



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas



TRABAJO DE DIPLOMA

EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO EN SISTEMAS
ELÉCTRICOS DE POTENCIA

**Estrategia de penetración de recursos energéticos renovables en la provincia
Granma-Cuba, a través de Análisis de Procesos Jerárquicos**

AUTORES: Jaime Fernando Jácome Cadena
Cristian René Paredes Palomeque

TUTORES: Ing. Alain Ariel de la Rosa Andino
Ing. Lázaro Ventura Benítez Leyva

BAYAMO, M. N. – CUBA



Bayamo M.N., 29 de Junio, 2013

En calidad de Directores de Trabajo de Diploma bajo el título de:

“ESTRATEGIA DE PENETRACIÓN DE RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES EN LA PROVINCIA GRANMA-CUBA, A TRAVÉS DE ANÁLISIS DE PROCESOS JERÁRQUICOS” de **Jaime Fernando Jácome Cadena** y **Cristian Rene Paredes Palomeque**, egresados de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, especialidad Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia de la Universidad Técnica de Cotopaxi de Ecuador, considero que el presente proyecto investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aporte científico- técnicos suficientes, por lo que autorizo su presentación del acto de defensa en la **FACULTAD DE CIENCIAS TECNICAS** de la Universidad de Granma, Cuba.



Ing. Prof. Asist. Lázaro Ventura Benítez Leyva
DIRECTOR DE TRABAJO DE DIPLOMA



Ing. Prof. Asist. Alain Ariel de la Rosa Andino
DIRECTOR DE TRABAJO DE DIPLOMA



CERTIFICO DE AUTORÍA Y PUBLICACIÓN

En calidad de directores de Trabajo de Diploma bajo el título de:

ESTRATEGIA DE PENETRACIÓN DE RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES EN LA PROVINCIA GRANMA-CUBA, A TRAVÉS DE ANÁLISIS DE PROCESOS JERÁRQUICOS de **Jaime Fernando Jácome Cadena** y **Cristian Rene Paredes Palomeque**, egresados de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, y posterior al acto final de defensa de su Trabajo de Diploma en la Universidad de Granma, ha sido aceptado por parte del comité editor de la Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, un artículo científico para el proceso de arbitraje y posterior publicación.

Dado en Bayamo M.N.-Cuba, a los 4 días del mes de julio de 2013



Ing. Prof. Asist. Lázaro Ventura Benítez Leyva

DIRECTOR DE TRABAJO DE DIPLOMA



Ing. Prof. Asist. Alain Ariel de la Rosa Andino

DIRECTOR DE TRABAJO DE DIPLOMA

Estudiante: Jaime Fernando Jakome Cadena

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: Dr. Robén Jerez Pereira

Secretario: Dr. Yans Guardia Puebla

Vocal: MSc. Raúl Pacheco Gamboa

Fungiendo como Tutor: Ing. Alain de la Rosa Andino, Ing. Jázaro Benítez Leyva

y como Oponente: MSc. David Verdecia Torres.

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

Estrategia de penetración de recursos energéticos renovables en la Provincia Granma - Cuba; a través de análisis de procesos gerenciales.

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 29 días del mes de junio año 2013



Presidente



Secretario



Vocal

Ejemplar único para archivar en el expediente académico del estudiante.



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: Dr. Rubén Jerez Rivera

Secretario: Dr. Yaus Guardia Puellos

Vocal: MSc. Dabí Pacheco Gamboa

Fungiendo como Tutor: Ing. Alvin de la Rosa Andrao; Ing. Lázaro Benitez Legua

y como Oponente: MSc. David Verdecia Torres

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

Estrategia de penetración de recursos energéticos renovables en la provincia Granma-Cuba, a través de análisis de procesos gerárquicos.

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 29 días del mes de junio año 2013



Presidente



Secretario



Vocal

Ejemplar único para archivar en el expediente académico del estudiante.



OPINIÓN CRÍTICA DEL TUTOR SOBRE EL TRABAJO DE
DIPLOMA

I- DATOS DEL TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Estrategia de penetración de recursos energéticos renovables en la provincia Granma-Cuba, a través de Análisis de Procesos Jerárquicos.

Autores: JAIME FERNANDO JÁCOME CADENA

CRISTIAN RENE PAREDES PALOMEQUE

II- CONTENIDO DE LA OPINIÓN CRÍTICA

Desde el año 2000 se ha incrementado sustancialmente el consumo mundial de energía en todas sus formas. Continúa siendo el petróleo el portador energético más cotizado y ulteriormente del que más se depende. Las energías renovables continúan siendo, comparadas con el petróleo y el carbón, escasamente usadas aunque han tenido una ligera tendencia al alza desde el 2004 hasta el 2010. Este panorama hace que continúe en alza las emisiones de CO₂ y otros gases nocivos productos de la combustión de las fuentes fósiles de energía.

Por tanto, se hace indispensable establecer estrategias energéticas con penetración de fuentes renovables que ayuden a alcanzar la tan soñada sostenibilidad en este rubro.

sin embargo, existen múltiples criterios y procesos que hay que tener en cuenta para establecer estrategias energética con penetración de fuentes renovables, tales como los costos del sistema, las emisiones de gases de efecto invernadero y otros agentes contaminantes, el equilibrio entre oferta y demanda, entre otros muchos factores y criterios. Además, estos procesos y factores, así como sus interacciones, son generalmente complejos y están asociados a incertidumbre que son difíciles de constatar debido a las competencias entre varias opciones del suministro de energía, las tecnologías de conversión y la demanda de sus usuarios finales. Por tanto, se hacen indispensables los modelos energéticos o metodologías que se ajusten al desarrollo de estrategias para la penetración de las energías renovables y este trabajo hace una pequeña contribución al tema.

De este modo, se puede señalar que los estudiantes, autores de este trabajo, mostraron un marcado interés, entrega y esfuerzo para hacer este humilde aporte. De esta manera, manifestaron capacidad y autonomía en las habilidades correspondiente a este tipo de trabajo y esto sugiere que demostraron la hipótesis que se plantearon.

Aunque el trabajo no está exento a presenta algunos errores e insuficiencias, se puede asegurar que, en este Trabajo de Diploma, existe una correcta relación entre el título propuesto y el contenido. Se distribuye teniendo en cuenta la metodología prescrita por la el Departamento de Ciencias Técnicas de la Facultad del mismo nombre, pertenecientes a la Universidad de Granma.


Se muestra en la Introducción una correcta valoración introductoria al tema que se investiga. El problema científico, la hipótesis y el objetivo que pretende la investigación están relacionados fielmente. El objetivo de la investigación tiene relación con las conclusiones finales. También se hace una buena revisión bibliográfica acerca de la actualidad del tema en Cuba y el mundo.

El modo en que se exponen los diferentes puntos visualizados en el cuerpo del documento, son adecuados. La manera en que se presentan los resultados, tienen la profundidad apropiada y se llega a alcanzar los objetivos.

Las conclusiones poseen claridad y son precisas, además son la solución al problema que se plantea. Las recomendaciones están en función del objetivo y muestran la posibilidad de aplicación práctica del trabajo.

De este modo, certificamos el valor de la presente investigación, su importancia económica y medioambiental. Por lo tanto, proponemos a este honorable tribunal que sesiona, que acepte este Trabajo de Diploma **EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.**

Dado en Bayamo M.N., a los 29 días del mes de julio de 2013.



Ing. Lázaro V. Benitez Leyva
TUTOR



Ing. Alain A. de la Rosa Andino
TUTOR

**Opinión crítica del trabajo de Diploma presentado en Opción al título de
Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia.**

Nombre del oponente: Ms.C Ing. David Verdecia Torres

I- DATOS DEL TRABAJO DEL TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Estrategia de penetración de recursos energéticos renovables en la provincia de Granma-Cuba, a través de Análisis de Procesos Jerárquicos.

Autor: Jaime Fernando Jácome Cadena
Cristian Rene Paredes Palomeque

Tutor: Ing. Lázaro Ventura Benítez Leyva
Ing. Alain de la Rosa Andino

II- CONTENIDO DE LA OPINIÓN CRÍTICA.

El trabajo de diploma tiene plena correspondencia entre el Título, Problema Científico, Hipótesis y el objetivo trazado. Está estructurado según la metodología establecida por el Departamento de Ciencias Técnicas, constando de Portada, Contraportada, Resumen, Índice, Introducción, Desarrollo, Materiales y Métodos, Análisis y Discusión de los Resultados, Valoración Económica, Conclusiones y Recomendaciones, con un total de 51 cuartillas de contenido.

La introducción cuenta con 3 páginas haciendo un buen resumen del tema a investigar, planteándose el problema científico, la hipótesis, el objetivo general y los objetivos específicos que se pretenden en la investigación.

En el Capítulo I se aprecia que se ha realizado una profunda revisión bibliográfica acerca de la actualidad del tema tanto a escala internacional como nacional. En él se aborda una reseña sobre los métodos de evaluación de alternativas aplicadas al sector energéticos.

En el capítulo II se describe la tecnología empleada para evaluar la penetración de los recursos energéticos renovables en la provincia.

En el capítulo III se exponen de forma clara y correcta los resultados obtenidos, permitiendo conocer las alternativas energéticas renovables más viables para nuestra provincia.

Las conclusiones son claras y precisas, dando respuesta a la problemática planteada.

La recomendación está en función de la investigación que se desarrolla actualmente y refleja la posibilidad de aplicación práctica del trabajo, en nuestro país.

Las referencias bibliográficas suman un total de 55, donde la mayoría son artículos publicados en revistas de gran prestigio internacional. De ellas 36 son en idioma inglés y 25 son de los últimos 5 años.

Es bueno destacar que el estudiante mostró independencia y seriedad para la ejecución de la tarea planteada, haciendo un uso bastante adecuado de las técnicas de traducción del idioma inglés y de las técnicas avanzadas de computación.

El tema tratado reviste gran importancia para el país se estudia con buena profundidad la aplicación de la metodología para evaluar la penetración de los recursos energéticos renovables en la provincia Granma.

Los errores y señalamientos fueron corregidos antes de la presentación del trabajo.

Teniendo en cuenta el valor científico que posee el trabajo, su actualidad e importancia, calidad de impresión y a que cumple la instrucción 1 del ministro de educación superior; considero que los señalamientos aquí realizados no son invalidantes y le propongo al tribunal que aquí secciona, que se acepte este trabajo de diploma como válido para la culminación de estudios y le sea otorgado al estudiante el Título de Ingeniero en Sistemas Eléctricos.



Ms.C/Ing.David Verdecia Torres

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

INGENIERÍA ELÉCTRICA**Estrategia de evaluación de recursos energéticos usando Análisis de Procesos Jerárquicos en la provincia Granma-Cuba****AUTORES:** Fernando Jácome Cadena

Cristian Paredes Palomeque

TUTORES: Ing. Alain Ariel de la Rosa Andino

Ing. Lázaro Ventura Benítez Leyva

FECHA: Del 26 de Marzo al 25 de Abril**INFORME**

Después de expresarle un atento y cordial saludo desde la Universidad de GRANMA-CUBA, me permito poner en su conocimiento los avances obtenidos en nuestro primer mes en estancia en Cuba para la cual detallaremos las actividades realizadas y avances con nuestra tesis, es satisfactorio mencionar que estamos cumpliendo con las actividades planteadas por parte de las autoridades de la Universidad de Granma y el Departamento de Ciencias Técnicas.

FECHA	ACTIVIDAD
26/03/2013	Presentación oficial con las autoridades de la Universidad de Granma.
26/03/2013	Reunión con el Departamento de Ciencias Técnicas y

	Análisis de factibilidad del tema seleccionado.
08/04/2013	Elaboración de la propuesta del tema para presentar al tribunal del Departamento de Ciencias Técnicas.
11/04/2013	Reunión con los tutores para el desarrollo del tema. Problema científico aprobado por parte de los tutores para lo cual seguimos con la metodología a seguir en el tema planteado.
15/04/2013	Revisión de la metodología de investigación por parte de los tutores, falta de información bibliográfica. Pre defensa del tema de investigación. Corrección de la metodología de investigación.
18/04/2013	Revisión y corrección de la factibilidad de la hipótesis del problema científico.
19/04/2013	Análisis de la metodología del tema de tesis previo a la defensa con el Vicedecano de Investigación y Postgrado y los tutores del Departamento de Ciencias Técnicas.
20/04/2013	Discusión de los temas propuestos por los estudiantes en busca de una solución objetiva por la falta de información bibliográfica.
21/04/2013	Cambio de tema por parte de los estudiantes y los tutores del Departamento de Ciencias Técnicas, por tal motivo la unión de dos estudiantes para la elaboración del tema de mejor manera.

El trabajo de diploma para la culminación de estudios se encuentra en el inicio del capítulo primero. Este versa en el desarrollo de un modelo matemático (Análisis de Procesos Jerárquicos) aplicando las técnicas de programación matemática con el fin de definir una estrategia de penetración de energías renovables en la provincia de Granma. Actualmente se encuentra en la revisión bibliográfica de los principales modelos utilizados en la planificación energética.

Sin más asunto que tratar.


Fernando Jácome Cadena
DIPLOMANTE


Cristian Paredes Palomeque
DIPLOMANTE


Ing. Lázaro Ventura Benítez Leyva
TUTOR




Ing. Rubén Jerez Pereira, Dr.C.
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS TÉCNICAS


Ing. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES EXTERIORES



BAYAMO, M. N. – CUBA

2013

“Año 55 de la Revolución”

LATACUNGA – ECUADOR



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE GRANMA**



Facultad de Ciencias Técnicas - Departamento de Ciencias Técnicas.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

INGENIERÍA ELÉCTRICA

**Estrategia de evaluación de recursos energéticos usando Análisis de
Procesos Jerárquicos en la Provincia Granma-Cuba**

AUTORES: Fernando Jácome Cadena y Cristian Paredes Palomeque

TUTORES: Ing. Alain Ariel de la Rosa Andino e Ing. Lázaro Ventura Benítez Leyva

INFORME

Bayamo M.N. (Cuba), 29 de Abril del 2013

Después de expresarle un atento y cordial saludo desde la Universidad de GRANMA-CUBA, me permito poner en su conocimiento los avances obtenidos en nuestro primer mes en estancia en Cuba para la cual detallaremos las actividades realizadas y avances con nuestra tesis.

Descripción:

Mediante el previo análisis de los temas propuestos por parte de los estudiantes y por falta información bibliográfica por los temas mencionados anteriormente se ha discutido para plantear un nuevo tema que venga acorde con lo de especialidad de los estudiantes.

El trabajo de diploma para la culminación de estudios se encuentra en el inicio del capítulo primero. Este versa en el desarrollo de un modelo matemático (Análisis de Procesos Jerárquicos) aplicando las técnicas de programación matemática con el fin de definir una estrategia de penetración de energías renovables en la provincia de Granma. Actualmente se encuentra en la revisión bibliográfico de los principales modelos utilizados en la planificación energética.

Sin más asunto que tratar.



Fernando Jácome Cadena
DIPLOMANTE



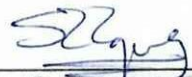
Cristian Paredes Palomteque
DIPLOMANTE



Ing. Lázaro Ventura Benítez Leyva
TUTOR



Ing. Rubén Jerez Pereira, Dr.C.
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS TÉCNICAS



Ing. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES EXTERIORES



BAYAMO, M. N. – CUBA

2013

“Año 55 de la Revolución”

LATACUNGA – ECUADOR

2013

Facultad de Ciencias Técnicas - Departamento de Ciencias Técnicas.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

INGENIERÍA ELÉCTRICA

Estrategia de penetración de recursos energéticos renovables en la provincia Granma aplicando un Análisis de Procesos Jerárquicos.

AUTORES: Fernando Jácome Cadena

Cristian Paredes Palomeque

TUTORES: Ing. Alain Ariel de la Rosa Andino

Ing. Lázaro Ventura Benítez Leyva

FECHA: Del 25 de Abril al 09 de Mayo

Después de expresarle un atento y cordial saludo desde la Universidad de GRANMA-CUBA, me permito poner en su conocimiento los avances obtenidos en nuestro segundo mes en estancia en Cuba para la cual detallaremos las actividades realizadas y avances con nuestra tesis, es satisfactorio mencionar que estamos cumpliendo con las actividades planteadas por parte de las autoridades de la Universidad de Granma y el Departamento de Ciencias Técnicas.

FECHA	ACTIVIDAD
25/04/2013	Revisión y Corrección del Planteamiento del Tema. Objetivos planteados para la discusión del tema.
	Empezamos a trabajar en equipo aprovechando al máximo

01/05/2013	Revisión de los métodos utilizados para estrategias energéticas.
02/05/2013	Análisis por parte de los diplomantes y el tutor estableciendo una diferencia entre métodos y modelos para las estrategias energéticas
03/05/2013	Reunión con los tutores para el avance del tema. Exposición ante los tutores de los métodos utilizados para las estrategias energéticas.
04/05/2013	Tareas dirigidas por parte de los tutores. Análisis de los métodos resaltando las partes más importantes para la discusión en el Primer Capítulo.
05/05/2013	Revisión del marco teórico y separación por medio de citas bibliográficas.
08/05/2013	Presentación de una tesis a cargo de un Ingeniero del Departamento de Ciencias Técnicas de la Universidad de Granma.
09/05/2013	Explicación global del avance del tema en base a las tareas dirigidas por parte de los tutores.

Mediante el cambio de tema nos hemos encaminado a buscar fuentes bibliográficas para la elaboración de nuestro tema de tesis, dentro de lo cual ha sido muy satisfactorio porque podemos encontrar mayor información con estos nuevos temas.

Además de ser temas renovables dentro de las estrategias de planificación energética, serán de gran utilidad para la provincia de Granma dentro de las energías renovables mediante el Análisis de Procesos Jerárquicos.



Fernando Jácome Cadena
DIPLOMANTE



Cristian Paredes Palomeque
DIPLOMANTE



Ing. Alain Ariel de la Rosa Andino
TUTOR



Ing. Rubén Jerez Pereira, Dr.C.
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS TÉCNICAS



Ing. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES EXTERIORES

BAYAMO, M. N. – CUBA
2013

“Año 55 de la Revolución”
LATACUNGA – ECUADOR



Facultad de Ciencias Técnicas - Departamento de Ciencias Técnicas.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

INGENIERÍA ELÉCTRICA

Estrategia de penetración de recursos energéticos renovables en la provincia Granma aplicando un Análisis de Procesos Jerárquicos.

AUTORES: Fernando Jácome Cadena

Cristian Paredes Palomeque

TUTORES: Ing. Alain Ariel de la Rosa Andino

Ing. Lázaro Ventura Benítez Leyva

FECHA: Del 10 de Mayo al 22 de Mayo

Después de expresarle un atento y cordial saludo desde la Universidad de GRANMA-CUBA, me permito poner en su conocimiento los avances obtenidos en nuestra estancia en Cuba para la cual detallaremos las actividades realizadas y avances con nuestra tesis, es satisfactorio mencionar que estamos cumpliendo con las actividades planteadas por parte de las autoridades de la Universidad de Granma y los tutores encargados del Departamento de Ciencias Técnicas.

FECHA	ACTIVIDAD
-------	-----------

	caracterización dentro de las energías renovables.
16/05/2013	<p>Tareas dirigidas sobre los modelos de los Procesos Jerárquicos.</p> <p>Análisis la importancia, utilidad y su aplicación de cada uno de los modelos para la determinación de estrategias energéticas.</p>
17/05/2013	<p>Discusión por parte de los tutores y diplomantes sobre las tareas dirigidas para la formación de la presentación del Primer Capítulo.</p>
18/05/2013	<p>Preparación de la Presentación para la defensa del Primer Capítulo ante el tribunal del Departamento de Ciencias Técnicas.</p>
20/05/2013	<p>Pre Defensa ante los tutores sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Introducción • Problema Científico • Hipótesis • Objetivo General • Objetivos Específicos • Primer Capítulo “ Métodos y Modelos para el Análisis de Procesos Jerárquicos”
21/05/2013	<p>Estudiar para la defensa sobre el avance del Primer Capítulo ante el Tribunal del Departamento de Ciencias Técnicas.</p>
	<p>Defensa del avance de la tesis del Primer Capítulo ante los</p>

Cabe recalcar que se está cumpliendo satisfactoriamente con el cronograma propuesto por parte de los estudiantes de Ingeniería Eléctrica y Electromecánica y los tutores del Departamento de Ciencias Técnicas dentro de lo cual después de la defensa del Primer Capítulo resolvieron impartir indicaciones generales para las próximas presentaciones, para lo cual tuvimos una buena aceptación con el avance de la tesis.



Fernando Jácome Cadena
DIPLOMANTE



Cristian Paredes Palomeque
DIPLOMANTE



Ing. Alain Ariel de la Rosa Andino
TUTOR



Ing. Rubén Jerez Pereira, Dr.C.
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS TÉCNICAS



Ing. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES EXTERIORES



BAYAMO, M. N. – CUBA

2013

“Año 55 de la Revolución”

LATACUNGA – ECUADOR

Facultad de Ciencias Técnicas - Departamento de Ciencias Técnicas.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

INGENIERÍA ELÉCTRICA

Estrategia de penetración de recursos energéticos renovables en la provincia Granma aplicando un Análisis de Procesos Jerárquicos.

AUTORES: Fernando Jácome Cadena

Cristian Paredes Palomeque

TUTORES: Ing. Alain Ariel de la Rosa Andino

Ing. Lázaro Ventura Benítez Leyva

FECHA: Del 23 de Mayo al 07 de Junio

Después de expresarle un atento y cordial saludo desde la Universidad de GRANMA-CUBA, me permito poner en su conocimiento los avances obtenidos en nuestra estancia de estudios de diplomantes en Cuba para la cual detallaremos las actividades realizadas y avances con nuestra tesis, es satisfactorio mencionar que estamos cumpliendo con las actividades planteadas por parte de las autoridades de la Universidad de Granma y el Departamento de Ciencias Técnicas.

FECHA	ACTIVIDAD
23/05/2013	<ul style="list-style-type: none">• Revisión de la presentación de la defensa realizada anteriormente ante las Autoridades del Departamento de Ciencias Técnicas.• Breves indicaciones sobre los pequeños errores

24/05/2013	en base al Primer Capítulo y seguir trabajando con el avance de la tesis.
27/05/2013	Simplificación sobre los Métodos y Modelos para las estrategias de planificación energética dentro del Análisis de Procesos Jerárquicos.
28/05/2013 al 31/05/2013	Tareas dirigidas a cargo del Ing. Lázaro Ventura Benítez. <ul style="list-style-type: none"> • Investigación de Campo. • Leer Artículos sobre Análisis de Procesos Jerárquicos. • Investigar en internet temas que tengan relación con el tema de tesis planteado.
03/06/2013	<ul style="list-style-type: none"> • Reunión con el Ing. Lázaro Benítez y Alain de la Rosa para una revisión sobre el avance de la tesis. • Breve explicación sobre el Método AHP "Análisis de Procesos Jerárquicos" para darle mayor jerarquía en su estudio dentro de las energías renovables.
04/06/2013	Pre Defensa ante los tutores sobre: <ul style="list-style-type: none"> • Introducción • Primer Capítulo " Métodos y Modelos para el Análisis de Procesos Jerárquicos" • Explicación del Método AHP.
05/06/2013	Estudiar para la defensa sobre el Análisis de Procesos Jerárquicos "AHP" ante el Tribunal del Departamento de Ciencias Técnicas.

Dentro de las actividades planteadas por parte de los diplomantes se han ido realizando satisfactoriamente, para lo cual ha existido una aceptación positiva por parte de los tutores del Departamento de Ciencias Técnicas, y las Autoridades de Investigación de la Universidad de Granma que conforman cada uno de los tribunales en las diferentes presentaciones en base al avance de nuestra tesis.



Fernando Jácome Cadena
DIPLOMANTE



Cristian Paredes Palomeque
DIPLOMANTE



Ing. Lázaro Ventura Benítez Leal
TUTOR



Ing. Rubén Jerez Pereira, Dr.C.
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS TÉCNICAS



Ing. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES EXTERIORES

BAYAMO, M. N. – CUBA

2013

“Año 55 de la Revolución”

LATACUNGA – ECUADOR

2013





MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

UNIVERSIDAD DE GRANMA

Facultad de Ciencias Técnicas - Departamento de Ciencias Técnicas.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

INGENIERÍA ELÉCTRICA

Estrategia de penetración de recursos energéticos renovables en la provincia Granma aplicando un Análisis de Procesos Jerárquicos.

AUTORES: Fernando Jácome Cadena

Cristian Paredes Palomeque

TUTORES: Ing. Alain Ariel de la Rosa Andino

Ing. Lázaro Ventura Benítez Leyva

FECHA: Del 10 de Junio al 25 de Junio

INFORME

Después de expresarle un atento y cordial saludo desde la Universidad de GRANMA-CUBA, me permito poner en su conocimiento los avances obtenidos en nuestra estancia de estudios de diplomantes en Cuba para la cual detallaremos las actividades realizadas y avances con nuestra tesis, es satisfactorio mencionar que estamos cumpliendo con las actividades planteadas por parte de las autoridades de la Universidad de Granma y el Departamento de Ciencias Técnicas.

FECHA	ACTIVIDAD
-------	-----------

11/06/2013	Revisión Bibliográfica con los tutores para el análisis de los posibles resultados para el Análisis de Procesos Jerárquicos.
12/06/2013	Simplificación de la Presentación de Power Point a cargo del Ing. Lázaro Ventura Benítez y los diplomantes con el propósito de ajustar el tiempo establecido por parte del tribunal del Departamento de Ciencias Técnicas.
13/06/2013 al 16/06/2013	Tareas dirigidas a cargo del Ing. Lázaro Ventura Benítez. <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de resultados a cargo de expertos con el Análisis de Procesos Jerárquicos y Diplomantes. • Investigación de campo de los resultados obtenidos en la Provincia de Granma.
17/06/2013	<ul style="list-style-type: none"> • Reunión con el Ing. Lázaro Benítez y Alain de la Rosa para una revisión sobre el avance de los resultados obtenidos en la Provincia Granma. • Breve explicación mediante un previo análisis de los resultados obtenidos para la verificación del Método AHP “Análisis de Procesos Jerárquicos” dentro de las energías renovables.
19/06/2013 al 21/06/2013	Tareas dirigidas por parte de expertos en el AHP y el Ing. Lázaro Ventura Benítez. <ul style="list-style-type: none"> • Estudiar el Análisis de Procesos Jerárquicos • Análisis de posibles conclusiones con los resultados obtenidos en la provincia de Granma.
	<ul style="list-style-type: none"> • Correcciones de la presentación de Power Point

26/06/2013

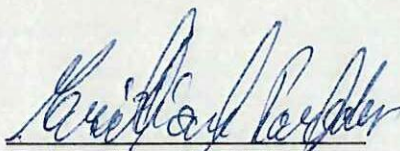
Pre Defensa de la tesis sobre Estrategia de penetración de recursos energéticos renovables en la provincia Granma aplicando un Análisis de Procesos Jerárquicos ante el Tribunal, Tutores de los Diplomantes de Ingeniería Eléctrica y el Vice Decano de Investigación.

Observaciones

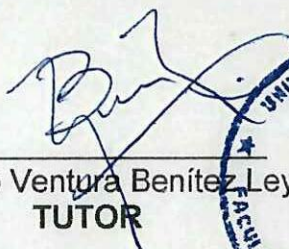
Dentro de las actividades planteadas se han ido realizando satisfactoriamente, para lo cual ha existido una aceptación positiva por parte del tribunal del Departamento de Ciencias Técnicas, y las Autoridades de Investigación de la Universidad de Granma para la finalización de este proyecto.



Fernando Jácome Cadena
DIPLOMANTE



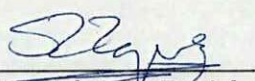
Cristian Paredés Palomeque
DIPLOMANTE



Ing. Lázaro Ventura Benítez Leyva
TUTOR



Ing. Rubén Jerez Pereira, Dr.C.
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS TÉCNICAS



Ing. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES EXTERIORES



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

INGENIERÍA ELÉCTRICA

Estrategia de penetración de recursos energéticos renovables en la provincia Granma-Cuba, a través de Análisis de Procesos Jerárquicos.

AUTORES: Fernando Jácome Cadena

Cristian Paredes Palomeque

TUTORES: Ing. Alain Ariel de la Rosa Andino

Ing. Lázaro Ventura Benítez Leyva

FECHA: Del 26 de Junio al 29 de Junio

Después de expresarle un atento y cordial saludo desde la Universidad de GRANMA-CUBA, me permito poner en su conocimiento los avances obtenidos en nuestra estancia de estudios de diplomantes en Cuba para la cual detallaremos las actividades realizadas y avances con nuestra tesis, es satisfactorio mencionar que hemos cumplido con las actividades planteadas por parte de las autoridades de la Universidad de Granma y el Departamento de Ciencias Técnicas

26/06/2013	autoridades del Departamento de Ciencias Técnicas y los Tutores a cargo del trabajo de tesis.
27/06/2013	Corrección completa y definitiva del trabajo de tesis para su defensa definitiva ante las autoridades del Tribunal de Defensa y Opositor.
28/06/2013	Impresión y empastado de la tesis para la defensa definitiva ante las autoridades del Tribunal de Defensa y Opositor.
29/06/2013	Defensa definitiva del trabajo de tesis cumpliendo así satisfactoriamente con el objetivo propuesto.

Observaciones

Dentro de las actividades planteadas por parte de los diplomantes se han realizado satisfactoriamente, para lo cual ha existido una aceptación positiva por parte de los tutores del Departamento de Ciencias Técnicas, y las Autoridades de Investigación de la Universidad de Granma que conforman cada uno de los tribunales en las diferentes presentaciones en base al avance de nuestra tesis.

Fernando Jácome Cadena
DIPLOMANTE

Cristian Paredes Palomeque
DIPLOMANTE



Ing. Lázaro Ventura Benítez Leyva
TUTOR

Ing. Rubén Jerez Pereira, Dr.C.
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS TÉCNICAS



Ing. Sergio Rodríguez Rodríguez
DIRECTOR DE RELACIONES EXTERIORES

BAYAMO, M. N. – CUBA

2013

“Año 55 de la Revolución”

LATACUNGA – ECUADOR

2013

“Por la vinculación de la Universidad con el Pueblo”

A Dios Todopoderoso por ser la luz que guía mi camino, por brindarme salud y fortaleza para cumplir con el sueño tan anhelado en mi vida, culminar con mis estudios universitarios.

A mi querida y amada madre María Cadena por brindarme su cariño amor y sabiduría, y a mi querido padre Jaime Jácome por brindarme su apoyo y sus consejos para poder ser una persona con buenos valores.

A toda mi querida familia por el apoyo incondicional que mostraron a lo largo de mi vida universitaria, que sin la ayuda de todos ustedes no podría haber hecho realidad mi más anhelado sueño.

Quiero también dedicar este trabajo de tesis a la persona que siempre estuvo conmigo a cada instante y me brindo su apoyo y paciencia en todo lo que me propuse y es mi enamorada Norma Elizabeth Mullo gracias por apoyarme siempre.

A mis amigos y a todas personas que me brindaron todo el apoyo para poder sobresalir adelante con todas mis metas propuestas a lo largo de mi carrera profesional.

Fernando Jácome Cadena

A Dios todopoderoso por darme salud y las fuerzas necesarias para poder hacer realidad la culminación de mis estudios.

Gracias a mi querida Madre María Cadena y mi querido Padre Jaime Jácome por brindarme su apoyo incondicional amor y sabiduría y formar un hijo con grandes virtudes, por estar siempre a mi lado en los momentos importantes y difíciles de mi vida.

A mí querida hermana Lizbeth que más que eso mi mejor amiga y a mi pequeña sobrina Alejandra, fuentes de inspiración y de gran apoyo dentro de mi carrera profesional.

A mis abuelitas Luz María y Rosa Matilde que siempre me brindaron sus concejos e inculcaron buenos valores.

Y a toda mi querida familia, que han estado siempre presentes en todo momento, apoyándome en las decisiones que he tomado en mi vida, y que de una u otra manera han contribuido para hacer realidad mi más anhelado sueño.

Al estimado Ing. Lázaro Ventura Benítez Leyva, por haber aceptado ser el guía principal en la realización de nuestro proyecto y ser de gran apoyo con sus conocimientos para formar verdaderos profesionales dentro de nuestra carrera.

Al Ing. Alain Ariel de la Rosa Andino, por su apoyo y ayuda incondicional dentro de la culminación de nuestro diplomado.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por haberme formado como profesional y a la Universidad de Granma, al Departamento de Ciencias Técnicas por concederme la oportunidad de finalizar con éxito mi carrera universitaria.

DEDICATORIA

Hay desenlaces que marcan nuestra vida; como las experiencias, los recuerdos que día a día imprimen un sentimiento íntimo gravado en el corazón difícil de olvidar, porque la mente olvida pero el corazón no.

Dedico esta tesis, primero a dios, por permitirme complementar la belleza de cada mañana tarde y noche; a mis padres quienes con mucho cariño y con su grandeza de espíritu supieron darme su mano generosa y amorosa, como también encontrado su apoyo moral y firme.

A mis amigos, y personas allegadas quienes me supieron brindar su apoyo y sus consejos, por que pude descubrir que cada decisión que uno toma con responsabilidad marca siempre las páginas de nuestra vida.

Cristian Paredes Palomeque

Dios ha creado al ser humano a su imagen y semejanza es por esto que me ha iluminado y guiado y también me ha permitido de esta manera que mis objetivos se cumplan a satisfacción y por esto quiero expresar mi infinito agradecimiento a:

La Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus docentes que impartieron en las aulas todos sus conocimientos y valores permitiendo así una formación integral.

A la Universidad de Gramma quien me abrió sus puertas y que a través de la Facultad de Ciencias Técnicas, permitieron finalizar este trayecto bajo valores y principios que serán fundamentales en el comienzo de mi vida profesional.

Al Ing. Lázaro Ventura Benítez Leiva y a nuestro cotutor al Ing. Alain Ariel de la Rosa Andino, por creer en mí y brindarme sus sabios conocimientos y el apoyo desinteresado y oportuno para la culminación de esta investigación.

A mis padres Rene Paredes y Liliana Palomeque que con su invaluable apoyo permitieron que cada desafío se convierta en un logro durante el trayecto de mi vida universitaria.

Quiero también dedicar este trabajo de tesis a la persona que siempre estuvo conmigo a cada instante y me brindó su apoyo y paciencia en todo lo que me propuse y es mi enamorada Telma G. Dávila gracias por apoyarme siempre.

Dedico también a las personas que me apoyaron en toda mi trayectoria académica hasta el final gracias por crear en mis capacidades intelectuales.

Cristian Paredes Palomeque

La toma de decisiones se presenta como un problema complejo debido a que se tienen en cuenta múltiples criterios, que muchas veces están en conflicto, frente a múltiples opciones a determinar. Por otro lado, los decisores muchas veces no se ponen de acuerdo a causa de esto. En la selección de nuevas fuentes energéticas para un país, región o localidad, los criterios están en conflicto y se hace complejo determinar las opciones de mayor preferencia y prioridad basadas en criterios económicos, sociales, medioambientales, técnicos, etc. En el presente trabajo, se trata en definir una estrategia de penetración de fuentes energéticas renovables con criterios que están en conflicto. Para esta labor se utilizó una metodología matemática denominada Análisis de Procesos Jerárquicos. Según los expertos, apoyados por esta metodología, las alternativas energéticas de mejor desempeño para la provincia Granma son: *Eólica para el bombeo de agua, Solar Fotovoltaica para el bombeo de agua, Solar térmica para el sector que demanda agua caliente y Solar fotovoltaica para el sector eléctrico*, en ese orden de prioridad.

criteria, which are often in conflict, facing multiple options to determine. On the other hand, decision makers often do not agree because of this. In selecting new energy sources for a country, region or locality, the criteria are in conflict and it is difficult to determine the most preferred options and priority criteria based on economic, social, environmental, technical, etc. In this paper, it is to define a strategy of penetration of renewable energy sources with conflicting criteria. For this work we used a mathematical methodology called Hierarchical Process Analysis. According to experts, supported by this methodology, the best performing energy alternatives for Granma province are: *Wind for pumping water, PV for water pumping, Solar thermal for hot water sector and demand for Solar PV electricity sector*, in that order of priority.

1.1.1 La planificación energética para lograr la sostenibilidad	6
1.1.2 La planificación energética a través de fuentes de energías renovables	8
1.2 Metodologías multi-criteriales utilizadas para la planificación energética	8
1.2.1 Métodos multicriteriales utilizados en la planificación energética	10
1.2.1.1 El método ELECTRE	11
1.2.1.2 El método VIKOR	12
1.2.1.3 El método PROMETHEE	13
1.2.1.4 El método TOPSIS	13
1.2.1.5 La Programación Compromiso	14
1.2.1.6 El método AHP	15
1.2.2 Modelos de planificación energética para la penetración de las energías renovables	15
1.2.2.1 El modelo EFOM	16
1.2.2.2 El modelo OREM	17
1.2.2.3 El modelo MPEEE	18
1.2.2.4 El modelo PAMER	18
1.2.2.5 El modelo SEMA	19
1.2.2.6 El modelo HOMER	20
1.2.2.7 El modelo SURE	21
1.2.2.8 El modelo NAIADE	21
Capítulo II. Materiales y métodos	23
2.1 Caso de estudio	23
2.2 Necesidad del AHP como herramienta de ayuda en estrategias energéticas	23
2.2.1 Análisis Jerárquico de Procesos	24
2.2.2 Base matemática del AHP	25
2.2.3 Matriz de comparaciones pareadas	26
2.2.4 Procedimiento para sintetizar juicios	27
2.2.5 Matriz de prioridades	27
2.2.5 Criterios tenidos en cuenta para evaluar las alternativas	31
2.3 Puntos de vistas a tener en cuenta para evaluar los criterios	32
2.4 Alternativas energéticas tenidas en cuenta	34
Capítulo III. Análisis y discusión de los resultados	35
3.1 Evaluación de la importancia relativa de los criterios respecto a varios puntos de vistas	35
3.2 Evaluación de las alternativas respecto a cada criterio	38
3.4 Definición de las alternativas adecuadas para la provincia	41
3.4.1 Alternativas adecuadas según el nivel de jerarquía de los criterios	43
Conclusiones	44
Recomendaciones	45
Bibliografía	46

mayor alcance en el mundo detrás de la demanda de energía. Desde 1900 la población mundial ha crecido más de cuatro veces, la renta ha crecido por un factor de 25 y el consumo de energía primaria por un factor de 22,5 (BP, 2011).

Desde el año 2000 hasta el 2010 se ha incrementado el consumo mundial de energía en todas sus formas. Continúa siendo el petróleo el portador energético más cotizado y ulteriormente del que más se depende. Las energías renovables continúan siendo, comparadas con el petróleo y el carbón, escasamente usadas aunque han tenido una ligera tendencia al alza desde el 2004 hasta el 2010.

Debido que el sector energético es el eje central para la resolución del problema del cambio climático, se le presta particular atención, esto último se reconoce como uno de los desafíos que enfrenta el mundo en el siglo XXI. Las emisiones relacionadas con la energía convencional (incluyendo la energía usada en el transporte) explican dos tercios de las emisiones del gas de efecto invernadero y contribuyen sobre el 80% de emisiones mundiales del CO₂. La energía también explica alrededor de la mitad de las emisiones globales del metano (WEC, 2007).

Por otro lado, la energía produce crecimiento económico y calidad de vida. Por todas estas razones, es imperativo cambiar el paradigma creado durante tanto tiempo. La energía necesita ser un sector a disposición de todos y producida de manera sostenible y local. Esto advierte que se necesita lograr una sostenibilidad en el consumo de los recursos locales para garantizar un suministro estable de energía (Pinell, 2004).

De lo anterior, se puede resaltar un concepto que menciona Ocaña (2004), citando a la World Commission on Environment Development (1987), y es que la sostenibilidad es el satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las oportunidades de las futuras generaciones de satisfacer las suyas. Por tanto, la sostenibilidad consiste en asignar de manera adecuada los recursos económicos, medioambientales y sociales para asegurar la calidad de las decisiones debido a la

economía mundial. Por un lado, las fuentes de energía explotadas son fundamentalmente no renovables y, por el otro, la generación de energía se realiza mayoritariamente a través de procesos contaminantes. Es por esto que las principales medidas de la política medioambiental concernientes al sector energético se han centrado en dos ámbitos: el fomento de prácticas encaminadas a lograr el mayor grado de ahorro y de eficiencia energética, y el apoyo a la generación de energía mediante fuentes alternativas más respetuosas con el entorno (Piñeiro y Romero, 2001).

Todo esto se logra a través de la planificación energética apoyadas por modelos y metodologías que ayuden a la toma de decisiones en este rubro que se han estado desarrollando con los años. Durante los años 1970, los esfuerzos fueron dirigidos principalmente en modelos de energía para investigar la relación entre la energía y la economía, tuvieron como objetivo el pronosticar la demanda energética. Durante los años 1980, las preocupaciones medioambientales cada vez mayores, cambiaron el diseño de los patrones de la decisión para incluir las implicaciones medioambientales y sociales en la planificación energética (Nijcamp y Volwahren, 1990).

Después de la crisis del petróleo de 1973 los sistemas de energía renovables (RES, por sus siglas en inglés) y la eficiencia energética (EE) fueron consideradas energías mixtas. Hoy en día, se promueven las RES y la EE por todo el mundo en una variedad de aplicaciones; sin embargo, su puesta en práctica todavía no está al nivel previsto. Esto hace que los planificadores de la energía reajusten constantemente su estrategia energética y desarrollan medidas para el despliegue y la puesta en práctica de estas tecnologías (Brownstein, 2009).

Por otro lado, existen múltiples criterios y procesos que hay que tener en cuenta para planificación energética y definición de estrategias por medio de fuentes renovables, tales como los costos del sistema, las emisiones de gases de efecto invernadero y otros agentes contaminantes, el equilibrio entre oferta y demanda,

opciones del suministro de energía, las tecnologías de la conversión y la demanda de sus usuarios finales (Cai et al., 2009). Por tanto, se hacen indispensables los modelos energéticos o metodologías que se ajusten al desarrollo de estrategias para la penetración de las energías renovables.

Problema científico

¿Cómo establecer una estrategia de penetración de energías renovables en la provincia Granma, Cuba?

Hipótesis

Es viable aplicar un procedimiento matemático utilizando Análisis Jerárquico de Procesos para establecer una estrategia de penetración de las energías renovables en la provincia de Granma, Cuba.

Objetivo general

Aplicar un procedimiento matemático utilizando Análisis Jerárquico de Procesos que permita establecer una estrategia de penetración de las energías renovables en la provincia Granma, Cuba.

Objetivos específicos

Revisar la bibliografía existente sobre las metodologías y modelos utilizados para el desarrollo de estrategias energéticas.

Determinar una metodología aplicable para establecer una estrategia de penetración de fuentes renovables de energía en la región estudiada.

Establecer una estrategia energética para la penetración de fuentes renovables más adecuadas.

y Romero, 2001), por lo que existe una necesidad acuciante de mantener el modo de vida actual y subordinado a esto el suministro de energía cada vez más caracterizado por su uso irracional. Hoy día se necesita encontrar un nuevo patrón, que brinde confianza y seguridad en los suministros energéticos.

Una de las mayores preocupaciones del siglo XXI es la energía, lo que se puede resumir en unas cuantas preguntas: ¿cuánto tiempo el mundo podrá sostener el consumo actual de recursos como el petróleo? o, ¿cuáles son las maneras de prevenir una crisis energética o un aumento de los costos de los combustibles?, del mismo modo, ¿por qué la seguridad energética y la calidad de vida de una nación depende necesariamente del petróleo?, ¿pueden las alternativas energéticas renovables desarrollarse rápidamente y sustituir el petróleo? y finalmente, ¿cuán profundas son las consecuencias de la producción de energía para el medioambiente y su uso, y qué se puede hacer al respecto? (Anne, 2007).

Una respuesta a estas interrogantes podría ser practicar una adecuada administración de los recursos energéticos disponibles y una correcta selección de las tecnologías de conversión (James y van Groenendaal, 2003), unido a esto, la utilización de los recursos renovables, limpios, amigables con el medioambiente y la sociedad (Turrini, 2006).

1.1 La planificación energética, conceptos y objetivos

La planificación energética, y las metodologías soporte a las decisiones en este rubro, se han estado desarrollando con los años. Durante los años 1970, los esfuerzos fueron dirigidos principalmente en modelos de energía para investigar la relación entre la energía y la economía, tuvieron como objetivo el pronosticar la demanda energética. Durante los años 1980, las preocupaciones medioambientales cada vez mayores, cambiaron el diseño de los patrones de la decisión para incluir las implicaciones medioambientales y sociales en la planificación energética (Nijcamp y Volwahren, 1990).

mixtas. Hoy en día, se promueven las RES y la EE por todo el mundo en una variedad de aplicaciones; sin embargo, su puesta en práctica todavía no está en el nivel previsto. Esto hace que los planificadores de la energía reajusten constantemente su estrategia energética y desarrollan medidas para el despliegue y la puesta en práctica de estas tecnologías (Brownstein, 2009).

La estructura energética moderna es compleja y tiene muchos aspectos. Por tanto se debe considerar la planificación energética y ésta debe tener en cuenta aspectos importantes como la seguridad energética, el equilibrio entre la oferta y demanda, las restricciones medioambientales, restricciones socioeconómicas, el desarrollo sostenible, así como las emisiones de gases que producen el efecto invernadero, etc. (Andrews y Govil, 1995). Hay que tener como premisa que la energía, en los aspectos medioambientales, provoca un nivel alto de incertidumbres en el momento de la planificación energética a largo plazo, por lo que el monto de la inversión aumenta. Así, el desarrollo de una estrategia energética acertada se está convirtiendo en algo cada vez más complejo (Huang et al., 1995).

Uno de los problemas más comunes de la planificación energética, para un sistema determinado, es elegir la distribución más conveniente entre varias fuentes energéticas y tecnologías de transformación. Las alternativas energéticas pueden ser basadas en fuentes renovables, el ahorro de energía o el uso de las fuentes convencionales en los sectores industrial y residencial. De esta manera, autores como Beccali definen a la planificación energética como un estudio de la oferta y la demanda, una predicción de las tendencias de los gastos y la producción de energía, basados en modelos económicos y tecnológicos (Beccali et al., 2003).

De igual modo, Kaya y Kahraman (2010) plantean que la toma de decisiones en la planificación energética implica un proceso de balancear criterios ecológicos, sociales, técnicos, y económicos en un espacio dado y durante un tiempo determinado. Este equilibrio es crítico para la supervivencia de la naturaleza y a la prosperidad energética de las naciones.

1. Identificación del problema
2. Identificación de las opciones alternativas
3. Evaluación y comparación de las opciones
4. Valoración de las opciones
5. Seleccionar una opción

La planificación energética es, por tanto, el procedimiento de toma de decisiones para seleccionar la infraestructura energética de preferencia para la inversión, teniendo como precedente una claridad del problema energético; que solo se soluciona correctamente en la medida que se logre evaluar y comparar las opciones o tecnologías que se han identificado como aplicables local o nacionalmente, cumpliendo con restricciones sociales, medioambientales, económicos y tecnológicas.

1.1.1 La planificación energética para lograr la sostenibilidad

José Martí, el Apóstol Nacional de Cuba expresó que “nosotros no heredamos la tierra de nuestros padres, sino que la usamos prestada de nuestros hijos”, cuando hablaba de “tierra” también quiso decir todos los recursos que ella posee. Esta frase deja despejada la idea que se debe administrar adecuadamente los recursos naturales tenidos a disposición por su escasez.

La realidad actual difiere un poco de lo planteado por Martí, debido que contrariamente la especie humana ha crecido 4 veces en los últimos 100 años y sin embargo el consumo de todo tipo de recurso, incluyendo los energéticos, se ha multiplicado por 25 veces (BP, 2011). Lo cual evidencia una divergencia que innegablemente puede confluir en un caos en virtud del acelerado ritmo de gastos de recursos agotables. Esto deja en relieve la necesidad de alcanzar un desarrollo

sostenible es una mejora que se alcanzara mientras se mantienen los procesos ecológicos de los cuales la vida depende. En un nivel local, es una progresiva contribución positiva al bienestar económico, social y medioambiental de la comunidad en la cual opera (Twidell y Weir, 2006).

El concepto de desarrollo sostenible surgió en la década de los años 80 y fue planteado primero por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza en 1980, cuando se dio a conocer la Estrategia Mundial de la Conservación, la cual puntualizaba la sostenibilidad en términos ecológicos, pero con muy poco énfasis en el desarrollo económico, por lo que fue tachada de antidesarrollista. Esta estrategia contemplaba tres prioridades: el mantenimiento de los procesos ecológicos, el uso sostenible de los recursos y el mantenimiento de la diversidad genética (Sáez, 2002).

De este modo, existe una definición clara y universalmente aceptada planteada por World Commission on Environment and Development y es que el desarrollo sostenible es "satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades" World Commission on Environment and Development (1987). Esto se ha convertido en un principio rector dominante para la política en el siglo XXI. Por todo el mundo, políticos, industriales, ecologistas, economistas y teólogos afirman que este principio debe ser aplicado a nivel internacional, nacional y local.

Por otro lado, y visto desde el punto de vista de Mulder y Bergh (2000), la sostenibilidad es el análisis económico ambiental que hace énfasis en la escasez relativa, la asignación de recursos escasos con un bienestar óptimo. Se refleja en un énfasis en el bienestar óptimo (intertemporal) y las externalidades, la óptima asignación de recursos naturales y el crecimiento óptimo como mezcla de la asignación de recursos intertemporales y la inversión de capital.

Asimismo, otros trabajos realizados demuestran que existen tres aspectos

Teniendo en cuenta que el centro de la actividad humana son las actividades energéticas, principales causante del cambio climático (WEC, 2007) y a la misma vez del desarrollo económico y de la calidad de vida de las personas (Pinell, 2004). Entonces, son a estas actividades a las que se le debe prestar toda la atención para lograr un desarrollo sostenible total.

1.1.2 La planificación energética a través de fuentes de energías renovables

En los últimos años, el cambio climático ha incitado al conocimiento internacional sobre los impactos que la producción de electricidad y el uso de la energía tienen sobre el medioambiente. En este contexto, la generación local de calor y de electricidad y el uso local de los recursos energéticos renovables se consideran como algunas de las opciones más prometedoras para proporcionar un suministro más seguro, limpio y eficiente de energía (DTI, 2007).

Un poco más de cerca, en la tabla 1.1 se evidencia una comparación de algunas de las características principales de los suministros energéticos renovables y convencionales en lo que se demuestra que las fuentes renovables de energía tienen algunas marcadas ventajas sobre las convencionales en diferentes aspectos, que pueden ser: los costos, el tiempo de vida de la fuente, aplicabilidad a nivel local y a pequeña escala y sobre todo en cuanto a la contaminación que emanan en su construcción y operación.

1.2 Metodologías multi-criteriales utilizadas para la planificación energética

La planificación energética usando análisis multi-criterio ha atraído la atención de decisores durante mucho tiempo. Los métodos pueden proporcionar soluciones al aumentar la complejidad de problemas de administración de energía. En la toma de decisiones tradicional, los criterios fueron normalmente la maximización de los beneficios con la minimización de costos. Estos métodos proporcionan una mejor comprensión de las características inherentes al problema de decisión, promueven

ayudan a mejorar la calidad de las decisiones racionales y eficientes (Pohekar y Ramachandran, 2004).

Tabla 1.1. Comparación de los sistemas de energías renovables y convencionales.

	Suministros de energía renovables	Suministros de energía convencional
Ejemplos	Eólica, solar, biomasa	Carbón, petróleo, gas natural, minerales radiactivos
Recursos	Medioambiental local natural	Abastecimiento concentrado
Estado normal	Una corriente o un flujo de energía. Ingresos	Almacenamiento estático de la energía. Capital
Intensidad media inicial	Intensidad reducida, dispersa: $\leq 300 \text{Wm}^{-2}$	emisión a $\geq 100 \text{kWm}^{-2}$
Tiempo de vida de la fuente	Infinito	Finito
Coste en la fuente	Libre	Cada vez más costoso
Coste del capital del equipamiento por kW de capacidad	Costoso, comúnmente =US\$1000kW ⁻¹	Moderado, quizás \$500kW ⁻¹ sin control de emisiones; costoso >US\$1000kW ⁻¹ con la reducción de emisiones
Variación y control	Fluctúa	Estable
Localización para el uso	localmente	General y usos variados
Escala	A pequeña y moderada escala a menudo económica, a gran escala puede presentar dificultades	El incremento de la escala mejora a menudo los costos del suministro, a gran escala es favorecido con frecuencia
Habilidades	Interdisciplinario y variado. Amplía una gama de habilidades. Importancia de las ciencias biológica y en la agricultura	Estrecha relación con la ingeniería eléctrica e industrial. Gama estrecha de habilidades personales
Contexto	Tendencia a lo rural, la industria descentralizada	Tendencia a lo urbano, la industria centralizada
Dependencia	Sistemas autosuficientes y aislados	Sistema dependiente de suministros exteriores
Seguridad	Posible riesgo en operación: generalmente seguro en operación	Puede ser protegido y aislado para reducir grandes peligros potenciales; el más peligroso cuando está defectuoso
Contaminación y daño medioambiental	Generalmente poco daño medioambiental, especialmente en la escala moderada	Contaminación ambiental intrínseca y común, especialmente del aire y del agua
	Peligro por exceso de que de biomasa	Daño permanente común de la explotación minera y de los elementos radiactivos que entran en la tabla de agua. Tala de árboles y esterilización ecológica por la contaminación atmosférica excesiva
	Erosión de suelo por el uso excesivo del combustible biológico	
	Destructivo de grades reservorios hidráulicos	Emisiones del cambio de climático
Estética, impacto visual	Compatible con la ecología natural Las perturbaciones locales pueden ser impopulares, pero generalmente aceptables si es necesidad local comprendida	Generalmente utilitario, con una centralización y una economía a gran escala

Fuente: (Twidell y Weir, 2006)

La planificación a largo plazo para la asignación y la utilización racional, eficiente, sostenible, segura ambiental y económicamente de varias formas de recursos energéticos en una ciudad o un distrito, es uno de los desafíos y responsabilidad

pesar de los conflictos energéticos, medioambientales, económicos y del bienestar humano. Para la toma de decisiones, incluyendo todos estos procesos, se utilizan la toma de decisión multi-criterios (MCDM) (Erol y Kilikis, 2012).

Durante los años 70, fue difundido el ocuparse de problemas energéticos con acercamientos con un único criterio, que tenían como objetivo identificar las opciones de la fuente más eficientes minimizando los costos (Kaya y Kahraman, 2010). Por lo tanto, el uso de los Métodos Multi-Criterios de Toma de Decisiones (en lo adelante MCDM, por sus siglas en inglés) en la planificación de la energía se ha discutido en el pasado, comparándolos en términos de simplicidad, disponibilidad para solucionar los problemas reales y capacidad de estos métodos de incluir las incertidumbres Theodorou et al. (2010). Algunas de las aplicaciones de los MCDM para la trazar una política energética adecuada son:

Inversión en las instalaciones para la expansión de la energía

Evaluación de fuentes de energía renovables

Administración y planificación energética desde aspectos medioambientales

Existen una extensa cantidad de metodologías multicriteriales que han sido aplicadas en apoyo a la toma decisiones en el ramo de la energía debido a, conforme se ha explicado, los objetivos que se persiguen están en conflicto. Estos objetivos que hoy día son económicos, energéticos, sociales y ambientales, se pueden satisfacer por medio de estas técnicas para lograr una solución satisfactoria al problema (Pohekar y Ramachandran, 2004).

1.2.1 Métodos multicriteriales utilizados en la planificación energética

Esta clase importante de métodos son frecuentemente llamados MCDM (Multi-criterio decisión making). Se dividen en la toma de decisión con varios objetivos (MODM) y la toma de decisión multiatributo (MADM) (Climaco, 1997).

combinaciones entre los métodos. Dependiendo del número de decisores, los métodos pueden clasificarse como métodos sencillos o de grupos de toma de decisión. La toma de decisión bajo sistemas de apoyo de la incertidumbre de la decisión son también técnicas prominentes de la toma de decisión (Gal y Hanne, 1999).

Estas metodologías comparten características comunes del conflicto entre criterios, unidades incomparables, y dificultades en la selección de alternativas. En la toma de decisión multi-objetivo, las alternativas no se predeterminan sino que por el contrario un sistema de funciones objetivo se optimiza conforme a un sistema de restricciones. Se busca la solución más satisfactoria y más eficiente. En esta solución eficiente identificada no es posible mejorar el funcionamiento del objetivo sin la degradación del funcionamiento por lo menos de un objetivo.

En la toma de decisión de la cualidad múltiple, una pequeña cantidad de alternativas deben ser evaluadas contra un sistema de las cualidades que son a menudo difíciles de cuantificar. La mejor alternativa es seleccionada generalmente haciendo comparaciones entre las alternativas con respecto a cada cualidad. Algunos métodos decisión multi-criterios se describen a continuación.

1.2.1.1 El método ELECTRE

El ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la Réalité) es un método de la MCDM que fue introducido por Benayoun, Roy, y Sussman en 1966. Su idea principal es referente a un índice de concordancia y discordancia y el concepto de superioridad jerárquica de una alternativa. Se dice que una alternativa i tiene una relación de mejor rango sobre una alternativa j (iRj) si el decisor tiene mucha satisfacción al escoger i y no j , y poca insatisfacción al escoger i por encima de j . La relación de mejor rango se establece por medio de los índices de concordancia y discordancia. El índice de concordancia $c(i,j)$ es la medida ponderada del número de criterios para los cuales i es preferida (o tiene igual preferencia) a j . El índice de

El método de ELECTRE se han aplicado a problemas de muchas áreas y es uno de los más usados en el sector de la energía, en el ámbito de la planificación energética se ha tenido en cuenta para la toma de decisiones en cuanto a las tecnologías (Ming-Che y Ting-Yu, 2011).

Dentro de las metodologías MCDM, los más usados para la planificación energética en la selección de alternativas energéticas, se presenta en la literatura el ELECTRE que tiene una gama amplia de aplicaciones, en lo que se utiliza más comúnmente es para la planificación de utilidades eléctricas, la administración de la energía en edificios, en la selección de lugares para plantas de energías termal, para la selección de plantas de energías renovables (Pohekar y Ramachandran, 2004, Mróz, 2008, Theodorou et al., 2010).

1.2.1.2 El método VIKOR

VIKOR (Vlsekriterijumsko KOMpromisno Rangiranje) es una técnica de la toma de decisiones multiatributo que fue introducida por primera vez por Hwang y Yoon. Tiene un procedimiento de cómputo simple que permite la consideración simultánea de la proximidad a las alternativas ideales y anti-ideales. Este método es basado en la programación compromiso, de las técnicas MCDM para la selección de alternativas por los niveles de preferencias del decisor.

Dentro del método VIKOR, varias J alternativas se denotan como a_1, a_2, \dots, a_j . Para a_j alternativa el grado del ith aspecto es denotado por f_{ij} valor de la ith función de criterio para la alternativa a_j ; y n es el número de criterios (Hwang y Yoon, 1981).

Unos de los campos de aplicación del método VIKOR es de soporte en la planificación energética para la selección de alternativas energéticas para una región determinada, ya sea convencionales o renovables (San Cristóbal, 2011).

Enrichment Evaluation) de los métodos de relación de mejor rango, incluyendo el PROMETHEE I para un rango parcial de las alternativas y el PROMETHEE II para un rango completo de las alternativas, fue desarrollado por Brans y presentado por primera vez en 1982 en una conferencia organizada por Nadeau y Landry en la universidad Laval, Quebec, Canadá (Brans, 1982).

Este método usa función de preferencias $P_j(a, b)$ la cual es una función de la diferencia d_j entre dos alternativas para cualquier criterio j , es decir: $d_j = f(a, j) - f(b, j)$, donde $f(a, j)$ y $f(b, j)$ son los valores de las dos alternativas a y b para el criterio j . La diferencia y umbral de preferencia q' y p' son además definida dependiendo sobre el tipo de función criterio. Dos alternativas son indiferentes para el criterio j mientras que d_j no exceda el umbral de indiferencia q' . Si d_j se hace mayor que p' , hay una estricta preferencia (Tzeng et al., 1992).

Según la literatura, el PROMETHEE es muy usado en una variada gama de campos de aplicación como administración del medioambiente, administración hidrológica, negocios y administración financiera, química, logística y transporte, fabricación y ensamblaje, toma decisiones para el desarrollo sostenible, y muy usado en la planificación energética cuando se trata de elegir entre fuentes alternativas y convencionales, entre otras aplicaciones (Behzadian et al., 2010).

1.2.1.4 El método TOPSIS

Este método también es desarrollado por Huang y Yoon como alternativa al ELECTRE. Se basa en que la alternativa que se selecciona debe tener la distancia más corta desde la solución ideal negativa en el sentido geométrico. El método asume que cada atributo tiene un incremento monótonico cada vez mayor o de disminución. Esto hace fácil localizar las soluciones ideales e ideales negativas. Así, la orden de la preferencia de alternativas se rinde con comparar las distancias euclidianas.

ponderada. Esto es seguido por las soluciones ideales e ideales negativas. Para los criterios beneficiosos el decisor quiere tener valor máximo entre las alternativas y para los criterios de costo quiere valores mínimos entre alternativas (Huang y Yoon, 1981).

1.2.1.5 La Programación Compromiso

La programación compromiso define la mejor solución como la que está en el sistema de las soluciones eficientes cuyo punto es la menor distancia de un punto ideal (Zeleny, 1982).

Lo que se quiere lograr con este método es reducir el tamaño del conjunto de soluciones eficientes, buscando los subconjuntos del mismo más próximos al punto ideal. A estos subconjuntos se le denominan conjuntos compromiso y representan políticas equilibradas entre objetivos en conflicto, sin subordinar un objetivo a otro. Con el fin de evaluar la proximidad a este punto Romero (1993) propone, a la hora de explicar este método, definir en primer lugar el concepto de distancia. Ésta no va a limitarse a un mero valor geométrico, sino que va a ser una medida de las preferencias del decisor.

La distancia d entre dos puntos nos sugiere siempre el teorema de Pitágoras. Es la distancia euclidiana o distancia más corta entre dos puntos y puede aplicarse a un espacio n -dimensional. Aunque esta definición es la más conocida, por su uso habitual en cuestiones de geometría, no es la única ni la mejor. Depende del tipo de problema planteado. El concepto de distancia se ha ampliado a la idea de familia de L_p -métricas o medidas de distancia (García, 2004).

Este método es aplicado fundamentalmente para resolver los problemas de Optimización Multiobjetivo y este a tenido un grupo amplio de aplicaciones, a saber: en la planificación energética con fuentes renovables, asignación de recursos energéticos (Ren et al., 2010), administración energética en edificios, asignación de recursos energéticos distribuidos (Alarcon-Rodriguez et al., 2010), entre otros.

esencia del proceso es la descomposición de un problema complejo en una jerarquía con meta (objetivo) en la cima de la jerarquía, los criterios y los sub-criterios en los niveles y los subniveles de jerarquía, y las alternativas de decisión en la parte inferior de la jerarquía. Los elementos en el nivel dado de la jerarquía se comparan en pares para determinar su preferencia relativa con respecto a cada uno de los elementos en lo alto del nivel siguiente (Heo et al., 2010).

Los términos verbales de la escala fundamental de Saaty son de 1-9, se utilizan para determinar la intensidad de la preferencia entre dos elementos. El valor 1 indica la importancia igual, 3 más moderado, 5 más fuerte, 7 muy fuerte y 9 indica extremadamente más importante. Los valores de 2, 4, 6, y 8 se asignan para indicar valores del compromiso de importancia. La escala de proporción y el uso de comparaciones verbales se utilizan para la ponderación de elementos cuantificables y no-cuantificables (Saaty, 1980, 1992).

El método AHP es muy usado y tiene un grupo extenso de aplicaciones entre ellas se encuentra la economía, la administración del transporte, de la agricultura, de la industria, en el campo militar y en la planificación energética se usa combinándolo con otros métodos, entre otras aplicaciones (Loken, 2005, Bhattacharyya, 2012).

1.2.2 Modelos de planificación energética para la penetración de las energías renovables

Los modelos utilizados en la planificación energética son, como otros modelos, representaciones simplificadas de sistemas verdaderos. Los modelos son herramientas convenientes en situaciones donde la evaluación o los experimentos del mundo real son imprácticos, demasiado costosos o absolutamente imposibles. Los modelos de computadoras ofrecen varias ventajas sobre modelos mentales y experimentales (Hiremath et al., 2007):

Son explícitos; sus argumentos son indicados en la documentación escrita y

Los modelos de sistema de energía son útiles, pues representan los sistemas complicados que están más allá de la capacidad del cerebro humano de comprender y de entender. Estos modelos se pueden utilizar para realizar cálculos y análisis de sistema comprensivos. Pueden ayudar a identificar sutilezas del mercado y de revelar la dinámica del sistema que habría sido de otra manera inadvertida. Fomentar más, las asunciones que forman la base de los modelos que indican inequívoca y explícitamente (distintos de los experimentos y de modelos mentales), de modo que estén abiertos para la crítica y la revisión. Esto permite el riesgo, la estrategia y el análisis de sensibilidad para los decisores políticos y los inversionistas. La sección siguiente presenta la revisión de algunos de los modelos empleados para la planificación energética.

1.2.2.1 El modelo EFOM

El significado de EFOM en inglés es *Energy Flow Optimization Model* (Modelo de Optimización del Flujo de Energía) y es un modelo de programación lineal. La optimización se realiza mediante una función objetivo, sujeta a un conjunto de restricciones. Tanto la función objetivo como las restricciones son ecuaciones lineales (Grohnheit, 1991).

El modelo de optimización EFOM ayuda a determinar una mezcla óptima de tecnologías para un sistema de energía, conforme a un número de condiciones límite, tales como límites de emisión, límite de reducción de costos, etc. En este modelo primero se realiza una verificación del sector de energía primaria que se tendrá en cuenta que podría ser: combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural, etc.), bio-productos industriales (gases de horno y de cocina) y energías renovables local (biomasa, desechos sólidos y recursos naturales).

El modelo puede utilizar varias tecnologías, tales como plantas termoeléctricas convencionales, las plantas de ciclo combinado, paneles fotovoltaicos, sistemas de

economicos, son consideradas las opciones menos costosas; por otra parte, cuando la meta es reducir emisiones de un agente contaminante, las tecnologías más respetuosas al medio ambiente son preferidas.

Los sectores de Uso-Final que se van a valorar en el modelo son civil e industrial. Realiza una evaluación del impacto medioambiental. Por lo que en el modelo se tendrán en cuenta dos principales aspectos, el primero es la cantidad de emisiones de gases contaminantes a la atmósfera (CO_2 , NO_x , SO_x , PM_{10}) debido al consumo de combustible. El propósito es especificar el factor de emisiones a través de las toneladas de estos gases que se emiten para regular este factor (Cormio et al., 2003).

1.2.2.2 El modelo OREM

OREM (Optimal Renewable Energy Mathematical) es basado en la programación lineal. Optimiza los suministros de energía a través de fuentes renovables (Iniyán y Jagadeesan, 1998).

Los factores primarios, tales como costo y eficiencia, se consideran en la función objetivo. Por lo tanto, el costo de sistemas de las energías renovables debe ser minimizado y la eficiencia de los sistemas de energías renovables debe ser maximizada. Las opciones energéticas renovables que son tenidas en cuenta son todas aquellas aplicables a los diferentes sectores en la región (Iniyán et al., 2006).

Por otro lado, las restricciones son:

La aceptación social: Las nuevas tecnologías renovables no pueden ser ampliamente aplicadas a menos que las personas tengan una buena comprensión de los sistemas de las energías renovables y la importancia de usarlas en vez de las fuentes de energía comerciales (convencionales). Un estudio de Delphi (una encuesta) se conduce para descubrir el nivel social de aceptación en la utilización de fuentes de energía renovables;

que un dispositivo funcionaria sin la falla por un periodo de tiempo dado bajo condiciones de funcionamiento dadas;

Demanda: La demanda energética se predicha usando el método mínimos cuadrados de dos etapas del pronóstico. La demanda de las energías renovables para diversos usos finales tales como iluminación, cocina, bombeo de agua, calefacción, refrigeración y transporte es determinada comparándola contra el nivel social de la aceptación obtenido la encuesta Delphi;

Potencial: Aunque el potencial de energía solar, eólica y de la biomasa sean abundantes y estén disponibles, los factores tales como la calidad de los recursos, la intermitencia y la viabilidad técnica decidirían la cantidad de utilización de la energía de diversas fuentes de energía renovables.

1.2.2.3 El modelo MPEEE

El modelo MPEEE (Mathematical Programming Energy-Economy- Environment) es basado en la programación lineal con una sola función objetivo. Realiza una asignación óptima de recursos energéticos comerciales (convencionales) basados en limitaciones medioambientales y de penetración de energías renovables.

Por otro lado, solo utiliza una sola función objetivo (minimizar el PIB/consumo de energía). Establece el porcentaje de penetración de las energías renovables. Posee una restricción medioambiental para reducir la cantidad de gases contaminantes (SO_x , CO_2 , CO y NO_x) por kWh de energía producida (Iniyan et al., 2006).

1.2.2.4 El modelo PAMER

El PAMER (Planificación con Modelo de Energías Renovables) desarrollado por Marcos (Marcos, 1984), es una herramienta de planificación energética que permite la sustitución parcial de las fuentes energéticas convencionales demandadas en los distintos sectores consumidores de una región, por otras renovables.

energías provenientes de fuentes renovables cuyos coeficientes se determinan por la opinión de expertos, a partir de estos valores se aplican las "técnicas blandas" para establecer las prioridades entre las distintas fuentes.

Las restricciones son de tres tipos:

Restricciones que limitan las energías renovables, suponiendo que éstas solo pueden sustituir un determinado porcentaje de la demanda que cubre las fuentes convencionales un sector dado.

Restricciones tecnológicas que provienen de las dificultades de captación, distribución, almacenaje y aprovechamiento, de cada tipo de energía renovable.

Restricciones que tienen en cuenta que existen ya energías convencionales han sido sustituidas y tecnologías de energías renovables ya instaladas. Estas limitaciones suponen que existe una cantidad mínima de energía ya instalada. Por tanto la contribución de cada tipo de energía renovable no puede ser inferior que la cantidad instalada.

La innovación de este modelo se encuentra en la utilización de técnicas de análisis vectorial ("técnicas blandas") para el establecimiento de los coeficientes de la función objetivo que se va a optimizar ("técnicas duras"). El análisis vectorial se realiza a partir de parámetros sociales, técnicos, económicos y medioambientales que permiten jerarquizar las diferentes fuentes de energía renovables.

1.2.2.5 El modelo SEMA

SEMA (Sustitución Energética Multiatributo) es un modelo que se basa en la Programación Multiobjetivo y Multi-atributo desarrollado por García (2004), tiene como precursor al modelo PAMER.

Posee funciones objetivos de tres tipos:

(3) función de minimización de costos.

Por otro lado los coeficientes de la 1ra función objetivo se hallan a través de técnicas vectoriales que tiene en cuenta criterios económicos, sociales, etc. dados por expertos; los de la función 2da es un coeficiente de reducción de emisiones y la función 3ra es a través de coeficientes de costos.

Del mismo modo las restricciones son:

(1) el suministro de energías renovables no debe ser superior a las energías demandada por el sector i menos las energías renovables que puede ser utilizada por ese sector i ;

(2) la demanda no puede ser mayor que la oferta;

(3) supone que la energía eléctrica que se puede sustituir en algunos sectores es limitada;

(4) supone el potencial total de aprovechamiento de las energías renovables en los m sectores;

(5) supone una cantidad mínima de energías renovables a sustituir.

Finalmente se optimiza cada función por separado y luego se aplica la programación compromiso.

1.2.2.6 El modelo HOMER

HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) es una herramienta desarrollada por el National Renewable Energy Laboratory (Borda Ángel et al., 2011). Realiza la selección y dimensionado de un sistema de electrificación rural con energías renovables y/o convencionales (híbrido).

tiempo, realiza un análisis de sensibilidad con el fin de ajustar el sistema a formas óptimas, no solo abarca recursos energéticos renovables (sol, viento, agua) sino también sistemas de conversión que emplean una gran variedad de combustibles (diésel, gasolina, metanol, etanol, gas natural, biogás, hidrógeno); determina los días de autonomía que debe tener un banco de baterías de respaldo al sistema; posee restricciones medioambientales tales como la de emisiones de gases de efecto invernadero, etc. (Manrique et al., 2009, Razak et al., 2009, Rodríguez y Sarmiento, 2010).

1.2.2.7 El modelo SURE

SURE (Sustainable Rural Energy) es un modelo que se basa en la programación por metas de la toma de decisiones multi-objetivo. Su objetivo principal es la selección de alternativas energéticas renovables satisfactorias para una comunidad rural parcial o no electrificada.

Para ello SURE establece el valor de cinco Indicadores de Capitales (IC) de la comunidad (por una encuesta participativa y por observaciones). El objetivo es que cada IC alcance un valor cercano a 1, que es el estado ideal para que la comunidad sea sostenible. Y esto supone, según la teoría de Medios de Vidas Sostenibles, que solo se alcance a través de la energización. Se evalúa cada alternativa energética propuesta contra cada criterio (los IC). Se ordenan estas alternativas que mejor influyan en los IC a través de la Programación por Metas (Henao et al., 2012).

1.2.2.8 El modelo NAIADE

Este modelo NAIADE (Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments) se basa en las técnicas de toma de decisiones multi-criterio. Su objetivo principal es la evaluación del impacto de la producción de energía térmica residencial y la energía eléctrica residencial usando criterios medioambientales y socioeconómicos basados en escenarios.

salida a la decisión basado en una pareja de comparación entre las alternativas. También ilustra el mediano potencial para reducir el impacto medioambiental de la energía y el consumo eléctrico residencial. Finalmente, usa el criterio de huella ecológica como escenarios (Browne et al., 2010).

La zona analizada fue la provincia Granma; ubicada en la zona oriental de Cuba con una superficie de 8 372 km², la cual presenta 13 municipios (ver figura 2.1), 7 de ellos tienen costas en el Mar Caribe y 6 presentan zonas montañosas.



Figura 2.1. División política-administrativa de la provincia Granma, Cuba

2.2 Necesidad del AHP como herramienta de ayuda en estrategias energéticas

Como ya se ha dicho en apartados anteriores, existe una complejidad intrínseca en la toma de decisiones para establecer una estrategia energética, sobre todo si se trata de una región grande. Asimismo, los criterios que tradicionalmente se tratan son de carácter medioambiental, social, económico, tecnológico, entre otros. Además, la variedad de tecnologías también pueden ser considerables. Por lo tanto, debido a que se establecen muchos criterios para seleccionar una o varias alternativas necesarias y aplicables, esto provoca contradicciones internas,

2.2.1 Análisis Jerárquico de Procesos

El Análisis Jerárquico de Procesos (AHP, por su siglas en inglés), desarrollado por Thomas L. Saaty (Saaty, 1980) está diseñado para resolver Problemas complejos multicriteriales. El proceso requiere que quien toma las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios y que, después, especifique su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio. El resultado del AHP es una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión.

En un ambiente de certidumbre, el AHP proporciona la posibilidad de incluir datos cuantitativos relativos a las alternativas de decisión. La ventaja del AHP consiste en que adicionalmente permite incorporar aspectos cualitativos que suelen quedarse fuera del análisis debido a su complejidad para ser medidos, pero que pueden ser relevantes en algunos casos.

El AHP, mediante la construcción de un modelo jerárquico, permite de una manera eficiente y gráfica, organizar la información respecto de un problema, descomponerla y analizarla por partes, visualizar los efectos de cambios en los niveles y sintetizar.

El AHP "se trata de disgregar un problema y luego unir todas las soluciones de los subproblemas en una conclusión"

El AHP se fundamenta en:

- ✓ La estructuración del modelo jerárquico (representación del problema mediante identificación de meta, criterios, subcriterios y alternativas).
- ✓ Priorización de los elementos del modelo jerárquico.
- ✓ Comparaciones binarias entre los elementos.
- ✓ Evaluación de los elementos mediante asignación de "pesos".
- ✓ Ranking de las alternativas de acuerdo con los pesos dados.

El AHP es una herramienta metodológica que ha sido aplicada en varios países para incorporar las preferencias de actores involucrados en un conflicto y/o proceso participativo de toma de decisión.

Algunas de las ventajas del AHP frente a otros métodos de Decisión Multicriterio son:

- ✓ Presenta un sustento matemático.
- ✓ Permite desglosar y analizar un problema por partes.
- ✓ Permite medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común.
- ✓ Incluye la participación de diferentes personas o grupos de interés y generar un consenso.
- ✓ Permite verificar el índice de consistencia y hacer las correcciones, si es el caso.
- ✓ Genera una síntesis y dar la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad.
- ✓ Es de fácil uso y permitir que su solución se pueda complementar con métodos matemáticos de optimización.

2.2.2 Base matemática del AHP

“El AHP trata directamente con pares ordenados de prioridades de importancia, preferencia o probabilidad de pares de elementos en función de un atributo o criterio común representado en la jerarquía de decisión. Se cree que este es el método natural (pero refinado) que la gente siguió al tomar decisiones mucho antes que se desarrollaran funciones de utilidad y antes que se desarrollara formalmente el AHP”(Saaty, 1992).

Calificaciones numéricas que se recomiendan para las preferencias verbales expresadas por el decisor (ver tabla 2.1). Investigaciones anteriores han determinado que está es una escala razonable para distinguir las preferencias entre

Extremadamente preferible	9
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
Muy fuertemente preferible	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
Fuertemente preferible	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
Moderadamente preferible	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
Igualmente preferible	1

2.2.3 Matriz de comparaciones pareadas

Sea A una matriz $n \times n$, donde $n \in \mathbb{Z}^+$. Sea a_{ij} el elemento (i, j) de A , para $i = 1, 2, \dots, n$, y, $j = 1, 2, \dots, n$. Decimos que A es una matriz de comparaciones pareadas de n alternativas, si a_{ij} es la medida de la preferencia de la alternativa en el renglón i cuando se le compara con la alternativa de la columna j . Cuando $i = j$, el valor de a_{ij} será igual a 1, pues se está comparando la alternativa consigo misma.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Además se cumple que: $a_{ij} \cdot a_{ji} = 1$; es decir:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

El AHP sustenta esto con los siguientes axiomas:

Axioma No. 1: Referido a la condición de juicios recíprocos: Si A es una matriz de

comparaciones pareadas se cumple que $a_{ij} = 1/a_{ji}$

Axioma No. 3: Referido a la condición de estructura jerárquica o estructura dependiente: Existe dependencia jerárquica en los elementos de dos niveles consecutivos.

Axioma No. 4: Referido a la condición de expectativas de orden de rango: Las expectativas deben estar representadas en la estructura en términos de criterios y alternativas.

SÍNTESIS

Una vez que se elabora la matriz de comparaciones pareadas se puede calcular lo que se denomina prioridad de cada uno de los elementos que se comparan. A esta parte del AHP se le conoce como sintetización. El proceso matemático preciso que se requiere para realizar tal sintetización implica el cálculo de valores y vectores característicos. El siguiente procedimiento de tres pasos proporciona una buena aproximación de las prioridades sintetizadas.

2.2.4 Procedimiento para sintetizar juicios

Paso 1: Sumar los valores en cada columna de la matriz de comparaciones pareadas.

Paso 2: Dividir cada elemento de tal matriz entre el total de su columna; a la matriz resultante se le denomina matriz de comparaciones pareadas normalizada.

Paso 3: Calcular el promedio de los elementos de cada renglón de las prioridades relativas de los elementos que se comparan.

2.2.5 Matriz de prioridades

Se considera las prioridades de cada criterio en términos de la meta global:

$$\begin{matrix} \dots \\ \text{Criterio}_m \end{matrix} \begin{bmatrix} \dots \\ P'_m \end{bmatrix}$$

Donde m es el número de criterios y P'_j es la prioridad del criterio i con respecto a la meta global, para $i = 1, 2, \dots, m$.

Se denominada matriz de prioridades a la que resume las prioridades para cada alternativa en términos de cada criterio. Para m criterios y n alternativas se tiene:

$$\begin{matrix} \text{Alternativa}_1 \\ \text{Alternativa}_2 \\ \dots \\ \text{Alternativa}_n \end{matrix} \begin{bmatrix} \text{Criterio}_1 & \text{Criterio}_2 & \dots & \text{Criterio}_m \\ P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nm} \end{bmatrix}$$

Donde P_{ij} es la prioridad de la alternativa i con respecto al criterio j , para $i = 1, 2, \dots, n$; y $j = 1, 2, \dots, m$.

La prioridad global para cada alternativa de decisión se resume en el vector columna que resulta del producto de la matriz de prioridades con el vector de prioridades de los criterios.

$$\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{1n} & P_{2n} & \dots & P_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P'_1 \\ P'_2 \\ \dots \\ P'_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Pg_1 \\ Pg_2 \\ \dots \\ Pg_n \end{bmatrix}$$

Donde Pg_i es la prioridad global (respecto a la meta global) de la alternativa i ($i = 1, 2, \dots, n$)

a la consistencia de los juicios que muestra el tomador de decisiones en el transcurso de la serie de comparaciones pareadas. Se debe tener presente que la consistencia perfecta es muy difícil de lograr y que es de esperar cierta inconsistencia en casi cualquier conjunto de comparaciones pareadas, después de todo son juicios rendidos por seres humanos.

El AHP ofrece un método para medir el grado de consistencia entre las opiniones pareadas que proporciona el decisor. Si el grado de consistencia es aceptable, puede continuarse con el proceso de decisión. Si el grado de consistencia es inaceptable, quien toma las decisiones debe reconsiderar y posiblemente modificar sus juicios sobre las comparaciones pareadas antes de continuar con el análisis.

De forma matemática, decimos que una matriz de comparación \mathbf{A} $n \times n$ es consistente si: $a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik}$, para $i, j, k = 1, 2, \dots, n$.

Esta propiedad requiere que todas las columnas (y renglones) de \mathbf{A} sean linealmente dependientes. En particular, las columnas de cualquier matriz de comparación 2×2 son dependientes y, por tanto una matriz 2×2 siempre es consistente.

Para determinar si un nivel de consistencia es o no "razonable", necesitamos desarrollar una medida cuantificable para la matriz de comparación \mathbf{A} $n \times n$ (donde n es el número de alternativas a comparadas). Se sabe que si la matriz \mathbf{A} es perfectamente consistente produce una matriz \mathbf{N} $n \times n$ normalizada, de elementos w_{ij} (para $i, j = 1, 2, \dots, n$), tal que todas las columnas son idénticas, es decir, $w_{12} = w_{13} = \dots = w_{1n} = w_1$; $w_{21} = w_{23} = \dots = w_{2n} = w_2$; $w_{n1} = w_{n2} = \dots = w_{nn} = w_n$

$$N = \begin{bmatrix} w_1 & w_1 & \dots & w_1 \\ w_2 & w_2 & \dots & w_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n & w_n & \dots & w_n \end{bmatrix}$$

el proceso inverso de determinación de \mathbf{N} a partir de \mathbf{A}). Entonces tenemos:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_1/w_2 & 1 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

De la definición dada de A , tenemos:

$$\begin{bmatrix} 1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} nw_1 \\ nw_2 \\ \dots \\ nw_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix}$$

De forma más compacta, decimos que \mathbf{A} es consistente si y sólo si,

$$\mathbf{AW} = n\mathbf{W}$$

Donde \mathbf{W} es un vector columna de pesos relativos w_i , ($j = 1, 2, \dots, n$) se aproxima con el promedio de los n elementos del renglón en la matriz normalizada \mathbf{N} . Haciendo \mathbf{W} el estimado calculado, se puede mostrar que:

$$\mathbf{A} \mathbf{W} = n_{\max} \mathbf{W}$$

Donde $n_{\max} \geq n$. En este caso, entre más cercana sea n_{\max} a n , más consistente será la matriz de comparación \mathbf{A} . Como resultado, el AHP calcula la razón de consistencia (**RC**) como el cociente entre el índice de consistencia de \mathbf{A} y el índice de consistencia aleatorio.

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

El valor de n_{\max} se calcula de $\mathbf{A} \bar{W} = n_{\max} \bar{W}$ observando que la i -ésima ecuación es:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \bar{w}_j = n_{\max} \bar{w}_i, \quad i=1, 2, \dots, n$$

Dado que $\sum_{i=1}^n \bar{w}_i = 1$ obtenemos:

$$\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} \bar{w}_j \right) = n_{\max} \sum_{i=1}^n \bar{w}_i$$

Esto significa que el valor de n_{\max} se determina al calcular primero el vector columna \mathbf{A} y después sumando sus elementos.

IA es el índice de consistencia aleatoria de \mathbf{A} , es el índice de consistencia de una matriz de comparaciones pareadas generada en forma aleatoria. Se puede mostrar que el IA depende del número de elementos que se comparan, y asume los siguientes valores:

Nº de elementos que se comparan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice Aleatorio de Consistencia (IA)	0	0	0.58	0.89	1.11	1.24	1.32	1.40	1.45	1.49

2.2.5 Criterios tenidos en cuenta para evaluar las alternativas

Los criterios son todos aquellos aspectos que se deben tener en cuenta para definir qué alternativa energética debe ser tomada en cuenta como la de mayor preferencia. Dentro del AHP, se deben otorgar un valor de preferencia a estos criterios (ver apartado 2.4, tabla 2.1). Para este trabajo se tuvo en cuenta los criterios que comúnmente aparece en la literatura para la definición de una estrategia de penetración de energías renovables.

- **Durabilidad de la Fuente (DF):** ¿durante cuánto tiempo la fuente se puede utilizar por la central eléctrica?, ¿puede la central energética, tener un tiempo de vida útil igual a la fuente energética?
- **Sostenibilidad de la Fuente (SF):** ¿se puede suministrar los recursos energéticos a la central eléctrica constantemente y suficientemente o se hace necesario fuentes suplementarias de otras fuentes para satisfacer la demanda?
- **Madurez de la Tecnología (MT):** ¿cuánto tiempo hace que los científicos y los ingenieros trabajan esta tecnología? ¿cuánto más madura, más segura y más eficiente es la tecnología que una central eléctrica convencional?
- **Fiabilidad Tecnológica y de Operación (FTO):** ¿es esta tecnología fiable y no requiere mantenimiento frecuente?
- **Efecto de la Tecnología para el Medioambiente (ETM):** ¿cuál es el efecto de la tecnología para el medioambiente? Este factor no sólo se relaciona con la huella del carbón de la tecnología, sino también con la gestión de desechos, los efectos de la preparación de la fuente de las materias primas, etc.
- **Aceptabilidad de los Residentes Locales (Sundberg y Karlsson):** ¿cuáles son los impactos de la tecnología en la salud de los residentes locales y la economía? ¿pueden las instalaciones que serán construidas producir empleos?
- **Uso Suplementario de los Recursos (USR):** ¿puede ser utilizado los recursos en otras actividades energéticas que no sea la producción eléctrica? ¿por ejemplo, se puede el calor residual de la fuente utilizarse en la calefacción de un edificio?

2.3 Puntos de vistas a tener en cuenta para evaluar los criterios

Todos estos criterios pueden ser evaluados por expertos desde diferentes puntos de vistas, a saber:

tuente de energía. Por lo tanto la durabilidad del suministro, la sostenibilidad de la fuente y los factores que afectan a las inversiones en la fuente de energía tienen una importancia primaria. Así los factores tecnológicos y la utilidad suplementaria de la energía tienen importancia secundaria. Desafortunadamente, la huella de carbón tiene menos importancia para la industria. Desde el punto de vista de la industria, los aspectos medioambientales solo son importantes para prevenir las reacciones de la comunidad local.

- **Medioambiental:** Los ecologistas no tienen en cuenta los aspectos económicos. Cuidan sobre todo los aspectos medioambientales y la tecnología que no afectarían a la naturaleza. Estos aspectos son de preferencias primarias en la selección de la estrategia energética para un ecologista.
- **Residentes locales:** Componen a los residentes locales que son generalmente personas que cuidan primero su propia situación económica-financiera y luego su salud. Esto es porque las fuentes, que no son eficientes, baratas, y económicas, no serán aceptadas por los residentes locales. Solamente un pequeño porcentaje de ellos cuidará los animales, las plantas, y otros. Según la información dada se puede clasificar la jerarquía de importancia para un residente local como sigue: economía, mercado, tecnología y medioambiente.
- **Académicos:** Los académicos son las personas que más cuidan a la tecnología. La primera razón es por el interés de encontrar la tecnología más eficiente y más amistosa con el medioambiente. El segundo interés es para encontrar las alternativas de uso suplementario para y que no haya pérdida energéticas y proteger al medioambiente. El aspecto pasado es sobre la economía, que es afectada directamente por el cambio de la tecnología. Por lo tanto, aunque tenga menos importancia, la diferencia entre otros factores no es demasiado.

de tecnologías energéticas renovables tenidas en cuenta para la evaluación son las que tienen mayores potencialidades en la provincia. En este punto se valoró por parte de los investigadores las características de cada una, sus aplicaciones y la demanda de cada una. Las alternativas evaluadas en este trabajo fueron:

- Solar fotovoltaica para el sector eléctrico **(A1)**
- Solar térmica para el sector que demanda agua caliente **(A2)**
- Eólica para el sector eléctrico **(A3)**
- Mareomotriz para el sector eléctrico **(A4)**
- Hidráulica para el sector eléctrico **(A5)**
- Solar para el bombeo de agua **(A6)**
- Eólica para el bombeo de agua **(A7)**
- Biomasa para electricidad **(A8)**

puntos de vistas

Se tuvo la importancia relativa de los criterios en relación a diferentes puntos de vistas (medioambiental, la industria, los académicos y los residentes locales). La escala de preferencias fue abordada en el apartado 2.2.2, tabla 2.1. Se reunió un grupo de expertos en cada área de conocimiento y se evaluaron, a través de esta escala, el nivel de preferencia de cada criterio respecto al otro.

Las preferencias relativas de los expertos en medioambiente en concordancia con los diferentes criterios que se tuvieron en cuenta para evaluar las alternativas energéticas, fueron obtenidas conforme se ha explicado. De este modo, quedó como criterio más importante el *Efecto de la Tecnología para el Medioambiente (ETM)* debido a la jerarquía que los medioambientalistas le otorgan a los efectos que podría traer las posibles tecnologías al medioambiente. Seguido de este criterio se encuentran la *Aceptabilidad de los Residentes Locales (ARL)*, *Uso suplementario de los recursos (USR)* y *Fiabilidad Tecnológica y de Operación (FTO)* en ese orden (ver tabla 3.1).

Tabla 3.1. Preferencias relativas de los criterios utilizados desde el punto de vista medioambiental.

Medioambiente	FAF	DF	SF	MT	FTO	ETM	ARL	USR	Logro
FAF	1	2	8	3	1/2	1/8	1/8	1/9	0,053 (7)
DF	1/2	1	2	5	6	1/8	1/9	1/5	0,055 (6)
SF	1/8	1/2	1	6	5	1/7	1/5	1/4	0,058 (5)
MT	1/3	1/5	1/6	1	1/9	1/8	1/7	1/7	0,033 (8)
FTO	2	1/6	1/5	9	1	1/7	1/5	4	0,067 (4)
ETM	8	8	7	8	7	1	2	9	0,403 (1)
ARL	8	9	5	7	5	1/2	1	7	0,239 (2)
USR	9	5	4	7	1/4	1/9	1/7	1	0,088 (3)

Del mismo modo, se tuvo en cuenta las preferencias relativas de los mencionados criterios desde el punto de vista de la industria. Los expertos en este tema dan un

nóculo más de importancia a los aspectos relacionados con los costos en los que se

to que la *Durabilidad de la fuente* (DF) es la de mayor preferencia debido a que es este criterio tiene en cuenta la correspondencia que debe tener la construcción de instalaciones energéticas y la durabilidad de la fuente. En segundo lugar la *Fiabilidad Tecnológica y de Operación* (FTO), seguida de *Uso Suplementario de los Recursos* (USR) y *Facilidad del Acceso a la Fuente* (FAF).

Tabla 3.2. Preferencias relativas de los criterios utilizados desde el punto de

Industria	FAF	DF	SF	MT	FTO	ETM	ARL	USR	Logro
FAF	1	1/2	1/3	2	1/4	6	3	1/4	0,089 (4)
DF	2	1	4	3	1	5	6	4	0,292 (1)
SF	3	1/4	1	5	1/4	3	2	1/8	0,079 (5)
MT	1/2	1/3	1/5	1	1/8	2	2	1/5	0,043 (7)
FTO	4	1	4	8	1	5	6	1	0,250 (2)
ETM	1/6	1/5	1/3	1/2	1/5	1	1/2	1/5	0,039 (8)
ARL	1/3	1/6	1/2	1/2	1/6	2	1	1/4	0,053 (6)
USR	4	1/4	8	5	1	5	4	1	0,151 (3)

vista de la industria.

Después de la evaluación hecha a un experto en temas sociales se obtuvo como resultado que el criterio más importante para ellos es *Aceptabilidad de los Residentes Locales* (ARL) (tabla 3.3).

Tabla 3.3. Preferencias relativas de los criterios utilizados desde el punto de

vista de los residentes locales.

Residentes locales	FAF	DF	SF	MT	FTO	ETM	ARL	USR	Logro
FAF	1	2	1/9	1/6	4	1/9	1/9	1/9	0,032 (8)
DF	1/2	1	1/4	1/7	4	1/3	1/9	1/8	0,037 (6)
SF	9	4	1	1/4	5	1/4	1/8	1/7	0,051 (5)
MT	6	7	4	1	5	2	1/9	1/8	0,106 (4)
FTO	1/4	1/4	1/4	1/5	1	1/7	1/7	1/7	0,035 (7)
ETM	9	3	4	1/2	7	1	1/2	2	0,178 (2)
ARL	9	9	8	9	7	2	1	5	0,409 (1)
USR	9	8	7	8	7	1/2	1/5	1	0,148 (3)

Los académicos evaluaron los criterios teniendo en cuenta la hiéruada de una

Suplementario de los Recursos (USR) (Ver tabla 3.4). De este modo queda confirmado que los académicos tratar de buscar una equidad entre tecnología y medioambiente.

Tabla 3.4. Preferencias relativas de los criterios utilizados desde el punto de vista de los académicos.

Académicos	FAF	DF	SF	MT	FTO	ETM	ARL	USR	Logro
FAF	1	1/4	1/7	1/6	2	1/6	1/7	1/8	0,034 (7)
DF	4	1	2	1/3	4	1/5	1/7	0,074 (5)	
SF	7	1/2	1	1/5	4	1/3	1/5	0,071 (6)	
MT	6	3	5	1	5	1/3	1/5	0,157 (2)	
FTO	1/2	1/4	1/4	1/5	1	1/8	1/7	0,028 (8)	
ETM	6	5	3	3	8	1	8	0,372 (1)	
ARL	7	1/2	5	5	7	1/8	1	0,141 (3)	
USR	8	7	6	1/5	8	1/5	2	0,125 (4)	

Se compararon entonces los puntos de vistas respecto a los criterios y esto se comportó de la manera que se establecen en la tabla 3.5. El criterio de mayor preferencia para los expertos fue el **ETM** (Efecto de la Tecnología para el Medioambiente) con un 25% de logro.

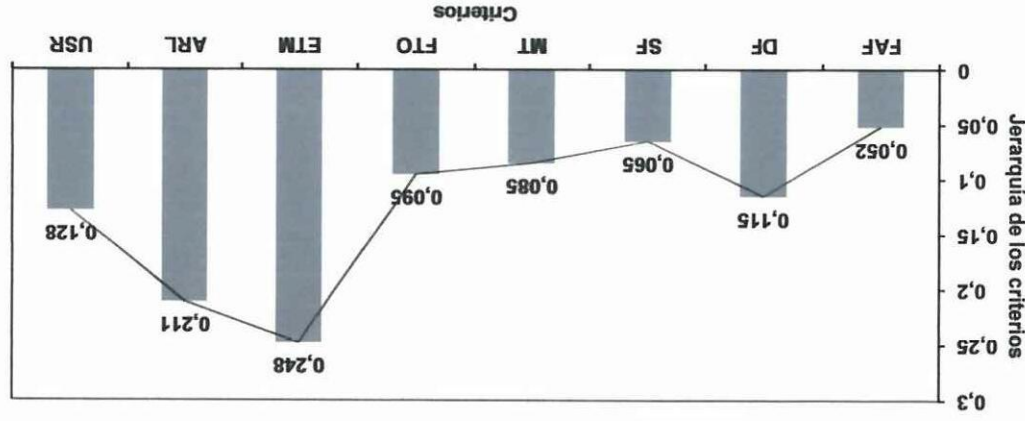
Tabla 3.5. Jerarquía de los criterios desde los diferentes puntos de vistas.

	Medioambiente	Industria	Residentes locales	Académicos	Logro
FAF	0,053	0,089	0,032	0,034	0,052
DF	0,055	0,292	0,037	0,074	0,115
SF	0,058	0,079	0,051	0,071	0,065
MT	0,033	0,043	0,106	0,157	0,085
FTO	0,067	0,250	0,035	0,028	0,095
ETM	0,403	0,039	0,178	0,372	0,248
ARL	0,239	0,053	0,409	0,141	0,211
USR	0,088	0,151	0,148	0,125	0,128

Le siguió el **ARL** (Aceptabilidad de los Residentes Locales) con un 21% de logro.

Estos dos criterios solo tienen una diferencia de 4 puntos porcentuales (ver figura 3.1); el siguiente criterio **USR** (Uso Suplementario de los Recursos) tiene una mayor

Figura 3.1. Jerarquía de los criterios desde los diferentes puntos de vistas



3.2 Evaluación de las alternativas respecto a cada criterio

Se realizó la evaluación de las alternativas energéticas propuestas respecto a cada criterio. En la tabla 3.6 el criterio tenido en cuenta fue la *Facilidad de Acceso a la Fuente (FAF)* en lo que se determinó que la *Energía Eólica para el Sector Eléctrico (A3)* y la *Solar Fotovoltaica para la electricidad (A1)* son las que tienen una mayor facilidad de acceso a la fuente de energía respecto a las otras alternativas.

Tabla 3.6. *Facilidad del Acceso a la Fuente (FAF)*

FAF	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	Logro
A1	1	1	1	2	3	4	3	8	0,224 (2)
A2	1	1	1/2	1/3	5	1	1/5	8	0,135 (4)
A3	1	2	1	6	3	5	2	8	0,234 (1)
A4	1/2	3	1/6	1	1/4	1/3	1/2	1/2	0,067 (7)
A5	1/3	1/5	1/3	4	1	2	1/2	3	0,079 (6)
A6	1/4	1	1/5	3	1/2	1	3	5	0,096 (5)
A7	1/3	5	1/2	2	2	1/3	1	7	0,136 (3)
A8	1/8	1/8	1/8	2	1/3	1/5	1/7	1	0,027 (8)

Por otro lado, fue necesario considerar la durabilidad de la fuente respecto a la central de energía. En este caso la *energía Solar Fotovoltaica para electricidad (alternativa A1)* y la *Eólica para electricidad (A2)* es la de mayor preferencia relativa (ver tabla 3.6) debido a que los expertos consideran que, en caso que se pueda

Tabla 3.7. Durabilidad de la Fuente (DF)

DF	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	Logro
A1 (1)	1	2	5	1	6	1	5	9	0,249
A2 (2)	½	1	5	4	5	1	4	6	0,197
A3 (6)	1/5	1/5	1	4	1/2	1/3	1	5	0,077
A4 (3)	1	1/4	1/4	1	1/2	6	1/2	8	0,146
A5 (5)	1/6	1/5	2	2	1	5	5	4	0,117
A6 (4)	1	1	3	1/6	1/5	1	4	8	0,138
A7 (7)	1/5	1/4	1	2	1/5	1/4	1	2	0,054
A8 (8)	1/9	1/6	1/5	1/8	1/4	1/8	1/2	1	0,020

La sostenibilidad es un aspecto importante que debe tener la fuente debido a que no se puede mantener un sistema energético a largo plazo si no es totalmente sostenible a corto y largo plazo. En la tabla 3.8 se muestra que la alternativa A1 (*Solar Fotovoltaica para electricidad*) es la de mayor preferencia relativa para los expertos.

Tabla 3.8. Sostenibilidad de la Fuente (SF)

SF	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	Logro
A1 (1)	1	2	4	5	4	6	4	5	0,298
A2 (5)	½	1	1/3	3	1/5	2	1/4	4	0,107
A3 (6)	¼	3	1	1/3	1/4	3	1/2	3	0,088
A4 (7)	1/5	1/3	3	1	1/2	1/2	1/2	4	0,087
A5 (4)	¼	5	4	1/3	1	1/4	1/3	4	0,108
A6 (3)	1/6	1/2	1/3	2	4	1	4	1/6	0,115
A7 (2)	¼	4	2	2	3	1/4	1	5	0,125
A8 (8)	1/5	1/4	1/3	1/4	1/4	6	1/5	1	0,070

La alternativa A7 (tabla 3.9) tiene una mayor preferencia en cuanto a su madurez tecnológica debido al uso tradicional de la cocción de alimentos a través de la biomasa en países del tercer mundo. Pero por otro lado en el segundo puesto se encuentra la alternativa A1 que es la producción de electricidad doméstica a través de energía solar fotovoltaica.

Los expertos opinaron que la alternativa A1 (Solar Fotovoltaica para electricidad residencial) es la que mayor cumplimiento con el criterio *Fiabilidad Tecnológica y de Operación* (FTO), en gran medida porque esta tecnología tiene ciertas facilidades de operación y tiene pocos mantenimientos (tabla 3.10).

Tabla 3.10. Fiabilidad Tecnológica y de Operación (FTO)

FTO	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	Logro
A1	1	2	3	6	2	1	1/3	6	0,153
A2	1/2	1	1/2	4	6	4	1/7	7	0,117
A3	1/3	2	1	3	1/2	3	1/3	8	0,108
A4	1/6	1/6	1/3	1	1/6	1/4	1/6	2	0,039
A5	1/2	1/6	2	6	1	8	1/4	8	0,114
A6	1	1/4	1/3	4	1/8	1	1/6	4	0,065
A7	3	7	3	6	4	6	1	9	0,377
A8	1/6	1/7	1/8	1/2	1/8	1/4	1/9	1	0,026
(1)									
(2)									
(3)									
(4)									
(5)									
(6)									
(7)									
(8)									

Tabla 3.11. Efecto de la Tecnología para el Medioambiente (ETM)

FTO	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	Logro
A1	1	5	6	8	5	1	2	8	0,314
A2	1/5	1	7	8	6	1	3	8	0,181
A3	1/6	1/7	1	8	1/5	1/4	1/8	9	0,038
A4	1/8	1/8	1/8	1	1/7	1/4	1/3	2	0,030
A5	1/5	1/6	5	7	1	1/2	1/4	8	0,055
A6	1	1	4	4	2	1	1/7	8	0,153
A7	1/2	1/3	8	3	4	7	1	7	0,208
A8	1/8	1/8	1/9	1/2	1/8	1/8	1/7	1	0,022
(1)									
(2)									
(3)									
(4)									
(5)									
(6)									
(7)									
(8)									

Desde el punto de vista del Efecto de la Tecnología sobre el Medioambiente (ETM) la alternativa de mayor preferencia fue la A6 (Solar para el bombeo de agua),

seguido a esta fue la A1 (Solar fotovoltaica para el sector eléctrico) debido a que

A pesar de que la alternativa A1 es la de mayor preferencia según la opinión de expertos bajo varios criterios, los residentes locales no la tienen como la de mayor jerarquía, sino que la energía Eólica para el sector eléctrico (A3) es más cotizada seguida por la Hidráulica para el sector eléctrico (A5) (tabla 3.12).

Tabla 3.12. Aceptabilidad de los Residentes Locales (ARL)

ARL	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	Logro
A1	1	2	1/5	1/4	1/4	1/3	4	5	0,086
A2	½	1	1/4	2	4	2	3	1/3	0,163
A3	5	4	1	3	2	4	7	4	0,288
A4	4	1/2	1/3	1	1/4	3	4	2	0,096
A5	4	1/4	1/2	4	1	6	5	8	0,187
A6	3	1/2	1/4	1/3	1/6	1	1	1/2	0,059
A7	¼	1/3	1/7	1/4	1/5	1	1	1/2	0,033
A8	1/5	3	1/4	1/2	1/8	2	2	1	0,088

La energía Solar Fotovoltaica para la electricidad (A1) es la alternativa energética de mayor preferencia (tabla 3.13) debido a que su utilización como central eléctrica puede ser aplicada para otros sectores consumidores, según el criterio *Uso Suplementario de los Recursos (USR)*.

Tabla 3.13. Uso Suplementario de los Recursos (USR)

USR	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	Logro
A1	1	8	5	1	8	5	8	1/9	0,241
A2	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	1	1	1/8	0,014
A3	1/5	8	1	1	8	9	9	2	0,110
A4	1	8	1	1	1/3	6	7	4	0,135
A5	1/8	8	1	3	1	8	9	2	0,149
A6	1/5	1	1/8	1/6	1/8	1	1	1/6	0,017
A7	1/8	1	1/9	1/7	1/9	1	1	8	0,114
A8	9	8	1/2	1/4	1/2	6	8	1	0,220

3.4 Definición de las alternativas adecuadas para la provincia

Después de evaluar cada alternativa respecto a cada uno de los criterios, se obtuvieron los resultados que aparecen en la tabla 3.14. En la figura 3.2 se puede

agua y seguir a esta, la A7 (cojar térmica para el sector que demanda agua caliente), a continuación la A3 (Éolica para el sector eléctrico) (ver figura 3.2). Las demás alternativas evaluadas (A4, A5, A6 y A8) tienen un menor logro en cuanto a los criterios evaluados que las mencionadas.

Tabla 3.14. Resultados obtenidos de la evaluación de los expertos de cada alternativa respecto a los criterios tenidos en cuenta.

Logro	FAF	DF	SF	MT	FTO	ETM	ARL	USR
A1	0,225	0,249	0,298	0,153	0,314	0,226	0,086	0,241
A2	0,135	0,197	0,107	0,117	0,181	0,176	0,163	0,014
A3	0,234	0,077	0,088	0,108	0,038	0,072	0,288	0,110
A4	0,067	0,146	0,087	0,039	0,030	0,052	0,096	0,135
A5	0,079	0,117	0,108	0,114	0,055	0,059	0,187	0,149
A6	0,096	0,138	0,115	0,065	0,153	0,232	0,059	0,017
A7	0,136	0,054	0,125	0,377	0,208	0,153	0,033	0,114
A8	0,027	0,070	0,070	0,026	0,022	0,027	0,088	0,220

Por otro lado, las alternativas han sido evaluadas sin tener en cuenta el grado de jerarquía que le otorgaron los expertos a cada criterio mostrados en la tabla 3.5. En el apartado siguiente, se definen las alternativas ganadoras según el nivel de preferencia.

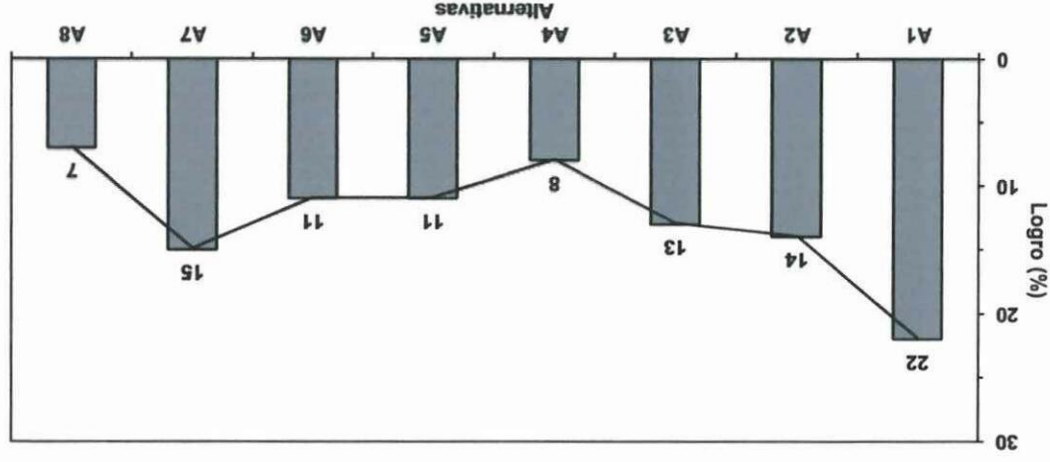


Figura 3.2. Logro de cada alternativa respecto a los criterios tenidos en cuenta.

jerarquía de los criterios, el cual cambia un tanto las alternativas de preferencia sin nivel de jerarquía observadas en la figura 3.2. En este caso, al logro obtenido en la tabla 3.13, se le multiplica al nivel de jerarquía que se le otorgó a los criterios (ver tabla 3.5).

Se presentó como las mejores alternativas la **A7** (*La energía Eólica para el bombeo de agua*); a continuación la alternativa energética **A6** (*La energía Solar para el bombeo de agua*); le siguió a esta la **A2** (*Solar térmica para el sector que demanda agua caliente*); y finalmente, la alternativa **A1** (*Solar fotovoltaica para el sector eléctrico*) (ver figura 3.3).

Estas dos últimas, se encontraron en los niveles de preferencia de los expertos antes de la jerarquización de los criterios. Las alternativas **A1** y **A2** son las de mayor trascendencia para eliminar paulatinamente la dependencia de las energías convencionales y penetrar las energías renovables a un sistema electro-energético. Por otro lado, las dos alternativas (**A7** y **A6**) que quedaron en el orden 1 y 2, son de mayor preferencia debido al nivel de jerarquización de los criterios que las favorecieron como alternativas aplicables y necesarias para el abasto de agua de la provincia.

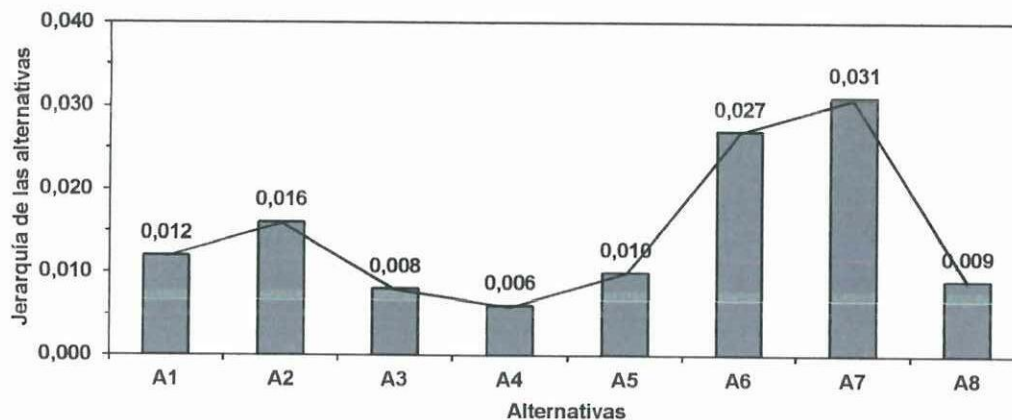


Figura 3.3. Ordenamiento de las alternativas según la jerarquización de los criterios

1. Se determinó que el Análisis Jerárquico de Procesos es una metodología adecuada para establecer una estrategia de penetración de fuentes renovables de energía.
2. Se estableció que la estrategia energética más adecuada para la provincia Granma fue:
 - La energía Eólica para el bombeo de agua
 - La energía Solar para el bombeo de agua
 - Solar térmica para el sector que demanda agua caliente
 - Solar fotovoltaica para el sector eléctrico

alternativas evaluadas en la región caso de estudio, según su nivel de prioridad, la demanda y disponibilidad de recursos.

planning of distributed energy resources: A review of the state-of-the-art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 1353-1366.

ANDREWS, C.GOVIL, S. 1995. Becoming proactive about environmental risks: regulatory reform and risk management in the US electricity sector. *Energy Policy*, 23, 885-892.

ANNE, R. (ed.) 2007. *Global Issues: Energy supply and Renewable Resources*, United States of America.

APDC 1985. Integrated Energy Planning: A Manual *Energy Data, Energy Demand*. Kuala Lumpur.: Asian & Pacific Development Centre.

BECCALI, M.; CELLURA, M.MISTRETTA, M. 2003. Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology. *Renewable Energy* 28 2063–2087.

BEHZADIAN, M.; KAZEMZADEH, R.; ALBADVI, A.AGHDAZI, M. 2010. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research* 200, 198–215.

BENAYOUN, R.; ROY, B.SUSSMAN, B. (eds.) 1966. *ELECTRE: Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples.*: SEMA-METRA international, direction scientifique.

BHATTACHARYYA, S. 2012. Review of alternative methodologies for analysing off-grid electricity supply. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 677-694.

BORDA ÁNGEL, J.; DOMÍNGUEZ, J.; AMADOR, J.; ARRIBAS, L.PINEDO, I. 2011. Characterization of Hybrid Systems for Rural Electrification with Renewable Energies Using Geographic Information Systems (GIS). *Informes Técnicos*

BP 2011. BP Energy Outlook 2030. London: British Petroleum.

BRANS, J. 1982 Lingenierie de la decision. Elaboration dinstruments daide a la decision. Methode PROMETHEE *In: NADEAU, R. & LANDRY, M. (eds.) Laide a la Decision: Nature, Instrument s et Perspectives Davenir ed. Presses de Universite Laval, Qu ebec, Canada.*

BROWNE, D.; O'REGAN, B.MOLES, R. 2010. Use of multi-criteria decision analysis to explore alternative domestic energy and electricity policy scenarios in an Irish city-region. *Energy*, 35, 518-528.

BROWNSTEIN, R. 2009. *The California Experiment, Atlantic Monthly* [Online]. Available: <http://www.theatlantic.com/doc/200910/california-energy> [Accessed].

CAI, Y.; HUANG, G.; LIN, Q.; NIE, X.TAN, Q. 2009. An optimization-model-based interactive decision support system for regional energy management systems planning under uncertainty. *Expert Systems with Applications* 36, 3470–3482.

CLIMACO, J. (ed.) 1997. *Multicriteria analysis*, New York: Springer-Verlag.

CORMIO, C.; DICORATO, M.; MINOIA, A.TROVATO, M. 2003. A regional energy planning methodology including renewable energy sources and environmental constraints. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 7 99–130.

DTI 2007. *Energy white paper: meeting the energy challenge UK*, Department of Trade and Industry

ELKINGTON, J. 1997. *Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st Century business*. Oxford Capstone

- FAO 1986. Guide and for Training in the Formulation of Agricultural and Rural Investments Projects. Introduction to the guide. Rome FOA: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- GAL, T.HANNE, T. (eds.) 1999. *Multicriteria decision making: Advances in MCDM models, algorithms, theory, and applications.*, New York: Kluwer Academic Publishers.
- GALLEGO, D.MACK, A. 2010. Sustainability assessment of energy technologies via social indicators: Results of a survey among European energy experts. *Energy Policy*, 38, 1030-1039.
- GARCÍA, L. 2004. *Desarrollo de un modelo multicriterio-multiobjetivo de oferta de energías renovables: aplicación a la comunidad de Madrid.* Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.
- GROHNHEIT, P. 1991. Economic interpretation of the EFOM model. *Energy Economics*, 13 143-152.
- HENAO, F.; CHERNI, J.; JARAMILLO, P.DYNER, I. 2012. A multicriteria approach to sustainable energy supply for the rural poor. *European Journal of Operational Research*, 218, 801-809.
- HEO, E.; KIM, J.BOO, K. 2010. Analysis of the assessment factors for renewable energy dissemination program evaluation using fuzzy AHP. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 2214–2220.
- HIREMATH, R.; SHIKHA, S.RAVINDRANATH, N. 2007. Decentralized energy planning; modeling and application—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11 729 – 752.

- HUANG, J.; PHO, K.ANG, B. 1995. Decision analysis in energy and environmental modeling. *Energy-The International Journal*, 20, 843-855.
- HWANG, C.YOON, K. (eds.) 1981. *Multi-attribute decision making: methods and applications.*, Berlin Springer-Verlag.
- INIYAN, S.JAGADEESAN, T. 1998. Effect of wind energy system performance on optimal renewable energy model- an analysis. *Renew Sustain Energy Rev*, 2:.
- INIYAN, S.; SUGANTHI, L.SAMUEL, A. A. 2006. Energy models for commercial energy prediction and substitution of renewable energy sources. *Energy Policy*, 34, 2640-2653.
- JAMES, J.VAN GROENENDAAL, W. (eds.) 2003. *A new decision support method for local energy planning in developing contries.*
- JIMÉNEZ, H. (ed.) 2000. *Desarrollo Sostenible*, España.
- KAYA, T.KAHRAMAN, C. 2010. Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul. *Energy*, 35, 2517-2527.
- LI, G.; HUANG, G.; LIN, Q.; ZHANG, X.; TAN, Q.CHEN, Y. 2011. Develop ment of a GHG -mitigation oriented inexact dynamic model for region al energy system management. *Energy* 36 3388-3398.
- LOKEN, E. 2005. Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11 1584–1595.
- MANRIQUE, P.; DOMÍGUEZ, J.PINEDO, I. 2009. Dimensionado de un Sistema Híbrido FV - Biogás/Diesel mediante el Empleo de la Herramienta Homer©. Caso de Aplicación: Granja "Pozo Verde", Municipio de Jamundí, Valle del

- MING-CHE, W.TING-YU, C. 2011. The ELECTRE multicriteria analysis approach based on Atanassov's intuitionistic fuzzy sets. *Expert Systems with Applications*, 38 12318–12327.
- MRÓZ, T. 2008. Planning of community heating systems modernization and development. *Applied Thermal Engineering*, 28 1844–1852.
- MULDER, P.VAN DEN BERGH, J. 2000. Evolutionary Economic Theories of Sustainable Development. *Growth and Change*, 32, 110-134.
- NIJCAMP, P.VOLWAHSEN, A. 1990. New directions in integrated energy planning. *Energy Policy*, 18, 764-773.
- OCAÑA, V. 2004. *Procedimiento para la valoración de la sostenibilidad energético – ambiental de estrategias energéticas* Tesis Doctoral, Universidad Central de Las Villas
- PINELL, P. 2004. Perspectiva de la promoción del desarrollo local municipal: el caso boliviano. In: PAÍS, E. (ed.) *Documentos de trabajo*.
- PIÑEIRO, J.ROMERO, N. 2001. El desarrollo sostenible en el sector energético: las energías renovables en Galicia y su aportación al Grupo Unión Fenosa *Revista Gallega de Economía*, 10, 1-23.
- POHEKAR, S.RAMACHANDRAN, M. 2004. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8 365–381.
- RAZAK, J.; SOPIAN, K.; ALI, Y.; ALGHOUL, M.; ZAHARIM, A.AHMAD, I. 2009. Optimization of PV-Wind-Hydro-Diesel Hybrid System by Minimizing Excess Capacity. *European Journal of Scientific Research*, 25, 663-671.

RODRÍGUEZ, C.SARMIENTO, A. 2010. Dimensionado mediante simulación de sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a la electrificación rural *Ingeniería Mecánica*, 14, 13-21.

ROMERO, N. 1993. Teoría de la decisión multicriterio: Conceptos, técnicas y aplicaciones. *In: ALIANZA (ed.)*. Universidad Textos, Madrid.

ROY, B. 1985. Méthodologie multicritère d'aide la décision. *Collection Gestion*. Paris:: Economica.

SAATY, T. 1980. The analytic hierarchy process. New York:: McGraw-Hill.

SAATY, T. 1992. Decision making for leaders. . Pittsburgh: RWS Publications.

SÁEZ, E. 2002. El desarrollo sostenible como herrameinta transversal para todas las políticas rurales. España: Universidad de Zaragoza.

SAN CRISTÓBAL, J. 2011. Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in spain: The Vikor method. *Renewable Energy*, 36, 498-502.

SUNDBERG, G.KARLSSON, B. 2000. Interaction effects in optimising a municipal energy system *Energy* 25, 877–891.

THEODOROU, S.; FLORIDES, G.TASSOU, S. 2010. The use of multiple criteria decision making methodologies for the promotion of RES through funding schemes in Cyprus, A review. *Energy Policy*, 38, 7783-7792.

TURRINI, E. 2006. *El camino del sol, un desafío para la humanidad del tercer milenio, una esperanza para los países de sur.*, Cubasolar.

TWIDELL, J.WEIR, T. 2006. *Renewable Energy Resources*. London and New York:

WCED 1987 Our Common Future. *Conferencia de Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo*. MOPTMA, Madrid.: World Commission on Environment and Development

WEC 2007. Energy and Climate Change: promoting the sustainable supply and use of energy for the greatest benefit of all. *Energy and Climate Change Study*. London: World Energy Council 2007

WORLD BANK 1994. World Development Report 1994: Infrastructure for Development. New York: Oxford University.

ZELENY, M. 1982. Multiple criteria decision making. New York: McGraw-Hill.