológicas locales, o nacionales para acceder a los mapas de radiación, de vientos o datos de los caudales máximos, mínimos y promedio de la cuenca en estudio. Así mismo, se consigue software de algunas agencias, que nos permite acceder a una importante base de datos con sólo la ubicación georeferenciada del lugar.

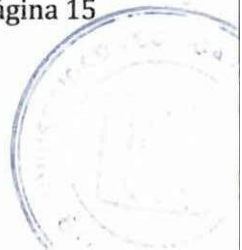
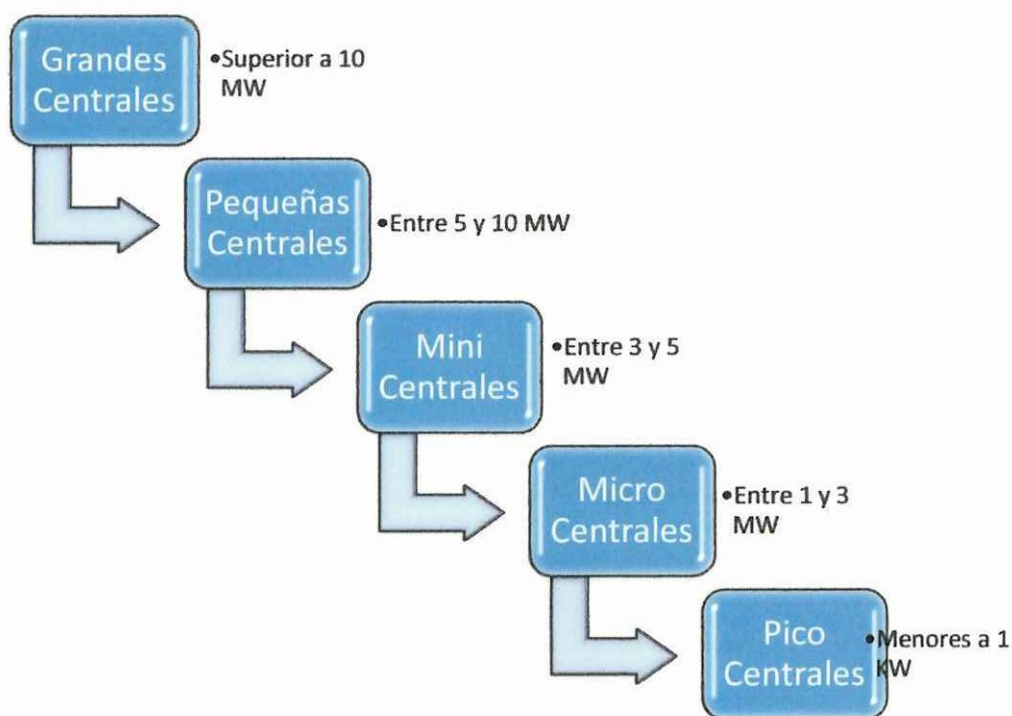
Las fuentes alternativas energéticas más viables, aceptadas y que producen menor cantidad de impacto ambiental se muestran en la figura 1.2.



- **Hidroeléctricas:** Se refiere, en éste caso al empleo de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH), para suplir las demandas de electricidad. Se consiguen en el comercio PCH's en una amplia gama de potencias, desde 100 W hasta 5 megavatios, según la clasificación que de estas estableció la OLADE. Tienen la ventaja de poder trabajar con pequeñas caídas y bajos caudales e inclusive, para aprovechamientos con aceptable caudal, se consiguen PCH's a filo de agua, las cuales fundamentalmente trabajan con caudal y con caídas desde 1 metro.

Para efectos de la memoria se considerará la implementación de centrales con potenciales energéticos menores a 5 MW. Este tipo de centrales tienen la particularidad de estar operativas entre 1 ó 2 años como máximo, tienen una baja mantención y son de fácil operación (González Morera, 2005).

Las centrales hidroeléctricas se clasifican de la siguiente manera:



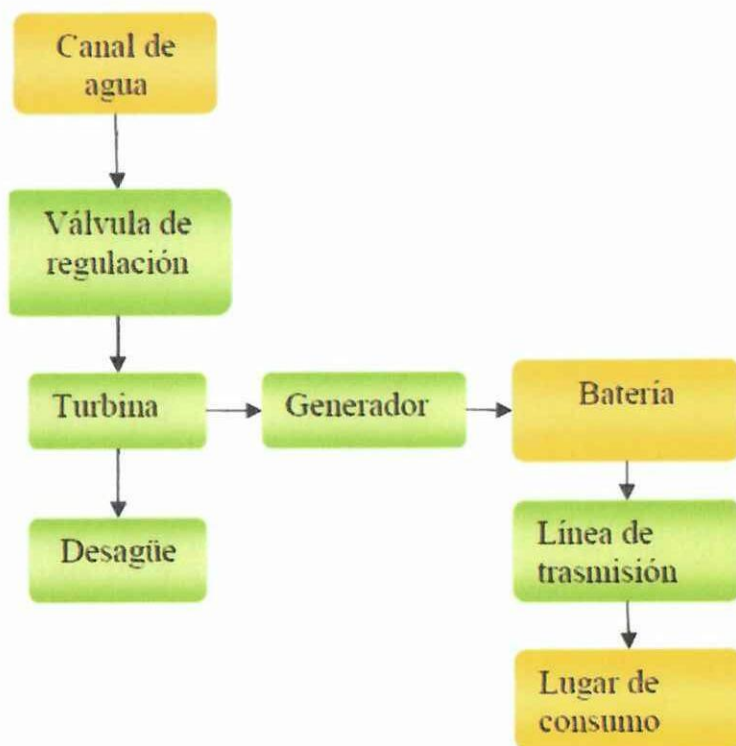


Figura 1.1. Esquema de micro-central de pasada.

- **Eólicas:** El aprovechamiento de la energía eólica se ha incrementado significativamente, especialmente en aplicaciones de mediana y gran escala, debido principalmente al desarrollo de un competitivo mercado internacional de tecnologías, así como al apoyo de acertadas políticas de promoción especialmente en Europa.

Sin embargo, el desarrollo de tecnologías para la aerogeneración a pequeña escala no ha tenido el mismo avance, especialmente en países en vías de desarrollo donde las energías renovables aún no son consideradas en los planes energéticos. Las poblaciones rurales más desfavorecidas pero con potencial eólico aprovechable se encuentran en mayor número en los andes, en donde se desarrollan vientos locales de montaña que se caracterizan por un ciclo diurno que cambia de dirección dos veces por día, producidos por la diferencia horizontal de temperatura del aire.

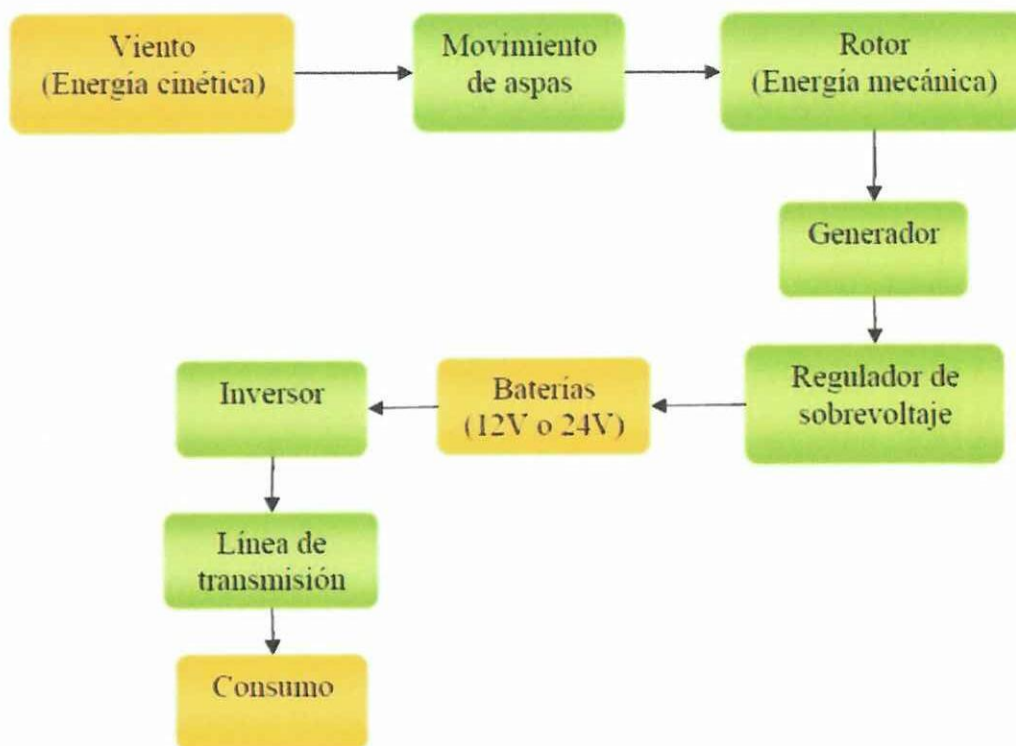


Figura 1.2. Esquema general de la generación de energía eléctrica a través de aerogeneradores.

- Solares:** La energía radiante del sol, es prácticamente la madre de todas las energías disponibles. Esta radiación (ondas electromagnéticas), se puede convertir en calor o en electricidad. La conversión de la radiación solar en electricidad, conversión fotovoltaica, permite emplear corriente directa a 12 V, para suplir las necesidades básicas. Con el auge de estos sistemas se consiguen en el mercado muchos equipos que están acondicionados a estas condiciones. De presentarse el caso, en que se dispone de antemano equipos a 110 o 120 V, corriente alterna, se requiere emplear un inversor de corriente seleccionado de acuerdo a las cargas máximas CD y CA. El sistema solar fotovoltaico se compone de un panel/es solar/es fotovoltaicos, batería/s, control de carga del sistema, estructura de soporte y opcionalmente el inversor de corriente (González Morera, 2005).

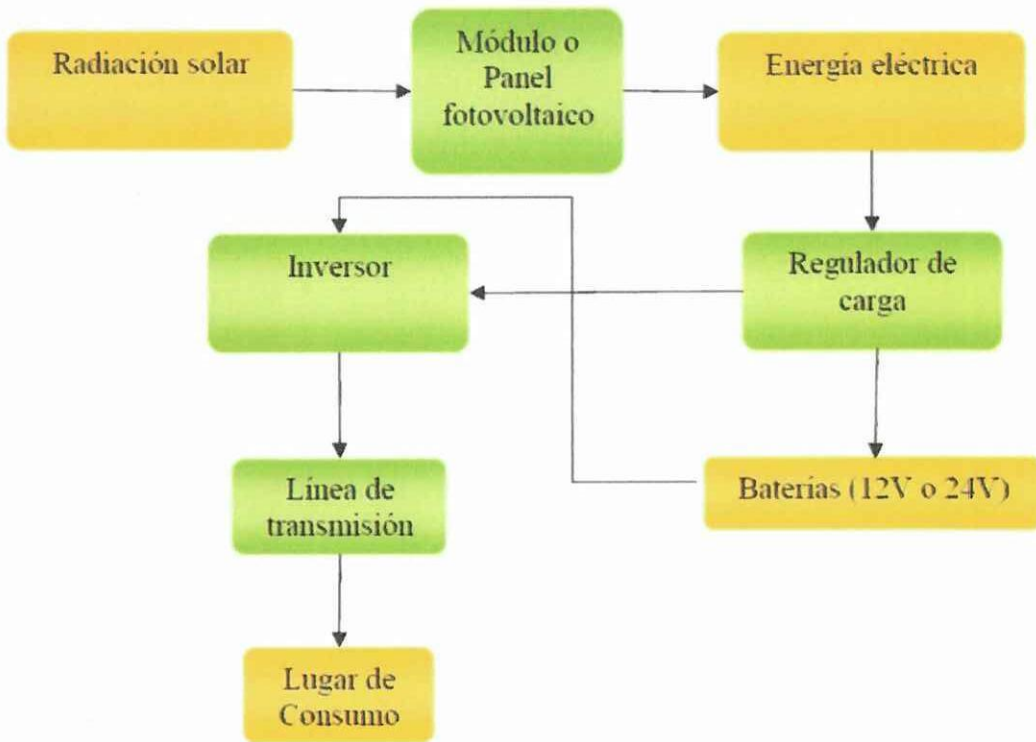


Figura 1.3. Esquema general de la obtención de energía eléctrica a través de un sistema fotovoltaico.

- **Biomasa:** La biomasa comprende los materiales con un origen biológico próximo que puedan ser utilizados para la producción de energía, de una forma social y medioambientalmente sostenible. Las fuentes más usadas son las plantaciones energéticas las cuales consisten en grandes plantaciones de árboles y cultivos, residuos forestales que provienen de carnes y vegetales son interesantes como fuente de biomasa para producir biocombustibles debido a sus altos contenidos en azúcares y carbohidratos, desechos urbanos son residuos alimenticios, papel, cartón, madera y aguas sucias. Los cuales suponen un riesgo elevado de contaminación de suelos y aguas si no se tratan o se diseña una vía alternativa de aplicación de los mismos (Iparraguirre Carbonell et al., 2012).

- **Conversión termoquímica:** Este tipo de conversión se hace a través de un proceso de gasificación por pirólisis, donde principalmente se combina el oxígeno con vapor caliente que interactúa con un carburante que puede ser madera, residuos agrícolas, residuos de podas, etc. La pirólisis se efectúa a temperaturas sobre los 1000 °C, con presiones mayores a la atmosférica (Águila B., 2011).
- **Conversión Bioquímica:** Este tipo de conversión se realiza a través de un proceso de fermentación anaeróbica con el cual se obtiene gas metano. En el proceso se utiliza como materia prima estiércol o aguas residuales que contengan desechos orgánicos, esta es homogenizada en una mezcla que alimenta a un biodigestor con temperatura controlada. El proceso ocurre en un ambiente anaeróbico (sin oxígeno) lo que genera el crecimiento de una bacteria que descompone la materia orgánica hasta producir biogás, el cual es utilizado para motores de combustión interna para impulsar generadores eléctricos (Águila B., 2011).

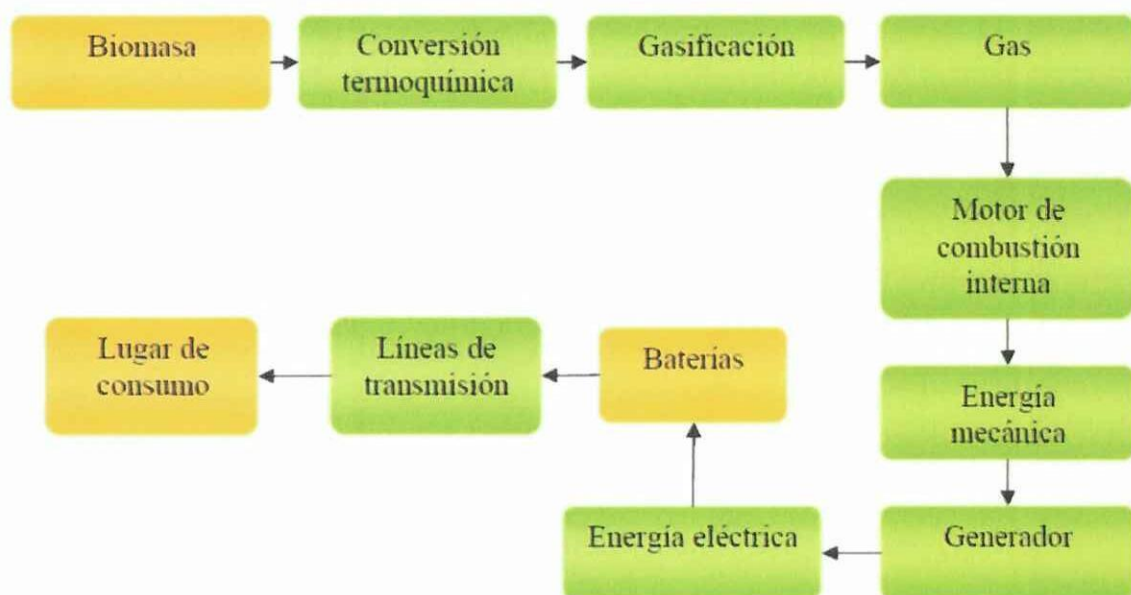


Figura 1.4. Esquema general de generación de energía eléctrica a partir de gasificación de la biomasa, mediante conversión termoquímica.

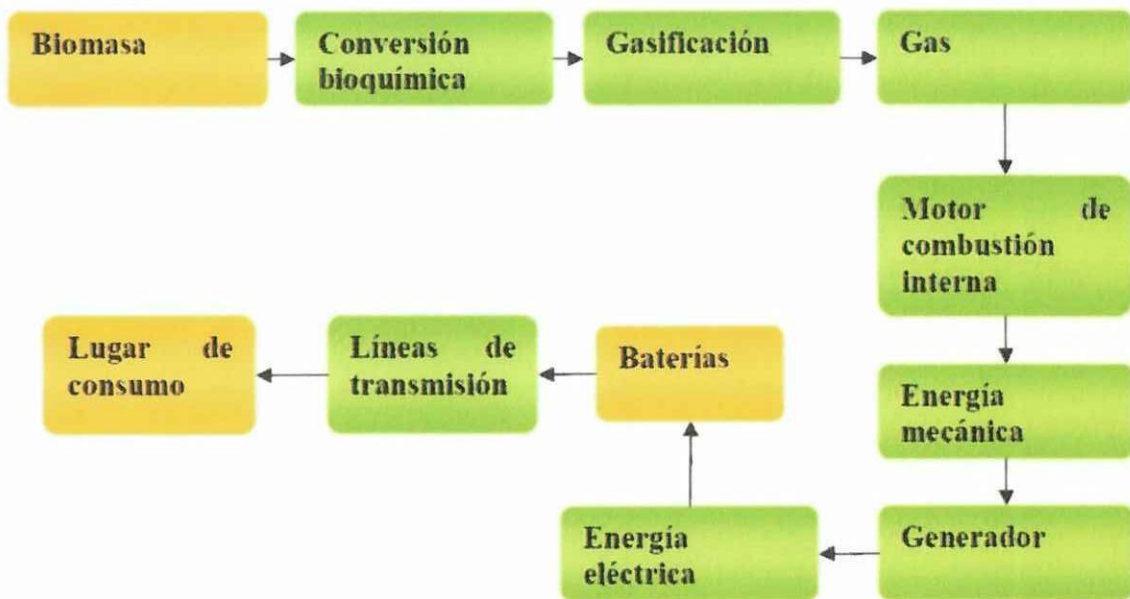


Figura 1.5 Esquema general de generación de energía eléctrica a partir de gasificación de la biomasa, mediante conversión bioquímica.

- **Undimotrices:** El papel que representa las energías alternativas ha sido de mucha importancia en este proceso innovador, permitiendo que la energía producida por el movimiento cinético y potencial de las olas sea una fuente de producción de energía eléctrica limpia, renovable e inagotable. Esta nueva forma de producción de energía eléctrica no es tan conocida como la energía mareomotriz pero cada vez se va aplicando más en todo el mundo.

La incorporación de la energía undimotriz tiene un impacto positivo con el medio ambiente ya que este tipo de energía no contamina y reduce el impacto ambiental por el cual el mundo entero está atravesando, además de ser un tipo de energía renovable e inagotable. La falta de información acerca de este tipo de energía es muy escasa, y por lo tanto no es tan estudiada ni mucho menos aplicada a grandes escalas, es por eso que son pocos los países que poseen el conocimiento y la tecnología para aprovechar la energía de las olas. Nuestra sociedad camina así hacia un colapso energético y las energías alternativas renovables, tales como la eólica, la hidráulica, la solar, la de la biomasa y la undimotriz (mareomotriz), son la opción más ecológica y razonable (González Morera, 2005).



1.2.1. Vías para electrificar pequeñas comunidades rurales sin conexión a la red.

Cuando nos referimos a la electricidad para las zonas rurales, las opciones son dos: la red y los pequeños sistemas descentralizados. Para las comunidades más alejadas de las zonas urbanas o del interconectado nacional, la red es una opción cada vez menos viable debido a su alto costo de implementación y de operación.

Existen ciertos poblados donde el servicio de energía eléctrica no está al alcance de los habitantes por factores los cuales son caminos de difícil acceso, lejanía de los poblados de la red eléctrica, etc, razón por la cual los pobladores de dichos sectores deciden adquirir la energía eléctrica de manera que aprovechen los recursos naturales existentes en la zona tales como el agua, el sol, viento y los desechos naturales lo cual con el método adecuado se convierte en electricidad.

Las vías de electrificación en las comunidades rurales que no tienen conexión a la red eléctrica deben ser aquellas que cubran las necesidades del ser humano y a su vez que produzcan impacto ambiental mínimo o nulo siendo estas fuentes de energía renovables y son:

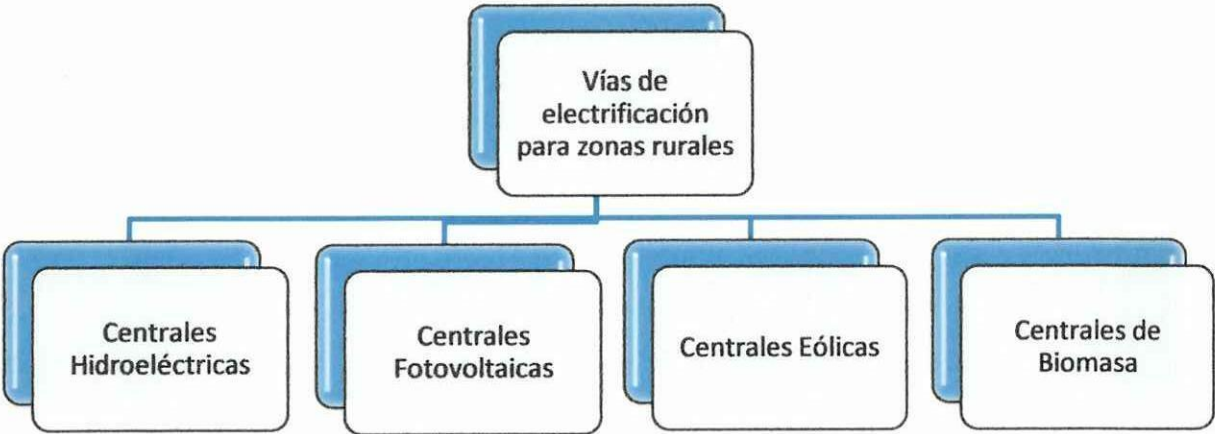


Figura 1.6. Vías de electrificación para zonas rurales.

- **Central hidroeléctrica:** Es la energía la cual se obtiene aprovechando el movimiento cinético y potencial del agua que hace girar a una turbina y así generar energía eléctrica. Se divide en pico centrales, micro centrales, mini centrales, grandes centrales y mega centrales hidroeléctricas siendo las pico y micro centrales las más utilizadas ya que no producen impacto ambiental o a su vez el impacto ambiental es mínimo y se determinan por la altura y por el caudal de agua. Este tipo de centrales no consumen agua, solo la utilizan, tiene un alto potencial disponible en sitios aislados, su costo de operación y mantenimiento es bajo y su tecnología es muy simple y de muy alta eficiencia. A su vez, se requiere de estudios técnicos para conocer su potencial y el costo de inversión en obra civil y equipos electromecánicos son muy elevados (Bermudez, 2008).
- **Centrales fotovoltaicas:** La utilización de energía solar para solucionar los problemas de electrificación en zonas aisladas ha resultado ser muy eficaz y además goza de gran aceptación social. Aunque el número de vatios instalados por persona sea pequeño, los beneficios son siempre extraordinarios. Se distinguen dos tipos de aplicaciones de la energía solar fotovoltaica: los sistemas aislados y los sistemas conectados a la red. Los sistemas aislados son especialmente útiles puesto que dan autonomía y libertad respecto a las compañías eléctricas, autoabasteciendo su propia demanda y pueden ser autónomos o híbridos. Los sistemas autónomos son sistemas descentralizados donde cada usuario tiene un pequeño sistema completo que cubre sus necesidades y necesitan de los paneles fotovoltaicos, regulador, batería e inversor, mientras que los sistemas centralizados o híbridos contienen una unidad auxiliar generalmente a diesel y es un gran sistema que cubre las necesidades de un gran conjunto de usuarios. Ambos generadores, trabajando en conjunto, permiten abastecer la demanda durante todo el día, garantizando el suministro ante cualquier eventualidad, por ejemplo falta de radiación durante periodos largos o descarga excesiva de las baterías (Pérez de Rada, 2006).
- **Centrales eólicas:** Energía eólica es la energía obtenida del viento, o sea, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es

transformada en otras formas útiles para las actividades humanas. La energía eólica es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía verde. Sin embargo, el principal inconveniente es su intermitencia. En las Islas Galápagos se implementaron varios proyectos para generar energía limpia. Para 2006, San Cristóbal contó con tres turbinas para la generación de energía eólica (con viento), que costó cerca de ocho millones de dólares y suplen unos 2,4 MW. Otro proyecto, todavía en estudios, podrá brindar tres megavatios a Santa Cruz, también con generación eólica. Es un tipo de energía renovable, ya que tiene su origen en procesos atmosféricos debidos a la energía que llega a la Tierra procedente del Sol, es una energía limpia ya que no produce emisiones atmosféricas ni residuos contaminantes, no requiere una combustión que produzca dióxido de carbono (CO₂), por lo que no contribuye al incremento del efecto invernadero ni al cambio climático y tiene la posibilidad de construir parques eólicos en el mar, donde el viento es más fuerte, más constante y el impacto social es menor, aunque aumentan los costes de instalación y mantenimiento (Castillo A., 2009).

- **Centrales de biomasa:** La producción de biogás consiste en la utilización de los desechos animales y vegetales los cuales en el proceso de degradación liberan gas por acción de las bacterias y la dinámica consiste en crear condiciones para mantener desechos suficientes de manera permanente, condiciones adecuadas para el desarrollo y funcionamiento de las bacterias y un sistema para la recolección y almacenamiento de gas. La importancia de la construcción de biodigestores para las comunidades rurales de la región radica en la necesidad de buscar fuentes alternativas de energía dado el alto grado de consumo de leña. En las comunidades rurales, la importancia de los biodigestores radica en que ellos no disponen de otras fuentes de energía más que la leña, los costos de las fuentes energéticas derivadas del petróleo, en principio no llegan a comunidades rurales y si llegan no están al alcance de las familias pobres. La producción del gas metano requiere de la intervención de bacterias que ayuda al

proceso de fermentación ya que la materia orgánica les sirve como medio para su desarrollo y fuente de alimento, el agua y en condiciones herméticas. El gas metano para a un almacenador por medio de tubos de cobre o una manguera facilitando su aplicación en la cocina y así preparar sus alimentos. Es muy difícil conseguir financiación y es de compleja aplicación en cuanto a electrificación rural se refiere (Bermudez, 2008).

El uso de energías renovables en los proyectos de electrificación rural presenta claras ventajas, dadas las condiciones en que se embarcan los mismos. La principal ventaja es el hecho de que la generación se produzca en el mismo lugar de consumo, dándose el hecho de que este lugar de consumo se encuentra alejado de las zonas donde puede existir generación convencional y resultando muy difícil el acceso al mismo.

En segundo lugar, las tecnologías renovables permiten soluciones individuales y de pequeña escala, que no serían tampoco posibles con otros combustibles convencionales (Bermudez, 2008).

1.3. Métodos para evaluar la planificación energética de comunidades rurales.

- El **software SURE**, es una herramienta que predice y mide de forma dinámica los diferentes impactos que producen las transferencias de tecnologías energéticas en comunidades rurales. Como novedad principal se tiene que las propuestas que SURE aporta al decisor, se basan en un análisis integrado de cinco indicadores de capital de la comunidad que están definidos. Mediante la utilización de SURE se identifican los puntos fuertes de la comunidad, en cuanto a los recursos que permitan la electrificación del área y así brindar una mejora social y agropecuaria a los pobladores (DFID, 2000).
- **Modelo MUCSy-RE** para la toma de decisiones en proyectos de energización rural, el cual abarca aspectos relacionados con el recurso natural, humano, físico, financiero y social de la comunidad. MUCSy-RE es un sistema interactivo. En dicho modelo se muestra la ambientación principal de MUCSy-RE y sus posibilidades interactivas a partir del uso de ventanas o menús superiores e inferiores. Utilizando la técnica de multicriterio (con métrica dos y la valoración de

pesos específicos) el sistema alinea los posibles planes de energización que le permitirían a LC que lograra los cambios requeridos y satisfacer plenamente sus demandas (Olalde et al., 2001). El software de MUCSy-RE procesa la información con el método de análisis de multicriterio llamado Programación por Compromiso. El método fue creado por Yu, (1973) y Zeleny, (1973), asume que las preferencias de la decisión pueden expresarse como la medida de una distancia métrica entre dos alternativas en el espacio de dos objetivos: uno ideal que es el valor máximo asequible por cada uno de los recursos de la comunidad, y un segundo que es el resultado de la actuación de la alternativa energética en los recursos de la comunidad. El método ha sido extensamente aplicado en la energía, problemas de medioambiente y problemas de recursos de agua (Huang et al., 1995).

1.4. Métodos computacionales utilizados para evaluar alternativas de planificación energética.

Los tipos de Generación Distribuida que se consideran son no convencionales, a base fuentes renovables como la energía eólica, la energía fotovoltaica y la energía hidráulica, el horizonte de planificación que se considera es a largo plazo, lo que conlleva tener en cuenta los cambios en los parámetros eléctricos que puedan existir en este horizonte (Ponce C., 2010).

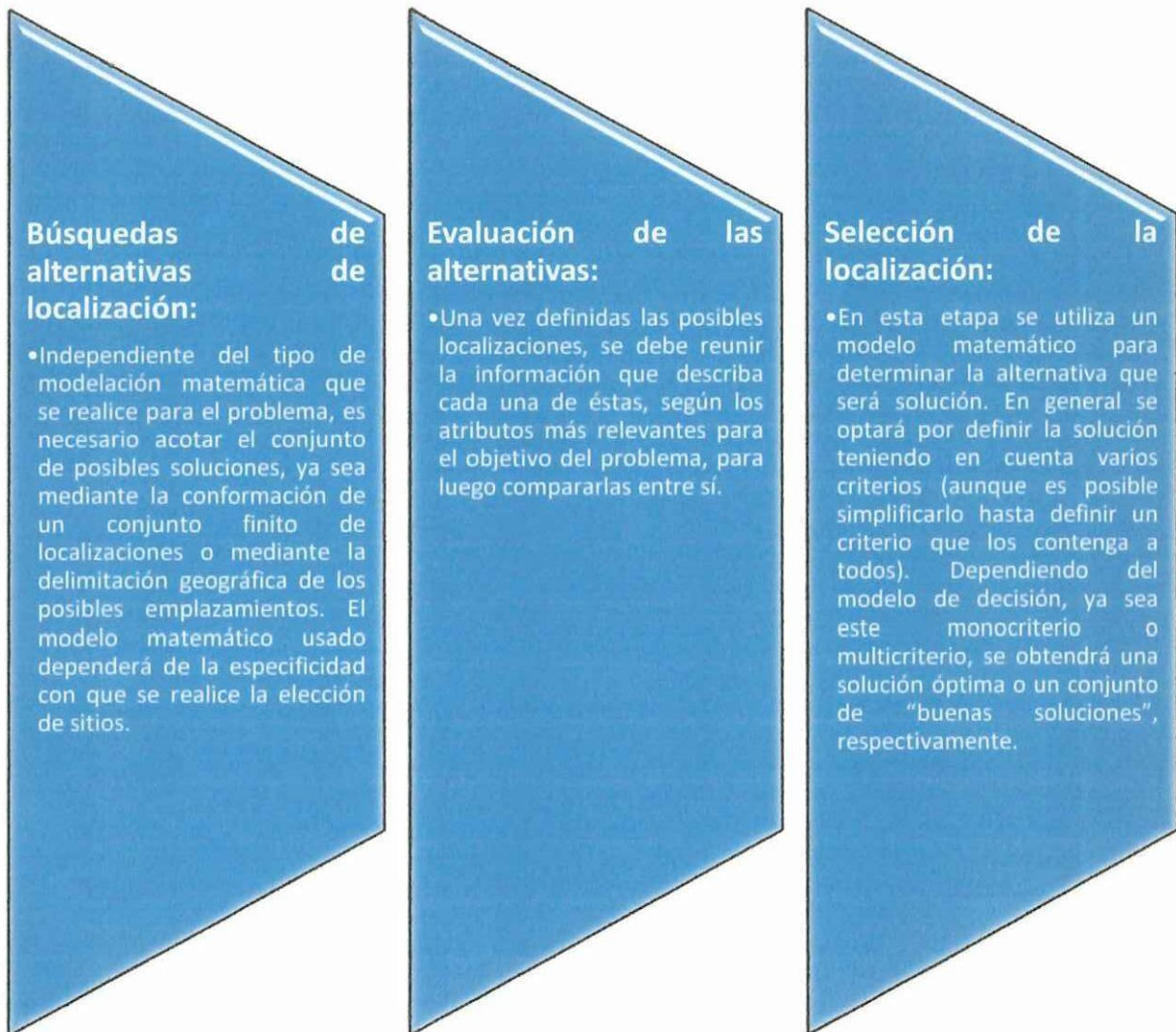
1.5. Método para localización óptima de Centrales de Energías Renovables

El crecimiento de la demanda eléctrica en el país, en el ámbito público y privado, sumado a los esfuerzos del gobierno y la comunidad internacional por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, conforman las dos principales razones que convocan el desarrollo de nuevas fuentes de generación eléctrica en base a Energías Renovables No Convencionales (ERNC) (Fernández R., 2011).

En el desarrollo de una metodología para la localización óptima de centrales de energía alternativa conectadas a la red, dada la alta complejidad del problema abordado, se realiza previamente una revisión de los aspectos más importantes de cada tecnología en estudio, además de la búsqueda y selección de la herramienta matemática de

decisión más adecuada para este fin, siendo ésta el método multicriterio **Promethee-GAIA** (Fernández R., 2011).

La localización consiste en determinar la ubicación de una o múltiples plantas o centrales de recursos, ya sea en un espacio coordinado vinculado a una locación geográfica o dentro de una red con aristas y nodos (que puede representar una red eléctrica, carreteras y ciudades, etc). La determinación de la ubicación de una planta depende de uno o más factores se representan en funciones objetivo que se desea maximizar o minimizar (Fernández R., 2011).



Existen diversos tipos de problemas de optimización dependiendo de las características que éstos tengan. En forma general, éstos se pueden clasificar en:

Naturaleza del problema	<ul style="list-style-type: none">• Determinístico• Estocástico
Cantidad de Criterios	<ul style="list-style-type: none">• Monocriterio• Multicriterio
Naturaleza de las funciones	<ul style="list-style-type: none">• Lineal• No lineal
Dominio de las Variables	<ul style="list-style-type: none">• Entero• Continuo• Mixto

En la literatura se pueden encontrar diversos métodos de optimización para cada tipo de problema, de acuerdo a la clasificación mostrada. Dentro de los métodos monocriterios más conocidos y utilizados se encuentran Simplex (problemas lineales) y Branch and Bound (programación entera), los que se caracterizan por entregar una única solución óptima eliminando cualquier ambigüedad en la resolución del problema, sin embargo, poseen la desventaja de la inflexibilidad de su planteamiento matemático que no admite la incorporación de elementos cualitativos en la problemática (Fernández R., 2011).

Dentro de los métodos multicriterios de resolución se distinguen aquéllos que resuelven el problema de ubicación de varias centrales por medio de algoritmos evolutivos, los que requieren de exhaustiva información (para cada coordenada de la locación, o nodo de la red) y poseen la ventaja de abarcar las 3 etapas del proceso de localización en la modelación matemática, por lo que constituyen un planteamiento libre de ambigüedades.

Por otro lado, los métodos que abordan el problema de localizar sólo una planta, como Promethee, ELECTRE y AHP, se caracterizan por realizar comparaciones entre elementos de un conjunto de potenciales soluciones, de acuerdo a criterios previamente seleccionados, requiriendo sólo la información por cada criterio y cada alternativa. Sin embargo, éstos abarcan solamente la tercera etapa de localización, por tanto la búsqueda y evaluación de alternativas deben realizarse por separado a través de un proceso extra-matemático, además de requerir información paramétrica acerca de la preferencia de alternativas y criterios.

Por la ya mencionada ambigüedad de este tipo de métodos debida a la falta de información, nace el concepto de proceso de decisión ya que, a diferencia de los métodos monocriterio, éstos son incapaces de determinar un óptimo global. En otras palabras, mientras que en los métodos monocriterio la propia resolución matemática entrega la alternativa óptima, en los métodos multicriterios es el "Tomador de decisiones" quien debe escogerla, a través de la información paramétrica ya mencionada (Fernández R., 2011).

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1. Caracterización del lugar de investigación.

La investigación fue realizada en la comunidad de "Victorino" del municipio de Guisa, provincia de Granma, Cuba.

El área protegida "Parque Nacional La Bayamesa" posee una superficie de 28000 ha, ubicada en la Sierra Maestra, zona montañosa de la parte sur oriental de Cuba, con alturas de 1900 m sobre el nivel medio del mar.

Esta área protegida tiene gran importancia por constituir una zona con alto grado de conservación y endemismo, así como una gran diversidad de especies de la flora y la fauna. Está enmarcada en el Consejo Popular "Victorino" el cual se localiza en el extremo sureste del municipio de Guisa de la provincia de Granma. Este limita al norte con los Consejos Populares de "Bombón" y "Palma del Perro", al sur con el Consejo Popular "Los Números" y con la Provincia de Santiago de Cuba, al este con la Provincia de Santiago de Cuba. Al oeste con el Consejo Popular "Los Horneros".

El Consejo Popular de "Victorino" presenta una población de 3025 habitantes, donde el 54 % son hombres y el 46 % son mujeres. Lo comprenden 14 comunidades, de ellas cuatro son mayores de 200 habitantes y diez menores de 200 habitantes, residiendo en 988 viviendas. Se encuentra localizado en la precordillera de la Sierra Maestra, presenta un relieve abrupto, montañoso con pendientes que oscilan entre 5 y el 15 %.

Una de las comunidades más pequeñas y pese a su nombre es la de "El Gigante".

Dentro del área protegida de Flora y Fauna de "El Gigante" las fincas agroecológicas garantizan gran parte de los insumos en alimentos y logística para propiciar las demás actividades de conservación que se realizan en el área así como para el reforzamiento de estas comunidades; En estas fincas se realizan actividades como: producción de viandas, hortalizas y granos, producción de recursos de artesanía típica, desarrollo de la lombricultura y compost para la fertilización de los suelos, producciones pecuarias menores, atenciones silviculturales y obtención de productos no madereros entre otros.

Todas estas actividades siempre tendrán como premisa fundamental el mantenimiento de los ecosistemas existentes lo más natural posible.

Durante muchos años las familias campesinas han podido subsistir valiéndose de recursos naturales de las propias áreas montañosas donde han vivido, pero con el desarrollo de las ciudades han ido disminuyendo los habitantes de esta zona y por consiguiente han quedado sin cubierta boscosa las fincas abandonadas, y los pobladores que han quedado no cuentan con la infraestructura necesaria para seguir aprovechando los recursos sin dañar el ecosistema circundante. No se cuenta con una cultura conservacionista y existe el peligro de que desaparezcan especies de la flora y la fauna.

En cuanto a la situación de los servicios sociales mencionamos como uno de los aspectos importantes que limita la mejora de la calidad de vida de los habitantes del Consejo Popular "Victorino" es el abasto y la calidad del agua.



Figura 2.1. Datos generales de la comunidad "Victorino".

Se instalaron cocinas eficientes a 25 familias de campesinos y 2 instituciones, lo que redujo en un 50 % el consumo de m³ de leña.

2.2. Proceso de planificación energética en comunidades rurales

2.2.1. Definición del problema.

Descripción general: se reconoce la existencia del problema, su magnitud, síntomas y su significación o grado de importancia. Se estudian las entradas, procesos y salidas del sistema. Se obtienen y estiman los datos necesarios. Se realiza un análisis exhaustivo de las características geográficas, climáticas, demográficas, sociales y energéticas a nivel de estado, zona y asentamiento; recolectando toda la información posible mediante métodos analíticos, heurísticos y experimentales. Se identifican además todos los factores involucrados, tanto los internos (aspectos propios de la comunidad), como los externos (aspectos a nivel de estado, región o nación).

2.2.2. Determinación de las características de consumo y requerimientos energéticos de la comunidad.

La energía se utiliza en una amplia gama de actividades dentro de una comunidad. Para fines prácticos, sin embargo, los requerimientos energéticos se pueden dividir en cuatro servicios básicos: calor, potencia mecánica, iluminación y comunicaciones.



En zonas rurales, la energía se emplea para cubrir las necesidades del ambiente doméstico, de la producción agrícola, y para establecer y operar pequeñas industrias. Tomando en cuenta la calidad de la energía requerida, las demandas energéticas de una comunidad rural se pueden clasificar en:

- **Energía térmica de bajo potencial (menos de 100 °C):** calentamiento de agua, secado de productos, calefacción.
- **Energía térmica de medio potencial (entre 100 y 300 °C):** cocción de alimentos.
- **Electricidad y potencia mecánica o energía de alto potencial:** iluminación, electrodomésticos, bombeo de agua, comunicaciones, accionamientos en pequeñas industrias.

2.2.3. Elementos para determinar los índices de consumo para cada uso final de la energía.

Para este caso se valoran los diferentes recursos energéticos como son: las fuentes hidráulicas, eólicas, la biomasa, etc. y luego construir la matriz de alternativas según opciones como se aprecia en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Opciones de suministro de energía a comunidades rurales con fuentes renovables de energía.

Uso final	Consumo promedio (energía útil) [KWh/persona] día		Fuentes/Tecnologías	Observaciones
Cocción de alimentos	0.5 - 1	[2]	Residuos orgánicos / biodigestores / cocinas de gas	Económico. Se considera el más apropiado.
	1 - 1.2	[3]		
	0.6	[4]	Leña, carbón vegetal, residuos agrícolas / cocinas de biomasa	El uso de forma no sostenible ocasiona daños ambientales severos, deforestación. Inconveniencias a la salud.
	0.72	[5]		
	0.95	[6]	Solar / cocinas solares	Económico. Tiene generalmente baja aceptación social.
Bombeo de agua			Electricidad generada localmente / aerogeneradores, motores de combustión interna con biogás, turbinas hidráulicas o sistemas combinados / cocinas eléctricas	No económico, salvo en casos de excesos de generación en microhidroeléctricas aisladas de la red.
	0.01	[3]	Energía eólica / bombas mecánicas	Económico
	0.113	[4]		
	0.05	[5]	Energía eólica / aerogeneradores / electrobombas	Conveniente en determinados casos. El aerogenerador puede estar lejos de la bomba.
	0.018	[6]	Energía hidráulica / ariete hidráulico	Económico. Requiere poca carga.
Iluminación			Energía solar / celdas fotovoltaicas / electrobombas	Costoso. Factible en zonas aisladas con bajo potencial eólico.
			Energía solar / motores térmicos / bombas	Costoso. Poco eficiente.
	0.1	[3]		
	0.031	[4]	Energía eólica / aerogeneradores	Apropiado en zonas con buen régimen de vientos.
	0.138	[5]	Energía hidráulica / turbinas hidráulicas	Condicionado al potencial hidráulico y sus características. Costoso para viviendas aisladas.
Calentamiento de agua	0.027 - 0.08	[6]	Energía solar / sistemas disco-Stirling	Tecnología actual que comienza su etapa comercial.
			Energía solar / celdas fotovoltaicas	Costoso. Apropiado para viviendas aisladas en zonas sin otras opciones de suministro eléctrico.
			Biogás / lámparas de biogás	Muy poco eficiente. Baja aceptación social.
	1.16	[3]	Energía Solar / colectores solares	Muy económica.
Refrigeración	0.99	[6]		
	0.27	[6]	Electricidad generada localmente / aerogeneradores, motores de combustión interna con biogás, celdas fotovoltaicas, turbinas hidráulicas o sistemas combinados / refrigeradores de compresión.	Conveniente
	0.6	[7]	Energía Solar / refrigeradores solares (absorción o adsorción)	Costosa en la actualidad.

2.3. Clasificación del problema.

2.3.1. Establecimiento de los objetivos de la selección.

Los objetivos del proceso de planificación energética constituyen sin duda el núcleo de la toma de decisiones, pues establecen las metas del proceso, y por tanto, la estrategia de solución del problema. En los análisis tradicionales generalmente se tiene en cuenta un solo objetivo (maximizar la ganancia o minimizar los costos). Por el contrario, en análisis más integradores y amplios pueden establecerse diversas metas u objetivos, que incluso pueden entrar en contradicción entre sí, lo que hace necesario la utilización de otros métodos en la toma de decisiones.

Los objetivos pueden clasificarse de varias formas, por ejemplo, atendiendo a la esfera con que se relacionan: económicos, ambientales o sociales; o a su carácter: cuantitativos o cualitativos.

En los casos de procesos de planificación energética en comunidades rurales ambientalmente sostenibles, donde además del factor económico es necesario considerar otros elementos, es recomendable establecer múltiples objetivos, de forma tal de lograr un análisis integral del problema en cuestión. En la figura 2.2 se proponen cuatro categorías o esferas a abarcar, para que el análisis sea consecuente con los principios del desarrollo sostenible.

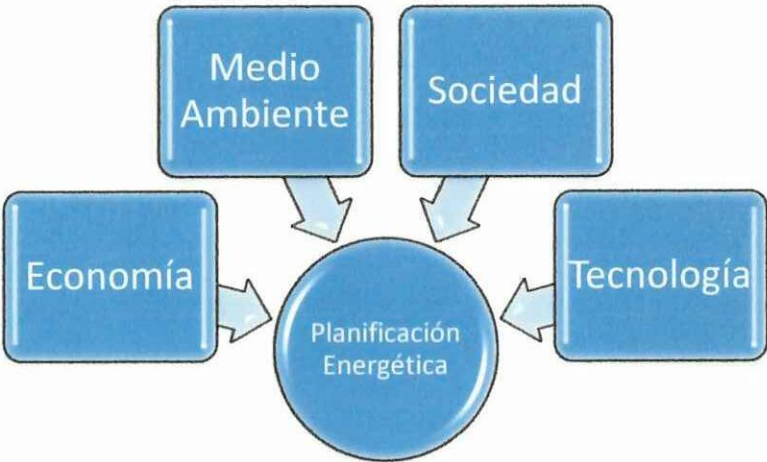


Figura 2.2. Esferas relacionadas con la planificación energética integrada.

2.3.2. Clasificación de factores.

Se clasifican los factores que afectan la toma de decisiones en controlables e incontrolables. Los factores controlables se incorporarán sin dificultad al proceso de selección, y los incontrolables serán analizados para ver su influencia y el grado de incertidumbre que introducen, determinándose si invalidan o no el proceso de toma de decisiones.

2.3.3. Establecimiento del carácter de la selección.

El carácter de la selección se establecerá en función de los objetivos, y de forma general se puede clasificar en: Unicriterio (cuando solo se desea lograr una meta con la selección), o Multicriterio (cuando se desean lograr varias metas con la selección).

2.3.4. Selección del método para solucionar el problema.

El método se escogerá en función del carácter de la selección establecido para la solución del problema. Dentro de los métodos de la teoría de toma de decisión, se pueden destacar algunos relacionados directamente con la ubicación de recursos y procesos de planificación energética:

- Programación matemática.
- Programación multiobjetivo.
- Programación dinámica.
- Decisión en condiciones de certidumbre, incertidumbre o riesgo.
- Decisión Multicriterio Discreta.

Descripción general: consiste en transformar el problema a una forma matemática, teniendo en cuenta todos los factores involucrados en el proceso. Se establecen las variables dependientes e independientes y las ecuaciones matemáticas que reflejan sus relaciones. Se analizan posibles simplificaciones a tener en cuenta, llegando a un compromiso con las características del problema real.

Variables resultantes: reflejan el grado de efectividad del sistema, son variables dependientes.

Variables de decisión: describen elementos del problema que sirven de base a la decisión; son variables controlables e independientes.

Variables incontrolables: reflejan factores que no pueden ser controlados por el decisor, como puede ser el caso de la disponibilidad de recursos, requerimientos del problema, entre otros.

Las relaciones entre todas las variables se pueden establecer mediante dos bloques generales del modelo: función objetivo (pueden ser varias) y restricciones estructurales. La función objetivo refleja las relaciones de las variables de decisión, y la solución del modelo responde a una optimización de su valor (máximo o mínimo). Las restricciones estructurales reflejan las relaciones entre las variables de decisión, y las incontrolables representan las disponibilidades, requerimientos y asignaciones del problema.

En el caso de que el método no esté relacionado directamente con la modelación matemática, pudieran establecerse algunas expresiones o funciones objetivos generalizadores, como son algunos métodos de la Decisión Multicriterio Discreta, o árboles y tablas de decisión de la teoría de toma de decisiones.

2.4. Solución del modelo matemático.

La esencia de este paso consiste en encontrar los valores de las variables de decisión, mediante la solución del modelo matemático, o en su ausencia, se procesa el algoritmo establecido con las herramientas específicas asociadas al método seleccionado.

La solución de un modelo matemático depende mucho del nivel de respuesta deseado: optimización o suboptimización. La optimización consiste en seleccionar la mejor, o las mejores variantes dentro de todas las posibilidades. La suboptimización es la optimización de una parte del sistema.

La experimentación y evaluación de un modelo resulta un proceso iterativo con los siguientes pasos generales:

- Generación de alternativas.
- Predicción de los resultados de cada alternativa.

- Relación de los resultados con las metas.
- Comparación de alternativas.
- Selección de alternativas.

Las soluciones de un modelo pueden ser numéricas o analíticas, las primeras responden generalmente a los modelos normativos, y las segundas a los denominados modelos descriptivos, los cuales se utilizan para predecir el comportamiento de los sistemas a través del análisis de sus relaciones.

2.5. Validación, análisis de sensibilidad, análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones.

La validación y el análisis de sensibilidad permiten valorar el grado de objetividad, precisión e incertidumbre del modelo matemático.

La validación de un modelo matemático consiste en comprobar su validez interna y externa, la primera está relacionada con la programación del modelo y la segunda con su nivel de representación de la realidad. En la validación se ejecuta o soluciona el modelo para varios conjuntos de datos de entrada, y se compara la solución con el comportamiento histórico del sistema.

El análisis de sensibilidad permite determinar el efecto en la solución, debido a la variación de parámetros de entrada, como pueden ser los precios del combustible o estructura de los mercados. Por supuesto, una solución de menor nivel de sensibilidad resulta mucho más atractiva y de más fácil implementación.

Los análisis de resultados permiten comprender y valorar las implicaciones de la solución alcanzada, arribando a conclusiones y recomendaciones acertadas.

2.6. Implementación.

Este paso consiste en la aplicación práctica del modelo y los resultados obtenidos. Si después de realizados todos los análisis tratados en los pasos anteriores, se considera que la solución es implementable, se procede a su aplicación extensiva en la práctica. Si por el contrario, se considera que no es implementable se deben comparar los costos

de cambios del modelo, con los posibles beneficios derivados de una correcta modelación del problema. En este sentido, si dichos costos son mayores se detiene la ejecución del proceso; si los costos de cambio son menores se procede a realizar una revisión exhaustiva del proceso, comenzando por el análisis del problema real.

- **Métodos de selección de alternativas de suministro de energía.**

Los métodos de selección de alternativas energéticas constituyen herramientas importantes para la toma de decisiones energéticas, y de forma general pudieran clasificarse en dos grupos: métodos unicriterio y métodos multicriterio.

- **Métodos unicriterio.**

En la actualidad, uno de los enfoques más utilizados consiste en realizar un análisis económico comparativo mediante el cálculo del costo unitario de la energía (\$/kWh), basado en la determinación de los costos internos del ciclo de vida, cuyos componentes se reflejan en la figura 2.3.

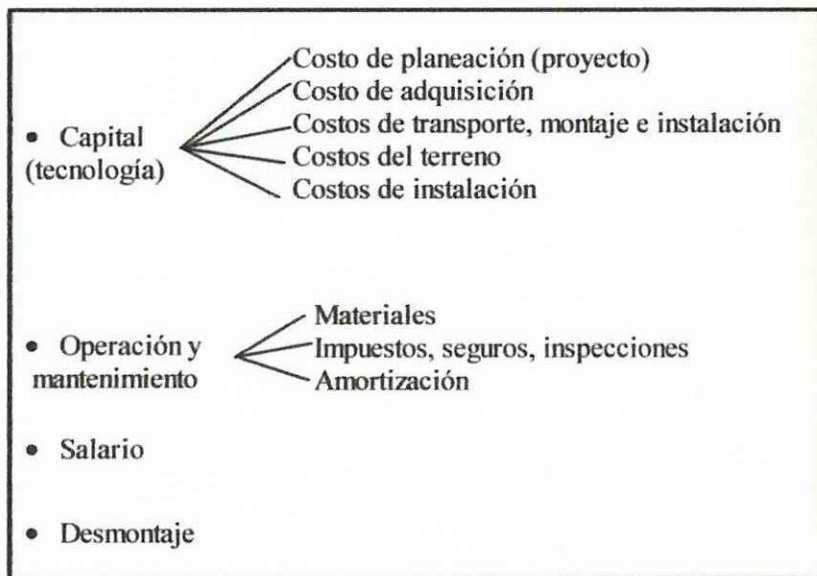


Figura 2.3. Costos directos o internos de la producción de energía.

La siguiente expresión recoge estos componentes, y tomando en consideración el valor del dinero en el tiempo, los refiere como valor presente de los costos o costos del ciclo de vida ("Life Cycle Cost"):

$$P = K_o + \sum_{j=1}^L E_j \left(\frac{1+R}{1+D} \right)^j + \frac{M_o}{CRF} + \sum_{j=1}^L M_j \left(\frac{1+I}{1+D} \right)^j + K_o \cdot D \sum_{j=1}^L \left(1 - \frac{j-1}{L} \right) + T \left(\frac{1+I}{1+D} \right)^L$$

Dónde:

P: Valor Presente, \$.

Ko: Capital Inicial, \$.

L: Período de evaluación o vida útil del sistema, años.

E_j: Costos de energía en el año j, \$.

R: Tasa de inflación de la energía, fracción.

D: Tasa de descuento, fracción.

I: Tasa de inflación general, fracción.

Mo: Costos anuales de operación y mantenimiento, \$.

CRF: Factor de recuperación del capital.

$$CRF = \frac{D'}{1 - (1+D')^{-L}}$$

D': Tasa de descuento ajustada a la inflación.

$$D' = \left(\frac{1+D}{1+I} \right) - 1$$

M_j: Costos de los reemplazos en el año j, \$.

T: Costo de retiro del sistema, \$.

El costo unitario promedio de la energía en los años de vida útil del sistema, se calcularía entonces como:

$$C = \frac{P}{8760 \cdot F_c \cdot V_L \cdot P_{inst}}, \text{ \$/kWh}$$

Dónde:

F_c: Factor de carga del sistema, fracción.

P_{inst}: Potencia instalada. kW.

V_L : Valor presente del período de evaluación.

$$V_L = L, \text{ si } l=D$$

$$V_L = \frac{1+l}{D-l} \left[1 - \left(\frac{1+l}{1+D} \right)^L \right], \text{ si } l \neq D$$

En el caso de que los costos anuales o flujos de caja se mantengan constantes en todo el ciclo de vida del equipamiento, se puede utilizar una expresión mucho más sencilla aunque de menor exactitud:

$$C_i = \left[\frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + m \right] \cdot \frac{P}{8760 \cdot F_c} + F \cdot D$$

Dónde:

P: Costo capital, \$/kW.

M: Fracción del costo capital que se necesita anualmente para operación y mantenimiento.

R: Tasa de interés, fracción.

N: Vida útil del equipamiento, años.

F: Costo del combustible (\$/l ó \$/kg).

D: Consumo específico (l/kWh ó kg/kWh).

F_c : Factor de carga, fracción.

$$F_c = \frac{E_{gen}}{E_{max}}$$

E_{gen} - Energía generada anualmente por el sistema, kWh.

E_{max} - Energía anual máxima posible a generar, kWh.

$$E_{max} = 8760 \cdot P_{inst}, \text{ kWh}$$

P_{inst} - Potencia Instalada, kW.

Lógicamente, la mejor variante de las analizadas será la que tenga un menor costo promedio unitario de la energía. Este tipo de análisis se utiliza frecuentemente para la comparación de sistemas similares que ofrecen un mismo servicio energético, como

puede ser el caso de la selección de alternativas para el suministro eléctrico a una vivienda rural aislada, aunque solo toma en consideración los costos directos de la energía como criterio de selección.

Una vía más completa de realizar la selección de variantes de suministro de energía, es considerar cada alternativa como un proyecto de inversión y realizar un análisis costo - beneficio. Por supuesto, existe una diferencia marcada si la evaluación se realiza desde el punto de vista privado o público.

En el primer caso, el análisis es mucho más sencillo, pues se tienen en cuenta solo los intereses económicos del propietario; sin embargo en el segundo hay que evaluar las pérdidas y ganancias para toda la colectividad. En la literatura se reportan diferentes técnicas para la evaluación de proyectos de inversión económica (Valor Presente Neto, Tasa Interna de Retorno, Índice de Rentabilidad, etc.), las cuales deben ajustarse en el caso del marco de análisis público. Por ejemplo, la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), propone corregir los precios y relaciones económicas del marco privado por "precios sombra" o "precios de cuenta", los cuales reflejan aspectos tales como: prácticas monopolistas, subsidios, controles, desempleo, etc., por lo que los insumos y productos del proyecto tendrían su valor económico real, "precios de cuenta" o "precios sociales".

En algunos casos el proceso de selección no es tan sencillo, en particular cuando se habla de sistemas pequeños, como pudiera ser el caso de una comunidad rural. En este tipo de sistema pudieran presentarse fenómenos tales como: interdependencias entre las posibles variantes de suministro (sistemas híbridos), disponibilidad parcial o nula de determinados recursos, requerimientos energéticos específicos, limitado poder económico, etc. Todo esto hace inevitable realizar un proceso de optimización matemática que permita obtener las mejores variantes.

- **Métodos multicriterio.**

Estos métodos surgen por la necesidad de realizar análisis más integradores, donde se incluyan nuevos factores que no se consideran, o se tocan muy escuetamente, en los análisis unicriteriales, como son factores ambientales y sociales. Específicamente se referirán tres vías de realizar este tipo de análisis para la selección de alternativas de suministro de energía.

- **Incorporación de los costos externos al proceso de selección.**

Estos costos reflejan un conjunto de externalidades del proceso de producción de energía, que no se incluyen en los costos internos o directos, como los costos de los impactos negativos de las tecnologías sobre el medio ambiente. En este sentido, algunos autores han realizado cálculos y estimados de dichos costos, en función del tipo de fuente y tecnología energética. Si en los análisis tradicionales, se le suma a los costos internos los externos y se habla en términos de costos totales, se estarían incorporando, de cierta forma, otros criterios en la selección de alternativas energéticas, específicamente criterios sociales y ambientales.

En la literatura especializada se brindan diversas definiciones y categorías de costos externos. Algunos de los posibles efectos que deben ser considerados en estos costos son:

- Impactos sobre la salud humana.
- Daños al medio ambiente: a la flora, fauna y cambios climáticos globales.
- Costos a largo plazo debido al agotamiento de las reservas energéticas (aumento de los precios).
- Impactos macroeconómicos, como es el caso del desempleo.
- Costos debido a la probabilidad de guerras y sus consecuencias.

Aunque pueden enumerarse muchos de los posibles efectos, uno de los más estudiados en la actualidad son los cambios climáticos globales provocados por la emisión de los llamados "gases invernadero".

El contenido de CO₂ en la atmósfera es el principal factor influyente en el efecto invernadero, que se traduce en un aumento de la temperatura ambiental, lo cual pudiera ocasionar cambios apreciables en el planeta.

En la actualidad existen modelos matemáticos que permiten predecir estos cambios (Modelos de Circulación Global). En algunos casos se plantea que dentro de 50 años el contenido de CO₂ en la atmósfera aumentará en un 30 %, lo que provocará un incremento de la temperatura entre 1,66 y 4,4 °C. Otros investigadores consideran que a los ritmos actuales de emisiones, si no se toman las medidas necesarias y prevalece el criterio económico en la selección de las fuentes de energía, el contenido de CO₂ pudiera duplicarse para el año 2030, lo que provocaría un incremento de la temperatura media atmosférica en 2,5 °C . Este fenómeno puede provocar:

- Aumento del nivel del mar (aproximadamente 18 cm).
- Alteración de los regímenes de precipitación.
- Aumento de tormentas e inundaciones.
- Corrimiento de las zonas climáticas hacia los polos (200 a 400 km.).
- Daños irreversibles a la biodiversidad del planeta al producirse la pérdida de ecosistemas.

Es evidente que si en los esquemas actuales no se incluyen los costos externos de la producción de energía, simplemente se están transfiriendo estos costos a las generaciones futuras, que indiscutiblemente estarán en desventaja al vivir en un mundo mucho más contaminado y con el peligro latente de la irreversibilidad de los cambios producidos.

Diversos autores han apuntado la discrepancia entre los costos de la energía en el mercado, reflejo de los costos internos y los costos totales de la energía para la sociedad. Esta discrepancia fue señalada por Pigou en 1912, pero no es hasta finales de la década de los 70, donde los impactos ambientales se hicieron cada vez más evidentes, en que comienza a tomar fuerza la necesidad de incorporación de estos costos.

Se han desarrollado diversas vías y métodos para determinar los costos externos, sin embargo, no existe consenso en la aplicación de uno en particular. No obstante, se pueden señalar dos tendencias o enfoques generales: la estimación de los daños directos y la determinación de los costos de abatimiento o control. El primer enfoque se basa en traducir a términos monetarios los daños causados (impacto ambiental) por un determinado elemento o tecnología; el segundo se basa en determinar los costos de control o de abatimiento del impacto causado.

El Laboratorio Nacional de Energía Renovable de los Estados Unidos (NREL) ha realizado un estudio donde se relacionan siete enfoques o vías de estimación de los costos externos, para incluirlos (internalizarlos) dentro de la red del proceso de planeación energética ("Resource Energy Planning Framework"). Estos métodos han sido adoptados indistintamente por varios estados de la Unión Americana, y se relacionan como:

- **Tratamiento cualitativo:** Consiste en realizar un análisis cualitativo de los impactos de las opciones energéticas, permitiendo considerar los impactos sobre una amplia variedad de factores (salud, ambiente, seguridad, empleo, etc.).
- **Asignación de pesos y ordenación:** Incorpora tanto la evaluación cualitativa como la cuantitativa. Su esencia radica en realizar una ponderación lineal de los impactos, los cuales se pueden evaluar en escalas cualitativas que se definan o con valores cuantitativos.
- **Costos de control:** Asocia los costos externos a los costos que se incurren en el control de la contaminación ambiental.
- **Función de daños:** Este enfoque se basa en lo que la sociedad o los individuos están dispuestos a pagar por evitar los daños resultantes, o aceptar por la compensación de los mismos, lo cual está muy relacionado con el valor de existencia de los biosistemas afectados.

- **Porcentajes adicionales:** Consiste en adicionar un determinado porcentaje a los costos evitados de una determinada opción energética.
- **Monetización por emisión:** Este enfoque es una variante del anterior, en el cual los costos externos son expresados en términos monetarios por tonelada de emisiones (\$/ton), o en otros casos por unidad de energía (\$/kW*h).
- **Análisis Multi-Atributo:** Consiste en la selección de una determinada opción tecnológica atendiendo a la maximización de la utilidad esperada, realizando un análisis de las relaciones entre los costos y beneficios de cada opción. La selección de determinada alternativa se basa en medir la "utilidad" que reporte a la sociedad, más que asignarle un valor en dinero.

En la actualidad muchos investigadores trabajan en la aplicación de estos y otros métodos para la estimación de los costos externos de la producción de energía. Por ejemplo, en un informe para la Comisión de la Comunidad Europea en 1992 [8], se realiza un cálculo de los posibles costos que traería una duplicación o triplicación del contenido de CO₂ en la atmósfera para el año 2030. Los resultados de este cálculo se ofrecen en la tabla 4.1. En el referido informe se estima que cada tonelada de CO₂ emitida al medio tiene un costo externo de 500 USD.

Tabla 2.4. Estimados de los costos de los efectos de la duplicación o triplicación del CO₂ en la atmósfera.

Impacto	Costo (trillones de USD)	
	2 x CO ₂	3 x CO ₂
Aumento de temperatura	1.84	3.68
Aumento del nivel del mar	2.94	9.96
Alteración de los regímenes de evaporación-precipitación	901.05	1802
Tormentas e inundaciones	1.5	3
Costo total	907	1819

En otros casos, se ha calculado el costo unitario externo (\$/kWh), en función del tipo de tecnología, siendo evidentemente superior para las tecnologías basadas en combustibles fósiles que para las basadas en fuentes renovables de energía.

En este sentido, los costos totales de la producción de energía eléctrica a partir de las fuentes convencionales, pudieran igualarse a la fotovoltaica, o incluso superar en 1.3 veces la producida en plantas eólicas. En la tabla 3.2 se brinda un estimado de los costos externos por tecnología.

Tabla 2.5. Estimados de los costos externos por tecnología.

Estimados de Costos Externos (US cents / kWh)					
Categoría	Carbón	Petróleo	C.C. Turbinas Gas	Nuclear	Eólica
Salud humana / accidentes	0.7 - 4.00	0.7 - 4.80	0.10 - 0.20	0.03	0.04
Cultivos / flora	0.07 - 1.5	1.6	0.08	pequeña	0.08
Edificaciones	0.15 - 5.00	0.2 - 5.00	0.05 - 1.8	pequeña	0.10 - 0.33
Desastres	-	-	-	0.11 - 2.50	-
Daños globales	0.05 - 24.0	0.5 - 1.3	0.3 - 0.7	0.02	0.018
Totales	1.70 - 40.0	3.7 - 18.7	0.83 - 1.86	0.36 - 50	0.4 - 1.00

Hablando en términos de desarrollo energético sostenible, los costos totales de la producción de energía debieran determinarse entonces como:

$$C_t = C_i + C_e$$

Dónde:

C_t : Costos totales (\$/kW*h)

C_i : Costos internos. (\$/kW*h)

C_e : Costos externos (kW*h)



2.7. Decisión Multicriterio Discreta (DMD).

Este tipo de análisis es muy utilizado para la evaluación de proyectos de investigación, aunque por su sencillez y operatividad puede aplicarse a la selección de alternativas energéticas.

La esencia del método consiste en evaluar las alternativas para diferentes criterios, de forma cualitativa o cuantitativa y posteriormente procesar dichas evaluaciones con el objetivo de seleccionar la "mejor" variante, o establecer un orden de prioridad.

Es necesario señalar que la DMD no es un proceso de optimización, pues los resultados pueden interpretarse de diferentes formas y dependen de algunos factores subjetivos, como es el caso de las evaluaciones realizadas por los expertos. Una cuestión práctica a enfrentar, es que las escalas de medida de las evaluaciones pueden ser diferentes (numérica, jerárquica cualitativa, probabilística, etc.). Lo anterior hace necesario realizar un proceso de normalización, que se puede efectuar de diferentes formas; por ejemplo, se puede dividir por el máximo o por la suma de las evaluaciones realizadas para cada criterio. Seguidamente se proponen dos expresiones generales que permiten una normalización en el intervalo [0,1].

$$\text{Valor normalizado} = \frac{|X_{i,j} - X_{max}|}{X_{max} - X_{min}} \quad (\text{Criterios a minimizar})$$

$$\text{Valor normalizado} = \frac{X_{i,j} - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (\text{Criterios a maximizar})$$

Dónde:

$X_{i,j}$: Evaluación de la alternativa i con el criterio j .

X_{max} : Máxima evaluación realizada de las alternativas para el criterio que se analiza.

X_{min} : Mínima evaluación realizada de las alternativas para el criterio que se analiza.

La determinación de los factores de peso puede realizarse por diferentes vías, se puede efectuar por asignación directa o realizar un proceso de comparaciones binarias entre criterios, obteniéndose un vector resultante de los pesos. Este aspecto se abordará de forma detallada más adelante.

En la actualidad existen muchos métodos de ordenación DMD, entre los cuales resaltan cuatro por su importancia:

- Utilidad Multiatributo.
- Ponderación Lineal.
- Método Jerárquico de Saaty.
- Relaciones de Superación.

La Ponderación Lineal es uno de los métodos más sencillos y de fácil aplicación, y que ha sido utilizado por otros autores para la selección de alternativas energéticas; seguidamente se tratan con más detalle las características de este método.

2.7.1. Ponderación Lineal.

Este método consiste en realizar una ponderación lineal de los criterios, es decir multiplicar cada evaluación ($r_{i,j}$) por el factor de peso del criterio j (w_j) y dividir por la suma de los factores de peso.

El procesamiento de cada alternativa i pudiera describirse por la siguiente expresión:

$$F_i = \frac{\sum_{j=1}^k w_j \cdot r_{i,j}}{\sum_{j=1}^n w_j}$$

Otros autores han propuesto una función, normalizada entre $[0,1]$, para la selección de variantes de tecnologías renovables para la generación bruta de electricidad. La función, que resulta de la aplicación de este método, incluye diversos criterios tales como: costos internos, eficiencia, aceptación social, estado de desarrollo de la tecnología, participación en el mercado y el impacto ambiental.

La Ponderación Lineal tiene como desventajas que los resultados finales dependen mucho de las evaluaciones realizadas, normalizaciones, escalas y selección de los pesos; por lo que se recomienda el trabajo en grupo de expertos, con el objetivo de alcanzar conclusiones válidas.

2.7.2. Determinación de los factores de peso

Existen muchas formas o vías para determinar las preferencias del decisor o grupo de expertos, en relación a los criterios que se toman en cuenta para la toma de decisiones. En el caso de la Ponderación Lineal dichas preferencias están representadas por los factores de peso de los criterios, los cuales reflejan la importancia relativa de cada criterio para el decisor. Entre estos procedimientos pudiera mencionarse el método Delphi, que permite procesar las opiniones de los expertos en relación a los pesos, obtener una ordenación de los criterios y lograr una estimación promedio de los pesos.

Otro espectro amplio de procedimientos de estimación de pesos, incluye a aquellos que parten de efectuar comparaciones binarias entre criterios. En este conjunto se distingue el método de Saaty ("Analytic Hierarchy Process"), el cual consiste en conformar una matriz cuadrada $n \times n$ ($A = [a_{ij}]$), donde n es el número de criterios y a_{ij} las comparaciones entre los criterios, realizadas por el decisor o grupo de expertos, normalizadas en una escala de 1 a 9 (tabla 4.3). Las evaluaciones (a_{ij}) representan la importancia relativa del criterio i con respecto a j , cumpliéndose entonces que $a_{ij} = 1/a_{ji}$.

La matriz obtenida tiene la característica que su autovector dominante, es el vector de los pesos $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ y su autovalor dominante asociado es precisamente n , aunque puede existir alguna pequeña desviación debido a las inconsistencias en las evaluaciones. Saaty propone además una metodología para evaluar dichas inconsistencias.

Tabla 2.4. Escala de comparaciones binarias de Saaty.

Grado	Definición	Explicación
1	Igual importancia entre A y B	Ambos elementos contribuyen de igual manera al logro de objetivo.
3	Débil predominancia de A en relación con B	La experiencia y el juicio favorecen levemente un elemento en relación a otro.
5	Fuerte o determinante predominancia de A con respecto a B.	La experiencia y el juicio favorecen levemente más claramente un elemento en relación al otro.
7	Importante predominancia de A con respecto a B.	Un elemento domina ampliamente, y esta dominación puede ser evidenciada en la práctica.
9	Absoluta predominancia de A con respecto a B.	Puede demostrarse que la dominación de un elemento en relación al otro es absoluta.
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos apreciaciones vecinas.	Son utilizados para afinar el juicio entre dos elementos.

2.8. Decisión Multiobjetivo (DMO).

Este método, también conocido como optimización multiobjetivo, consiste en desarrollar un modelo con varias funciones objetivos a optimizar, donde cada una refleje un criterio a tener en cuenta en la selección. A modo de ejemplo, se pudieran plantear los siguientes objetivos para la selección de alternativas energéticas en un asentamiento rural ambientalmente sostenible.

- **Objetivo 1:** Minimizar los costos directos.
- **Objetivo 2:** Minimizar consumo de energía.
- **Objetivo 3:** Maximizar el empleo.
- **Objetivo 4:** Minimizar las emisiones al medio.

El modelo puede resolverse empleando diferentes métodos matemáticos, entre los cuales pueden mencionarse la Optimización de Pareto y la Programación por Metas.

Este último es muy utilizado, aunque recientemente algunos autores le señalan algunas debilidades y sugieren otras técnicas como el Simplex Multicriterio.

La Decisión Multiobjetivo tiene como desventaja que no resulta factible la incorporación de criterios que no se pueden expresar de forma matemática (cualitativos); sin embargo, constituye una herramienta muy fuerte y confiable en los análisis de selección, pues limita la manipulación de los resultados con factores subjetivos, además

que brinda en muchos casos resultados numéricos útiles y de gran valor para el analista. Por otra parte, permite incorporar a la selección un conjunto de factores externos o restricciones que reflejan elementos tales como: disponibilidad de recursos, capital disponible, requerimientos específicos del sistema, entre otros.

2.9. Alternativas energéticas y usos finales de la energía.

Para abordar un problema de este tipo es necesario primeramente conformar una matriz de alternativas recurso - uso final, para esto hay que analizar los requerimientos energéticos de la comunidad y las posibles fuentes energéticas a utilizar, de tal forma que se conforme la matriz planteada. En la tabla 3.4 se muestra la matriz conformada en este caso. Como se puede apreciar se consideraron todas las fuentes posibles a utilizar, tanto las convencionales como las renovables, pues el propio proceso de selección multicriterial proporcionará las mejores variantes. Para el caso de las comunidades rurales se consideraron cinco usos finales de la energía en el sector doméstico: cocción de alimentos, bombeo de agua, iluminación, aplicaciones eléctricas y calentamiento de agua para duchas. En total resultaron 32 combinaciones posibles.

Tabla 2.5. Posibles combinaciones recurso - uso final.

RECURSOS	USOS FINALES				
	Cocción de alimentos	Bombeo de agua	Iluminación	Aplicaciones eléctricas	Agua caliente para duchas
Queroseno	1	-	-	-	-
Diesel	-	12	-	-	-
Gas Licuado	2	-	-	-	-
Carbón vegetal	3	-	-	-	-
Biogás	4	-	-	-	-
Leña	5	-	-	-	-
Briquetas de paja de caña	6	-	-	-	-
Solar Térmica	7	-	-	-	29
Solar Fotovoltaica	8	13	19	24	-
Energía	-	14	20	25	-
Eólica	-	15	-	-	-
Hidroelectricidad	9	16	21	26	30
Electricidad de la red	10	17	22	27	31
Electricidad generada con diesel	11	18	23	28	32

Las combinaciones 9, 14, 16, 16', 20, 21, 25, 26 y 30 no se consideran en la selección debido a la no disponibilidad de los recursos correspondientes.

2.10. Requerimientos energéticos de la comunidad y sus índices de consumo.

Los índices de consumo de energía generalmente se expresan en términos de energía útil, especialmente en los casos de selección en que se trabaja con tecnologías que no tienen la misma eficiencia, pues en el modelo matemático las variables deben estar expresadas en una unidad de medida común para todas las alternativas.

- **Cocción de alimentos.**

Para este cálculo se parte de la demanda de tres de los combustibles más empleados en nuestro país: queroseno, gas licuado y leña.

➤ **Cálculo a partir de la demanda de queroseno.**

$$E_{\text{útil}} = 0.1261 \cdot \text{Norma} \cdot \rho_{\text{quer}} \cdot V_c \cdot E_{\text{u.f}} \quad , \text{ kWh / día-familia. (Queroseno)}$$

Dónde:

Norma: norma promedio de consumo por familia de 4 a 5 personas, gal/mes (8 galones en Cuba).

ρ_{quer} : Densidad del queroseno, kg/L.

V_c : Valor calórico del queroseno, MJ/kg.

$E_{\text{u.f}}$: Eficiencia de uso final.

➤ **Cálculo a partir de la demanda de gas licuado.**

$$E_{\text{útil}} = 1.11 \cdot \text{Norma} \cdot V_c \cdot E_{\text{u.f}} \quad , \text{ kWh / día-familia (gas licuado).}$$

Dónde:

Norma 50 kg / año-persona (en Cuba).

V_c : Valor calorífico del gas licuado (48.88 MJ/kg)

➤ **Cálculo a partir de la demanda de leña.**

$$E_{\text{útil}} = 1.1108 \cdot \text{Consumo} \cdot \rho_{\text{leña}} \cdot V_c \cdot E_{u.f} , \text{ kWh/día-familia (leña).}$$

Dónde:

Consumo: 1.31 m³/año-persona [1].

$\rho_{\text{leña}}$ = Densidad de la leña (300 kg / m³)

V_c = Valor calorífico de la leña (24.17 MJ/kg)

$E_{u.f}$ = Factor (0.1)

Como índice promedio para la cocción de alimentos se seleccionó el obtenido a partir de la demanda de queroseno, debido a que es el mayor estimado.

• **Bombeo de agua.**

Para este cálculo se tienen en cuenta dos variantes de bombeo: individual y colectivo, pues se considera que no se necesita la misma cantidad de energía en ambos casos debido a la diferencia en magnitud de los sistemas.

➤ **Individual**

$$E_{\text{útil}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000} * F_d$$

Dónde:

ρ - Densidad del agua a temperatura ambiente, kg/m³.

g - Aceleración de la gravedad, m/s².

Q - Caudal manejado por el sistema, m³/s.

H - Carga del sistema, m.

F_d - Factor de demanda, h/día.

$$F_d = \frac{\text{Demanda} \cdot \text{diaria} \cdot \text{por} \cdot \text{familia} \cdot (l / \text{dia})}{\text{Caudal} \cdot \text{de} \cdot \text{la} \cdot \text{bomba} \cdot (l / h)}$$

- **Iluminación.**

Para este cálculo se parte del consumo promedio de electricidad de una familia y se estimó que de este consumo el 30 % es de iluminación.

$$E_{\text{útil}} = 0.3 \cdot \text{Consumo Promedio} \cdot E_{u.f}$$

Consumo Promedio: 100 kWh/mes-familia.

$E_{u.f}$: Eficiencia de uso final (0.4).

- **Aplicaciones eléctricas.**

Este consumo de electricidad representa entonces el otro 70 % del consumo promedio total por tanto:

$$E_{\text{útil}} = 0.70 \cdot \text{Consumo Promedio} \cdot E_{u.f}$$

$$E_{u.f} = 0.6$$

$$E_{\text{útil}} = 42 \text{ kWh/mes-familia} = 504 \text{ kWh/año-familia.}$$

- **Calentamiento de agua para duchas.**

La energía útil para el calentamiento de agua, si no se consideran las pérdidas en el sistema, puede calcularse por la siguiente expresión:

$$E_{\text{útil}} = \frac{G * Cp * (tsal - tamb)}{3600}$$

Dónde:

G: Flujo de agua caliente: 200 l/día-familia (norma).

Cp: Comprobación del flujo de agua caliente.

2.11. Determinación de potenciales de las fuentes de energía.

El análisis de los potenciales de las fuentes se centró en las fuentes renovables por ser las que presentan mayores problemas en este sentido debido a las fluctuaciones imprevisibles en su disponibilidad. Específicamente se analizaron tres de dichas fuentes: solar, eólica e hidráulica.

2.12. Aplicación de los métodos de selección.

- **Ponderación lineal y método jerárquico de Saaty.**

Para la aplicación del método se utilizan diferentes criterios (tabla 2.7), que son recogidos en la función, definida para este caso (3.1). En este sentido se prefirió procesar las evaluaciones realizadas por los expertos con dicha función, y no utilizar algún tipo de software especializado, pues de esta manera resulta más ilustrativa y sencilla la demostración.

Tabla 2.7. Criterios de selección.

Nº	Criterios (C _j)
1	Costos internos
2	Eficiencia
3	Aceptación social
4	Calificación del personal
5	Aprovechamiento de fuentes locales
6	Impacto ambiental

$$F = \frac{w_1 \left(\frac{C_{\min}}{C} \right) + w_2 \cdot E_g + w_3 \left(\frac{As}{3} \right) + w_4 \left(\frac{Cp}{3} \right) + w_5 \left(\frac{Fl}{3} \right) + w_6 \left(\frac{IA}{3} \right)}{\sum_{i=1}^6 w_i} \quad (3.1)$$

Dónde:

- w_i : Factores de peso.
- C_{\min} : Costo directo mínimo de referencia, es el menor de los costos de las combinaciones consideradas en cada uso final, \$/kW*h.
- C : Costo directo de la combinación que se evalúa, \$/kW*h.

- E_g : Eficiencia global.
 $E_g = E_{ext} \cdot E_{uf}$
- E_{ext} : Eficiencia externa, relacionada con los procesos de producción y distribución de la energía primaria.
- E_{uf} : Eficiencia de uso final.
- As : Aceptación social: 1- poco aceptada, 2 - medianamente aceptada, 3- muy aceptada.
- Cp : Calificación requerida del personal: 1- muy calificado, 2- medianamente calificado, 3- poco calificado.
- Fl : Aprovechamiento de fuentes locales de energía: 1- fuente a más de 10 km, 2- fuente entre 1 y 10 km, 3- fuente a menos de 1 km.
- IA : Impacto ambiental.

$$IA = I + E + R$$

I : Intensidad del impacto: 1-baja, 2- media, 3- alta.

E : Extensión del impacto: 1-baja, 2- media, 3- alta.

R : Reversibilidad del impacto: 1- reversible, 2- parcialmente reversible, 3- irreversible.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

3.1. Métodos de selección de alternativas de suministro de energía.

Los métodos de selección de alternativas energéticas constituyen herramientas importantes para la toma de decisiones energéticas, y de forma general pudieran clasificarse en dos grupos: métodos unicriterio y métodos multicriterio.

3.2. Determinación de los requerimientos energéticos de la comunidad y sus índices de consumo.

Los índices de consumo de energía generalmente se expresan en términos de energía útil, especialmente en los casos de selección en que se trabaja con tecnologías que no tienen la misma eficiencia, pues en el modelo matemático las variables deben estar expresadas en una unidad de medida común para todas las alternativas.

- **Cocción de alimentos.**

Para este cálculo se parte de la demanda de tres de los combustibles más empleados en nuestro país: queroseno, gas licuado y leña.

➤ **Cálculo a partir de la demanda de queroseno.**

$$E_{\text{útil}} = 0,1261 \cdot \text{Norma} \cdot \rho_{\text{quer}} \cdot V_c \cdot E_{u.f} , \text{ kWh / día-familia. (Queroseno)}$$

Dónde:

Norma: norma promedio de consumo por familia de 4 a 5 personas, gal/mes (8 galones en Cuba).

ρ_{quer} : Densidad del queroseno 0,85 kg/L.

$V_c = 47,234 \text{ MJ/kg}$.

$E_{u.f} = 0,4$.

$E_{\text{útil}} = 0,1261 \cdot 8 \cdot 0,85 \cdot 47,234 \cdot 0,4 / 365$

$E_{\text{útil}} = 4,5 \text{ kWh / día-familia. (Queroseno)}$

➤ **Cálculo a partir de la demanda de gas licuado.**

$$E_{\text{útil}} = 1,11 \cdot \text{Norma} \cdot V_c \cdot E_{u,f}, \text{ kWh / día-familia (gas licuado).}$$

Dónde:

Norma = 50 kg/año-persona (en Cuba).

$V_c = 48,88 \text{ MJ/kg.}$

$E_{u,f} = 0,5$

$E_{\text{útil}} = 1,11 \cdot 50 \cdot 48,88 \cdot 0,5 / 365$

$E_{\text{útil}} = 3,8 \text{ kWh/día-familia (gas licuado).}$

➤ **Cálculo a partir de la demanda de leña.**

$$E_{\text{útil}} = 1,1108 \cdot \text{Consumo} \cdot \rho_{\text{leña}} \cdot V_c \cdot E_{u,f}, \text{ kWh/día-familia (leña).}$$

Dónde:

Consumo = 1,31 m³/año-persona

$\rho_{\text{leña}} = 300 \text{ kg / m}^3.$

$V_c = 24,17 \text{ MJ/kg.}$

$E_{u,f} = 0,1$

$E_{\text{útil}} = 0,72 \text{ kWh/día-persona.}$

Como índice promedio para la cocción de alimentos se seleccionó el obtenido a partir de la demanda de queroseno, debido a que es el mayor estimado.

• **Bombeo de agua.**

Para este cálculo se tienen en cuenta dos variantes de bombeo: individual y colectivo, pues se considera que no se necesita la misma cantidad de energía en ambos casos debido a la diferencia en magnitud de los sistemas.

➤ **Individual**

$$E_{\text{útil}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000} \cdot F_d$$

Dónde:

ρ - Densidad del agua a temperatura ambiente, kg/m^3 .

g - Aceleración de la gravedad, m/s^2 .

Q - Caudal manejado por el sistema, m^3/s .

H - Carga del sistema, m .

F_d - Factor de demanda, h/día .

$$F_d = \frac{\text{Demanda} \cdot \text{diaria} \cdot \text{por} \cdot \text{familia} \cdot (\text{l} / \text{dia})}{\text{Caudal} \cdot \text{de} \cdot \text{la} \cdot \text{bomba} \cdot (\text{l} / \text{h})}$$

En la literatura se reportan estimados para determinar el consumo diario medio por habitante, aunque estos estimados varían considerablemente en función de las características específicas de cada país.

Demanda a nivel mundial: 40 - 400 L/día- persona.

Para los países subdesarrollados se reportan los siguientes estimados:

- Para agua caliente: 40 L/día-persona

- Riego doméstico: 40 L/día-persona

- Otros usos: 120 L/día-persona

- Total: 200 L/día-persona.

Para los cálculos se tomaron los siguientes datos de chapa de una electrobomba disponible en el mercado, y que se consideró se ajustaba a las características promedio de los pequeños sistemas en viviendas:

$H = 15 \text{ m}$, $Q = 100 \text{ L/min}$, Eficiencia = 40 %.

$E_{\text{útil}} = 0.032 \text{ kWh/día-familia}$.

➤ Colectivo

En este caso se utiliza la misma expresión pero con los datos de la motobomba española MBH-RD-15-30/2 disponible en el mercado y que se ajusta a las

características promedios de los sistemas de bombeo para estas comunidades: $Q = 3$ L/seg, $H = 50$ m.

El factor de demanda se calcula en este caso como:

$$F_d = \frac{(\text{Demanda diaria por familia} \times \text{Cantidad de familias} + \text{Volumen de reserva}) \cdot (\text{l / día})}{\text{Caudal de la bomba} \cdot (\text{l / h})}$$

Volumen de reserva = Flujo instantáneo máximo por vivienda x 10 min / día x Número de viviendas

Flujo instantáneo máximo = 2,45 L/seg = 0,040 L /min (se calcula en función de los consumos instantáneos de los distintos aparatos de una vivienda, según firma SIHI MIBSA).

Volumen de reserva = 44100 L/día.

$F_d = 4$ h/día.

$E_{\text{útil}} = 5.88$ kWh/día.

- **Iluminación.**

Para este cálculo se parte del consumo promedio de electricidad de una familia en la Provincia de Cienfuegos, y se estimó que de este consumo el 30 % es de iluminación.

$$E_{\text{útil}} = 0,3 \cdot \text{Consumo Promedio} \cdot E_{u.f}$$

Consumo Promedio: 100 kWh/mes-familia.

$E_{u.f} = 0,4$

$E_{\text{útil}} = 12$ kWh/mes-familia = 144 kWh/año-familia.

Para comprobar estos estimados se decide hacer el diseño previo de una instalación de alumbrado para una vivienda.

- Datos: Tamaño promedio de una habitación: 4 x 4 m (ancho x largo), 3 m de altura

Reflexión del techo: 80 %

Reflexión de las paredes: 50 %

Buena conservación de luz para luminarias y superficies de la habitación.

- Pasos para el diseño:

1- Determinación del nivel requerido de iluminación

Se toma alumbrado el nivel para cuartos de estar, comedores, dormitorios, bibliotecas: 100 luxes.

2- Selección del sistema de alumbrado y las luminarias.

Se selecciona alumbrado Directo-indirecto, 2 lámparas fluorescentes de 40 W con precalentamiento, colocadas o fijadas directamente al techo.

3- Determinación del coeficiente de utilización.

$$\text{Coef. de utilización} = \frac{F_{\text{trabajo}}}{F_{\text{total}}}$$

Dónde:

F_{trabajo} : Flujo luminoso que llega al plano de trabajo (76 centímetros del suelo), lúmenes.

F_{total} : Flujo total generado por las lámparas, lúmenes.

Coef. de utilización = 0,46

4- Estimación del factor de conservación o mantenimiento.

Factor medio = 0,60

5- Cálculo del número de lámparas y luminarias requeridas.

$$\text{Nro lámparas} = \frac{\text{Nivel} \cdot \text{luminoso}(\text{lux}) \times \text{superficie}(\text{m}^2)}{\text{Lumenes} \cdot \text{por} \cdot \text{lámpara}(\text{lumen}) \times \text{Coef.} \cdot \text{utilizacion} \times \text{Coef.} \cdot \text{conservacion}}$$

Lúmenes por lámpara = 2900 lúmenes

Nº lámparas = 2

$$\text{Nro luminarias} = \frac{\text{Numero} \cdot \text{de} \cdot \text{lámparas}}{\text{Lámparas} \cdot \text{por} \cdot \text{luminaria}} = 1$$

6- Determinación del consumo de energía.

$$\text{Consumo} = (P_{\text{inst}} * \text{N}^\circ \text{ de habitaciones} + \text{Perdidas reactancia}) * 30 * F_d$$

P_{inst} : Potencia instalada por habitación, kW

F_d : Factor de demanda de la luminaria por habitación = 2 h / día.

N° : de habitaciones = 5

Pérdidas reactancia = 0.016 kW

Consumo = 24,96 kWh / mes-familia.

$E_{\text{útil}} = \text{Consumo} * E_{u.f} = 10 \text{ kWh/mes-familia} = 120 \text{ kWh/año-familia}$.

Con el cálculo realizado se demuestra que la estimación realizada de que el consumo en iluminación representa el 30 % del total promedio resulta acertada.

- **Aplicaciones eléctricas.**

Este consumo de electricidad representa entonces el otro 70 % del consumo promedio total por tanto:

$$E_{\text{útil}} = 0,70 \cdot \text{Consumo Promedio} \cdot E_{u.f}$$

$$E_{u.f} = 0,6$$

$$E_{\text{útil}} = 42 \text{ kWh/mes-familia} = 504 \text{ kWh/año-familia}$$
.

- **Calentamiento de agua para duchas.**

La energía útil para el calentamiento de agua, si no se consideran las pérdidas en el sistema, puede calcularse por la siguiente expresión:

$$E_{\text{útil}} = \frac{G \cdot C_p \cdot (t_s - t_i)}{3600}$$

Dónde:

G: Flujo de agua caliente: 200 l/día-familia (norma).

C_p : Comprobación del flujo de agua caliente.

Datos:

Estimado del tiempo medio en la ducha (τ_{prom}): 10 min/persona-día.

Cantidad de personas por vivienda: 4

Flujo instantáneo de la ducha (F_{inst}): 0.2 l/seg. (Según firma SIHI-MIBSA)

Temperatura de salida del agua (t_{sal}): 45 °C.

Temperatura ambiente promedio del agua (t_{amb}): 28 °C.

Temperatura promedio del agua mezclada (t_{mez}): 35 °C.

$$G_{mez} \cdot i_{mez} = G_{af} \cdot i_{af} + G_{ac} \cdot i_{ac}$$

$$G_{mez} = G_{a.f} + G_{ac}$$

i_{mez} : Entalpía de la mezcla : 146.68 kJ/kg

$i_{a.f}$: Entalpía del agua fría: 117.43 kJ/kg

$i_{a.c}$: Entalpía del agua caliente: 188.45 kJ/kg

$$G_{mez} = F_{inst} \cdot \tau_{prom} \cdot \text{Cantidad de personas}$$

$$G_{mez} = 480 \text{ l / día-familia.}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones resulta:

$$G_{a.f} = 282.30 \text{ l/día-familia, } G_{a.c} = 197.69 \text{ l/día-familia}$$

C_p : calor específico del agua, kJ/kg-°C.

t_s : Temperatura de salida del agua = 45 °C (norma).

t_i : temperatura inicial del agua, °C.

$$E_{\text{útil}} = 4.64 \text{ kWh/día-familia.}$$

En la tabla 2.6 se brinda un resumen de los índices de consumo calculados.

Tabla 2.6 Necesidades energéticas de la comunidad (Energía útil).

Uso Final	Símbolo	Índice de consumo (kWh / día-familia)	Total anual de la comunidad (kWh / año)
Cocción de alimentos	E_c	4.5	49 275
Bombeo de agua	Individual E_{b1}	0.0326	360
	Colectivo E_{b2}	-	2 146
Iluminación	E_l	0.4	4 320
Otras aplicaciones eléctricas	E_a	1.4	15 308
Calentamiento de agua para duchas	E_{ca}	4.64	50 508

Para la selección de las mejores combinaciones o alternativas de suministro para cada uso final se determinó que la selección debía ser muticriterio, de forma tal que se pudieran considerar varios factores como es necesario en este caso. Los demás elementos de la clasificación y conceptualización del problema, así como los demás pasos de la metodología propuesta, se abordan al aplicarse las herramientas de selección.

3.3. Determinación de los potenciales de las posibles fuentes energéticas a utilizar.

La determinación de los potenciales de las fuentes constituye uno de los puntos más importantes en el proceso de planificación energética, pues permite una primera selección de algunas de las posibles fuentes a utilizar, así como la incorporación de restricciones al proceso, dejando bien establecido cuales fuentes, y hasta qué grado, pueden ser utilizadas para satisfacer los requerimientos energéticos de la comunidad. En el capítulo 3 se tratan las metodologías para la determinación de los potenciales de algunas de las principales fuentes no convencionales, específicamente de la energía solar, la eólica y la hidráulica.

3.3.1. Determinación del potencial eólico de la comunidad.

Para el análisis del sitio en estudio se partieron de las mediciones de la estación meteorológica de Bayamo, pues se consideró que representaba un comportamiento similar dado las condiciones similares del terreno y la cercanía. Los valores de velocidad del viento se reportan en la tabla 3.6.

Tabla 2.6 Valores de la velocidad del viento en la estación meteorológica de Bayamo.

Vientos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Dirección	NE	NE	NE	SW	E	E	E	E	E	E	ENE	ENE	NE
(m / s)	3.37	2.54	3.67	3.08	3.21	2.88	3.25	2.43	2.69	2.48	3.63	3.81	3.01

Como se puede apreciar en la tabla 2.6 el valor promedio de la velocidad del viento es de $3,01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, lo cual descarta la posibilidad de utilización de esta energía para la producción de electricidad, aunque pudiera considerarse su uso para el bombeo de agua.

3.3.2. Determinación del potencial solar de la comunidad.

Como no se disponía de datos de estaciones lo suficientemente cercanas para no incurrir en errores de estimación, se decidió tomar la media nacional reportada ($5 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2\text{-día}$), y considerar que este comportamiento se mantenía como promedio en todo el año. A los efectos de la planificación energética no nos interesa conocer exactamente la cantidad de energía posible a obtener por m^2 , sino más bien saber la disponibilidad del recurso, lo cual ha sido probado en muchos estudios realizados en nuestro país.

Por otra parte, una menor o mayor disponibilidad de energía por m^2 se refleja en los costos del sistema, recogido en los coeficientes de costo calculados más adelante.

3.3.3. Determinación del potencial hidroeléctrico de la comunidad.

En este caso resultaba evidente la no disponibilidad de este recurso por lo se determinó no considerar esta fuente dentro de las posibles a utilizar en el lugar.

3.4. Aplicación de los métodos de selección

- **Ponderación lineal y método jerárquico de Saaty.**

Para la aplicación del método se utilizan diferentes criterios (tabla 3.3), que son recogidos en la función, definida para este caso. En este sentido se prefirió procesar las evaluaciones realizadas por los expertos con dicha función, y no utilizar algún tipo de software especializado, pues de esta manera resulta más ilustrativa y sencilla la demostración.

Tabla 3.3. Criterios de selección.

N°	Criterios (C _j)
1	Costos internos
2	Eficiencia
3	Aceptación social
4	Calificación del personal
5	Aprovechamiento de fuentes locales
6	Impacto ambiental

$$F = \frac{w_1 \left(\frac{C_{\min}}{C} \right) + w_2 \cdot E_g + w_3 \left(\frac{As}{3} \right) + w_4 \left(\frac{Cp}{3} \right) + w_5 \left(\frac{Fl}{3} \right) + w_6 \left(\frac{IA}{3} \right)}{\sum_{i=1}^6 w_i} \quad (3.1)$$

Dónde:

w_j: Factores de peso.

C_{min}: Costo directo mínimo de referencia, es el menor de los costos de las combinaciones consideradas en cada uso final, \$/kW*h.

C: Costo directo de la combinación que se evalúa, \$/kW*h.

E_g: Eficiencia global.

$$E_g = E_{\text{ext}} \cdot E_{\text{uf}}$$

E_{ext}: Eficiencia externa, relacionada con los procesos de producción y distribución de la energía primaria.

E_{uf}: Eficiencia de uso final.

- As: Aceptación social: 1- poco aceptada, 2 - medianamente aceptada, 3- muy aceptada.
- Cp: Calificación requerida del personal: 1- muy calificado, 2- medianamente calificado, 3- poco calificado.

- FI: Aprovechamiento de fuentes locales de energía: 1- fuente a más de 10 km, 2- fuente entre 1 y 10 km, 3- fuente a menos de 1 km.
- IA: Impacto ambiental.

$$IA = I + E + R$$

I: Intensidad del impacto: 1-baja, 2- media, 3- alta.

E: Extensión del impacto: 1-baja, 2- media, 3- alta.

R: Reversibilidad del impacto: 1- reversible, 2- parcialmente reversible, 3- irreversible.

3.5. Determinación de los factores de peso.

Para la determinación de los factores de peso se utiliza en este caso el Método Jerárquico de Saaty.

- **Matriz de comparaciones del criterio i (fila) con respecto al j (columna).**

Criterios	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	C₆
C₁	1	1	2	3	1	1
C₂	1	1	2	3	1	1
C₃	1/2	1/2	1	3	1	2
C₄	1/3	1/3	1/3	1	2	1
C₅	1	1	1	1/2	1	1
C₆	1	1	1/2	1	1	1

- **Matriz de comparación de los criterios.**

Criterios	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	C₆
C₁	1	1	2	3	1	1
C₂	1	1	2	3	1	1
C₃	0,5	0,5	1	3	1	2
C₄	0,3	0,3	0,3	1	2	1
C₅	1	1	1	0,5	1	1
C₆	1	1	0,5	1	1	1
SUMA	4,8	4,8	6,8	11,5	7	7

Las evaluaciones propuestas se realizaron según la escala de Saaty. Para determinar si las inconsistencias cometidas en las evaluaciones invalidan la matriz propuesta, se aplica la siguiente metodología propuesta por Saaty:

- A continuación normalizamos la matriz de comparación. Puede hacerse como fracción de la suma o como fracción del máximo. Aplicamos el primer método que consiste en dividir cada elemento de la matriz de comparación entre el sumatorio de la columna a la que pertenece.

• **Matriz normalizada**

Criterios	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	Vector de prioridades
C ₁	0,207	0,207	0,293	0,261	0,143	0,143	0,209
C ₂	0,207	0,207	0,293	0,261	0,143	0,143	0,209
C ₃	0,103	0,103	0,146	0,261	0,143	0,286	0,174
C ₄	0,069	0,069	0,049	0,087	0,286	0,143	0,117
C ₅	0,207	0,207	0,146	0,043	0,143	0,143	0,148
C ₆	0,207	0,207	0,073	0,087	0,143	0,143	0,143
SUMA	1	1	1	1	1	1	

- Los pesos o vector de prioridades se obtienen calculando la media de cada fila de la matriz normalizada.

Criterios	Pesos
C ₁	0,209
C ₂	0,209
C ₃	0,174
C ₄	0,117
C ₅	0,148
C ₆	0,143

- Multiplicando la matriz de comparación por el vector de prioridades (pesos) se obtiene el vector de sumas ponderadas.

Criterios	0,209* C₁	0,209* C₂	0,174* C₃	0,117* C₄	0,148* C₅	0,143* C₆
C₁	0,209	0,209	0,348	0,351	0,148	0,143
C₂	0,209	0,209	0,348	0,351	0,148	0,143
C₃	0,104	0,104	0,174	0,351	0,148	0,287
C₄	0,07	0,07	0,058	0,117	0,296	0,143
C₅	0,209	0,209	0,174	0,059	0,148	0,143
C₆	0,209	0,209	0,087	0,117	0,148	0,143

La columna obtenida como resultado de la suma de las filas constituye el vector de las sumas ponderadas.

- **Vector de Sumas Ponderadas (VSP)**

Criterios	VSP
C₁	1,40786
C₂	1,40786
C₃	1,168509
C₄	0,75391
C₅	0,94148
C₆	0,91311

- Los valores λ se obtienen dividiendo los elementos del vector de sumas ponderadas entre el valor del vector de prioridades correspondiente (pesos).

VSP		Pesos		λ
1,40786		0,209		6,741
1,40786		0,209		6,741
1,168509	:	0,174	=	6,724
0,75391		0,117		6,441
0,94148		0,148		6,352
0,91311		0,143		6,373

Al promedio de los valores λ se denomina λ_{max} , que se aproxima al valor propio máximo de la matriz de comparación.

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 6,562$$

- **Calcular el índice de Consistencia.**

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} * 100 \quad (3.2)$$

Dónde:

n: Nro de criterios (tamaño de la matriz), para el caso analizado n = 6

$$IC = 11,2437 \% = 0,112437$$

- **Calcular la Razón de Inconsistencia.**

$$RC = \frac{IC}{IC_{aleatorio}} * 100 \quad (3.3)$$

$IC_{aleatorio}$: índice de Inconsistencia aleatorio: se determina en función de n (tabla 3.4), estos valores aleatorios resultan de generar un gran número de matrices con evaluaciones entre 9 y 1/9.

Tabla 3.4 índice de coherencia aleatorio.

Tamaño de la matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice de Inconsistencia	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

$$RC = (0,112437/1,24)*100 = 9,067 \% = 0,9076$$

- **Comprobación**

Para que se acepte la matriz de comparaciones debe cumplirse que $RC < 10 \%$. En este caso $9,067 \% < 10 \%$, por lo que las inconsistencias cometidas en este caso no invalidan las evaluaciones realizadas.

Después de comprobada la coherencia de las evaluaciones realizadas, se procede a determinar los pesos de los criterios. El vector peso w resulta el autovector dominante de la matriz de comparaciones, por lo que puede plantearse la siguiente ecuación:

$$(A - \lambda \cdot I) (w) = 0 \quad (3.4)$$

Dónde:

A: Matriz de comparaciones.

λ : Autovalores de la matriz.

W: Vector de los pesos.

I: Matriz idéntica.

Los autovalores de la matriz se obtienen de la siguiente ecuación:

$$| A - \lambda \cdot I | = 0 \quad (3.5)$$

Solución:

$$24,6 \cdot 10^8 \cdot \lambda^5 - 15,33 \cdot 10^9 \cdot \lambda^4 + 54,1 \cdot 10^9 \cdot \lambda^3 - 44,41 \cdot 10^7 \cdot \lambda^2 - 22,46 \cdot 10^9 \cdot \lambda - 23,88 \cdot 10^8 = 0$$

Autovalor dominante: $\lambda = 6,5$

La desviación del valor de λ con respecto al número de criterios "n", es una medida de las inconsistencias cometidas en las comparaciones realizadas.

Al sustituir el valor de λ en la expresión 3.4 se obtiene el autovector dominante, o vector de los pesos:

<u>Pesos</u>
0,209
0,209
0,174
0,117
0,148
0,143

$w = (0,209, 0,209, 0,174, 0,117, 0,148, 0,143)$

Existe una forma más sencilla de hallar los pesos que consiste en seleccionar en cada fila de la matriz de comparaciones el mayor valor, posteriormente se suman todos los valores seleccionados y se halla un total, los pesos se determinarían entonces como:

$$w_i = \frac{\text{Mayor valor en la fila } i}{\text{Suma de los mayores valores por fila}}, \quad i = 1 \dots k, \quad k - \text{Número de criterios.}$$

Este método tiene la inconveniencia de ser muy susceptible a las inconsistencias o errores cometidos en las comparaciones.

Después de obtenido el vector de los pesos se procede a evaluar la expresión 6.1, conformando la matriz de evaluaciones (tabla 3.5). Los coeficientes de costos utilizados se calcularon por la expresión 1.3 y se muestran en la tabla 3.6; las eficiencias estimadas se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.5 Matriz de evaluaciones.

RECURSOS	USOS FINALES				
	Cocción de alimentos	Bombeo de agua	Iluminación	Aplicaciones eléctricas	Agua caliente para duchas
Queroseno	0.325	-	-	-	-
Diesel	-	0.384	-	-	-
Gas Licuado	0.402	-	-	-	-
Carbón vegetal	0.365	-	-	-	-
Biogás	0.605	-	-	-	-
Leña	0.390	-	-	-	-
Briquetas de paja de caña	0.400	-	-	-	-
Solar Térmica	0.859	-	-	-	0.915
Solar Fotovoltaica	0.573	0.550	0.733	0.678	-
Energía Aerogeneradores	-	-	0.338	0.737	-
Eólica Energía mecánica	-	0.750	0.672	-	-
Hidroelectricidad	-	0	0	0	0
Electricidad de la red	0.356	0.380	0.673	0.876	0.364
Electricidad generada con diesel	0.347	0.322	0.545	0.472	0.297

Tabla 3.6 Coeficientes de costos (\$ USD 1995/ kWh).

RECURSOS	USOS FINALES				
	Cocción de alimentos	Bombeo de agua	Iluminación	Aplicaciones eléctricas	Servicio de agua caliente para duchas
Queroseno	0.0424	-	-	-	-
Diesel	-	0.5057	-	-	-
Gas Licuado	0.0419	-	-	-	-
Carbón vegetal	0.1183	-	-	-	-
Biogás	0.0259	-	-	-	-
Leña	0.1286	-	-	-	-
Briquetas de paja de caña	0.0635	-	-	-	-
Solar Térmica	0.0066	-	-	-	0.01
Solar Fotovoltaica	0.2733	1.3	0.649	0.5591	-
Energía Aerogeneradores	-	-	0.449	0.4257	-
Eólica Energía mecánica	-	2.159	-	-	-
Hidroelectricidad	-	-	-	-	-
Electricidad de la red	0.1646	1.201	0.156	0.4341	0.2807
Electricidad generada con diesel	0.2208	1.256	0.5441	0.4891	0.2097

Tabla 3.7 Eficiencias (%).

RECURSOS		USOS FINALES										
		Cocción de		Bombeo de agua		Iluminación		Aplicaciones eléctricas		Agua caliente para duchas		
		E _{ext}	E _{u.f}	E _{global}	E _{u.f}	E _{global}	E _{u.f}	E _{global}	E _{u.f}	E _{global}	E _{u.f}	E _{global}
Tipos de eficiencias												
Queroseno		72	40	28.8	-	-	1	0.2	-	-	40	28.8
Diesel		72	-	-	30	21.6	-	-	-	-	-	-
Gas Licuado		72	50	36	-	-	-	-	-	-	50	36
Carbón vegetal		30	15	4.5	-	-	-	-	-	-	15	4.5
Biogás		88	50	44	-	-	1	0.8	-	-	50	44
Leña		95	10	9.5	-	-	-	-	-	-	10	9.5
Briquetas de paja de caña		94	25	23.5	-	-	-	-	-	-	25	23.4
Solar Térmica		100	20	20	-	-	-	-	-	-	20	20
Solar Fotovoltaica		10	80	8	80	8	40	4	60	6	80	8
Energía	Aerogeneradores	40	-	-	80	32	40	16	60	24	-	-
Eólica	Energía mecánica	40	-	-	60	24	-	-	-	-	-	-
Hidroelectricidad		50	80	40	80	40	40	20	60	30	80	40
Electricidad de la red		23	80	18.4	80	18.4	40	9.2	60	13.8	80	18.4
Electricidad generada con diesel		28	80	23	80	23	40	11.5	60	16.8	80	23

3.6. Análisis de resultados y conclusiones parciales del método aplicado.

Al enfrentar un problema de selección de fuentes energéticas, en primer lugar debe tenerse en cuenta el contexto y los intereses involucrados, con el objetivo de escoger el método apropiado. En la actualidad se están difundiendo cada vez más los métodos multicriterio; donde la tendencia es incluir en la selección otros criterios, como es el caso de los sociales y ambientales, aunque pueden incluirse también otros factores económicos que no son reflejados en los costos directos de la producción de energía.

El caso práctico analizado tiene sus características especiales, pues se desea realizar una selección compatible con los principios del desarrollo sostenible. En estos casos de sistemas pequeños, el primer paso recomendado es crear una matriz de alternativas recurso - uso final, donde se tengan en cuenta todas las posibles combinaciones, y posteriormente utilizar un método multicriterio para obtener la solución "óptima". En el trabajo se demuestra que al realizar un análisis integral, teniendo en cuenta tanto los factores económicos como los sociales y ambientales, las fuentes renovables de energía desempeñan un rol importante; incluso en los usos finales relacionados con el

consumo de energía eléctrica, el uso de la energía solar fotovoltaica compite con el uso de la energía eléctrica de la red.

En resumen, como resultado del análisis realizado en el caso planteado, se promueve la utilización de la energía solar térmica y el biogás para la cocción de alimentos; la energía solar fotovoltaica y la energía eléctrica de la red para la demanda de electricidad; y de la energía solar térmica para el calentamiento de agua.

El método empleado en la selección permite un ordenamiento de las opciones para cada uso final de la energía, sin constituir un proceso de optimización. En primer lugar existen elementos subjetivos en el proceso, y en segundo lugar no permite incorporar restricciones y condiciones específicas del proyecto, como puede ser el caso de la disponibilidad de recursos. Sin embargo el método resulta muy útil en análisis preliminares, que pueden ser complementados con otras herramientas.

CONCLUSIONES:

1. Se determinaron los potenciales de energía para el Consejo Popular "Victorino".
2. Se obtuvieron las alternativas energéticas para el Consejo Popular "Victorino".
3. Se evaluaron las alternativas para la planificación energética del Consejo Popular "Victorino".
4. Las alternativas propuestas fueron: biogás y solar térmica para cocción de alimentos, solar fotovoltaica y eólica para bombeo de agua, la solar térmica para el calentamiento de agua y para la iluminación y aplicaciones eléctrica la energía generada por la red y con grupos electrógenos.

RECOMENDACIONES:

1. Realizar un estudio de optimización para complementar el estudio realizado.
2. Extender el estudio a otros Consejos Populares del territorio.

BIBLIOGRAFÍAS:

- ÁGUILA B., M. A. (2011) Procedimiento Metodológico para identificar Recursos Naturales disponibles para la Generación de Energía en base al proyecto GeVi. *Facultad de Ciencias Agronómicas*. Santiago de Chile, Universidad de Chile.
- ALDOMONTE, H. (2008) América Latina y el Caribe frente a la coyuntura Energética Internacional: Oportunidades para una nueva agenda de políticas. *Seminario Crisis alimentaria y energética: Oportunidades y desafíos para América Latina y el Caribe*.
- BELMONTE, S., FRANCO, F., VIRAMONTE, J. & NÚÑEZ, V. (2009) Integración de las Energías Renovables en proceso de ordenamiento territorial. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13, 1-8.
- BERMUDEZ, L. (2008) Electrificación de zonas rurales aisladas. *Escuela Técnica Superior de Ingeniería*. Madrid, Universidad Pontificia Comillas.
- CASTILLO A., M. J. (2009) Proyecto de inversión para el suministro de electricidad en las comunidades costeras de la península de Santa Elena, mediante la instalación de Molinos de viento. *Facultad de Economía y Negocios*. Guayaquil, Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- CISNEROS, F., GALARZA, L. & SÁENZ, M. (2008) Agua y Energía: Actualidad y futuro. *Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología del Ecuador (SENACYT)*, 1, 1-40.
- COBO C., J. M. (1999) Modelación Energética en el Ecuador. *Ingeniería en Estadística Informática*. Guayaquil, Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- CORREA E., M. (2005) APOYO A LA PROTECCIÓN DEL ECOSISTEMA DE MONTAÑA Y LA ECONOMÍA LOCAL EN LA COMUNIDAD DE VICTORINO. Roma, COOPERACIÓN DESCENTRALIZADA: Comité del PDHL/Cuba de Foligno/Italia; Programa de Pequeñas Donaciones del FMAM y PNUD/ Programa de Desarrollo Humano Local.
- DFID (2000) Hojas Orientativas sobre los Modos de Vida Sostenibles.-Sección 3: Introducción. Extraído en marzo de 2007 desde http://www.livelihoods.org/info/info_quidancesheets.htm.

- FERNÁNDEZ R., A. (2011) Método para localización óptima de centrales de energías renovables. *Departamento de Ingeniería Eléctrica*. Santiago de Chile, Universidad de Chile.
- GONZÁLEZ MORERA, T. (2005) Propuesta de factores para la toma de decisión en proyectos de energización rural en Cuba. . *Mecánica*. Santa Clara, Universidad Central de Las Villas. Cuba.
- HUANG, J., POH, K. & ANG, B. (1995) "Decision analysis in energy and environmental modeling". *Energy*, 20 (9), 843-855.
- IPARRAGUIRRE CARBONELL, E., BELTRÁN CASTILLO, N. & GIL SANTOS, J. C. (2012) Alternativas Energéticas Sostenibles para la comunidad rural "Pozo Blanco", en Jatibonico, Sancti Spíritus. *Revista Infociencia* 16(1), enero-marzo.
- JIMÉNEZ, J. P. & TROMBEN, V. (2006) Política fiscal y bonanza: impacto del aumento de los precios de los productos no renovables en América Latina y el Caribe. *Revista de la CEPAL*, 90, 61-86.
- LAHOUD, G. (2008) Los ejes Energético e Hidrográfico de la Integración Regional Sudamericana. *Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas*, 1-19.
- LOJANO CH., D. I. & RIOS G., O. D. (2013) Análisis técnico-económico para la generación de energía solar fotovoltaica en el Ecuador y su conexión a la red pública, basada en el Artículo 63 de la Regulación No. CONELEC - 004/11. *Ingeniería Eléctrica*. Cuenca, Universidad de Cuenca.
- LÓPEZ, V. (2011) El proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair y la gobernanza energética en la Amazonía ecuatoriana. *DOSSIER Energía y Ambiente*, 8, 1-3.
- MANSILLA, D. (2011) Integración Energética y Recursos Naturales en América Latina. *Revista del Centro Cultural de la Cooperación Floreal Gorini*, 11, 1-15.
- MÁRQUEZ S, M. G., SÁNCHEZ H., G. N., ALBARRÁN O., E. A. & HERNÁNDEZ L., M. V. (2009) Fuentes de energía alternativa: Sistemas fotovoltaicos instalados en las comunidades rurales en la región Andina. *Revista Científica Juvenil*, 7-8, 109-120.
- OLALDE, R., GONZÁLEZ, T., PÉREZ, Y., QUINTANA, C. & CHERNI, J. (2001) IMPACTO DE LA HIDROENERGÍA EN EL DESARROLLO ECONÓMICO

SUSTENTABLE DE COMUNIDADES RURALES AISLADAS. ASPECTOS ESENCIALES DEL ESTUDIO DE CASO EN UNA COMUNIDAD DE CUBA. *Tecnical Articles. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas*

OSORIO R., D. & FRANCO C., C. J. (2011) Impacto del esquema de intercambio de electricidad en la integración energética entre Ecuador, Colombia y Panamá. 9° *Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas*. Bogotá.

PÉREZ DE RADA, M. L. D. L. (2006) Mejora de la calidad del suministro eléctrico mediante monitorización de las centrales híbridas fotovoltaicas para electrificación rural. *Escuela Técnica Superior de Ingeniería*. Madrid, Universidad Pontificia Comillas.

PONCE C., C. (2010) Planificación óptima de la generación en redes de distribución de Energía Eléctrica. *Departamento de Ingeniería Eléctrica*. Zaragoza, Universidad de Zaragoza.

POVEDA, M. (2007) Eficiencia Energética: Recurso no aprovechado. *Organización Latinoamericana de Energía OLADE*, 1-25.

RUIZ, A. (2006) Cooperación e Integración energética en América Latina y el Caribe. *Recursos Naturales e Infraestructura*, 1-84.

ZANONI, J. R. (2005) ¿Qué pueden hacer las políticas energéticas por la integración? *Revista Mexicana de Política Exterior*, 176-184.

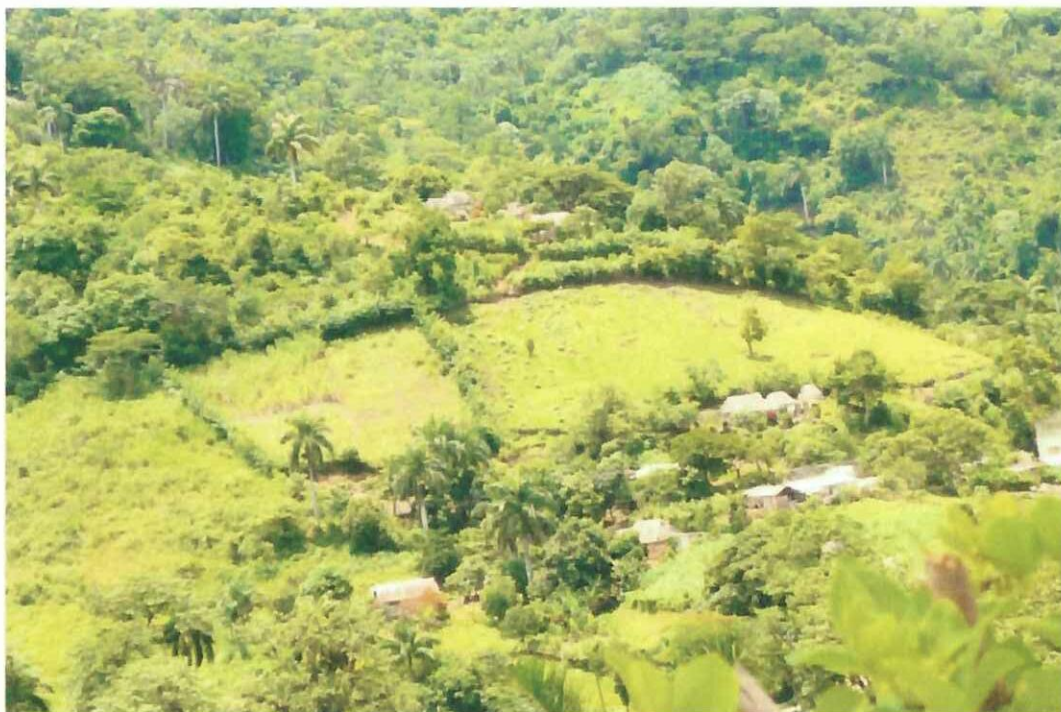
ANEXO 1. POBLADO DE VICTORINO, RIO GUISA



ANEXO 2. POBLADO DE VICTORINO, COLMENAS DE ABEJA




ANEXO 3. POBLADO DE VICTORINO, COMUNIDAD




ANEXO 4. POBLADO DE VICTORINO, HOSPITAL



ANEXO 5. DISPOSITIVOS INSTALADOS

	MINERÍA Y ENERGÍA					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
CONCEPTO						
Molinos de viento	435	482	492	505	337	618
Arietes hidráulicos	27	24	24	24	1	1
Hidroeléctricas	33	33	32	32	32	33
Sistemas solares	-	-	-	-	9	5
Sistemas fotovoltaicos	1.070	1.074	1.074	1.089	1.072	1.478

ANEXO 6. ENERGÍA OBTENIDA POR LOS DISPOSITIVOS

	MINERÍA Y ENERGÍA						Tonelada equivalente de petróleo
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
CONCEPTO							
Total	3.880,5	6.631,9	6.969,4	7.304,4	5.310,6	3.857,3	
Molinos de viento	660,7	783,6	799,9	819,4	398,2	735,6	
Arietes hidráulicos	7,3	26,0	7,3	26,0	-	1,5	
Hidroeléctricas	3.197,2	5.779,1	6.119,0	6.201,6	4.912,4	3.121,7	
Sistemas paneles fotovoltaicos	15,3	43,2	43,2	257,4	139,3	196,5	