



USO DE LA ENERGÍA EN LA AGRICULTURA *USE OF THE ENERGY IN AGRICULTURE*

ARTÍCULO ORIGINAL

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

Strategy of penetration of renewable power resources in the Granma province, through Analytical Hierarchy Process

Ing. Lázaro Ventura Benítez Leyva; Ing. Alain Ariel de la Rosa Andino; Ing. Jaime Fernando Jácome Cadena;
Ing. Cristian Rene Paredes Palomeque

Universidad de Granma, Facultad de Ingeniería, Dpto. de Ciencias Técnicas, Bayamo, Granma, Cuba.

RESUMEN. En la selección de nuevas fuentes energéticas para un país, región o comunidad rural, los criterios empleados para ello están en conflicto y se hace complejo determinar las opciones energéticas de mayor preferencia y prioridad. Por tanto, el presente trabajo tuvo como objetivo definir una estrategia de penetración de fuentes energéticas renovables a partir de la consulta de expertos y la posterior aplicación del procedimiento matemático “Análisis de Procesos Jerárquicos”. Los resultados arrojados fue que la estrategia energética de mejor desempeño para la provincia Granma es: la energía eólica para el bombeo de agua, la solar fotovoltaica para el bombeo de agua, la solar térmica para el sector que demanda agua caliente y la solar fotovoltaica para el sector eléctrico, en ese orden de prioridad.

Palabras clave: energía, análisis multicriterios, alternativas energéticas, estrategia energéticas.

ABSTRACT. In selecting new energy sources for a country, region or rural communities, the criteria to be considered conflict and it is difficult to determine the best energetic options as to preference and priority. Therefore, the present work had as objective to define a strategy of penetration of renewable energy sources from consultation of experts and the later application of the mathematical procedure “Analytic Hierarchy Process”. The obtained results suggest that the energy strategies of better performance for the Granma province are the following: eolian energy for water pumping, solar photovoltaic for water pumping, solar thermal energy for the sector which demands hot water, and solar photovoltaic for the electrical sector, in that order of priority.

Keywords: energy, multi-criteria analysis, energy alternatives, energy strategy.

INTRODUCCIÓN

En el sector de la energía se dan cita las dos caras de una misma moneda, que encierran la capacidad de sostenibilidad no sólo de este sector sino también de 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 las 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 (Piñero y Romero, 2001).

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 (Liu y Wu, 2010). 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).

Para definir una estrategia energética por medio de fuentes renovables hay que tener en cuenta que existen múltiples criterios y procesos, tales como los costos del sistema, las emisiones de gases de efecto invernadero, el equilibrio entre oferta y demanda, entre otros muchos factores y criterios. Estos procesos y factores, así como sus interacciones, son generalmente complejos y asociados con una variedad de incertidumbres que son complicadas debido a las competencias entre varias opciones del suministro de energía, las tecnologías de la conversión y la demanda de sus usuarios finales (Cai *et al.*, 2009; Bazmi y Zahedi, 2011). Por tanto, se hacen indispensables metodologías matemática que ayuden a desarrollar estrategias para la penetración de las energías renovables.

Granma es una provincia que presenta un gran potencial de recursos naturales (solar, eólico, mareomotriz, hidráulico) que pueden ser explotados con eficiencia para la obtención de energía elevando la calidad de vida tanto para el sector residencial urbano como para el rural (Bérriz *et al.*, 2010), y por ser una provincia netamente agrícola dispone de un gran potencial de biomasa producto de los procesos agroindustriales (secado y pelado del arroz, centro de beneficio del café, etc.) (Zamora *et al.*, 2005a; Zamora *et al.*, 2005b; de la Rosa *et al.*, 2007). Que pueden ser utilizados en la generación de energía para estos mismos procesos y elevar la calidad de vida de las personas vecinas de estas agroindustrias. Teniendo en cuenta la importancia de la explotación de los recursos energéticos renovables se concibe

el presente trabajo con el objetivo de definir una estrategia de penetración de las energías renovables en la provincia Granma aplicando el procedimiento matemático “Análisis Jerárquico de Procesos” (AHP, por sus siglas en inglés).

MÉTODOS

Caso analizado

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, siete de ellos tienen costas en el Mar Caribe y seis presentan zonas montañosas.

Caracterización del AHP

El AHP desarrollado por Saaty (1980), está diseñado para resolver problemas complejos multicriteriales (Li *et al.*, 2011). El proceso requiere que quien tome 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. Para esto se necesita establecer calificaciones numéricas que son las preferencias verbales expresadas por el decisor expresadas en la Tabla 1. Finalmente, esta evaluación se realiza en una matriz de comparaciones pareadas.

TABLA 1. Escala de preferencias

Planteamiento verbal de la preferencia	Calificación Numérica
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

Alternativas energéticas tenidas en consideración

Se valoró por parte de los investigadores las características de cada una de las fuentes energéticas aplicables a la región que se estudió, la necesidad de cada una y las posibilidades de aplicación real. Las alternativas energéticas evaluadas en este trabajo fueron: la solar fotovoltaica para el sector eléctrico (A1); la Solar térmica para el sector que demanda agua caliente (A2); la Eólica para el sector eléctrico (A3); la Mareomotriz para el sector eléctrico (A4); la Hidráulica para el sector eléctrico (A5); la Solar para el bombeo de agua (A6); la Eólica para el bombeo de agua (A7) y la Biomasa para electricidad (A8).

Criterios para la evaluación de las alternativas

Los criterios son todos aquellos aspectos que se deben tener en cuenta para definir qué alternativa energética debe ser tenida en cuenta como la de mayor preferencia. Dentro del AHP, se deben otorgar un valor de preferencia a estos criterios (Tabla 1). Para este

trabajo se tuvieron en cuenta los criterios tenidos en cuenta por Erol y Kilikis (2012), para la definición de una estrategia de penetración de energías renovables.

Facilidad del Acceso a la Fuente (FAF): ¿qué tan cerca y sencillo es el transporte de los diferentes recursos a la central de energía?

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 pueden 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 (ARL): ¿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): ¿pueden ser utilizados 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?

Puntos de vistas a tener en cuenta para evaluar los criterios

Los criterios fueron evaluados por expertos desde diferentes puntos de vistas, a saber:

Industria: desde el punto de vista de la industria, la viabilidad económica de la fuente es el aspecto más importante en la determinación de la política de la fuente de energía y los aspectos medioambientales solo son importantes para pre-

venir 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; Residentes locales: son generalmente personas que cuidan primero su propia situación economía-financiera y luego su salud; Académicos: son las personas que cuidan la tecnología y la primera razón es el interés de encontrar la tecnología más eficiente y amistosa con el medioambiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de la importancia relativa de los criterios respecto a varios puntos de vistas

Para la evaluación se tuvo en cuenta la escala de preferencias, la cual fue abordada en la Tabla 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.

De este modo, desde el punto de vista medioambiental, el criterio más importante fue 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 (Tabla 2).

TABLA 2. 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, pero desde el punto de vista de la industria, se muestran los resultados de las preferencias relativas que tienen los expertos en este tema en la Tabla 3, en lo 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.

TABLA 3. Preferencias relativas de los criterios utilizados desde el punto de vista de la industria

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)

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), como se muestra en la Tabla 4.

TABLA 4. 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	1/5	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 búsqueda de una paridad entre la tecnología y el medioambiente, por tanto los resultados fueron de la siguiente manera: Efecto de la Tecnología para el Medioambiente (ETM), Madurez de la Tecnología (MT), Aceptabilidad de los Residentes Locales y el Uso Suplementario de los Recursos (USR) (Tabla 5).

TABLA 5. 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	2	1/7	0,074 (5)
SF	7	1/2	1	1/5	4	1/3	1/5	1/6	0,071 (6)
MT	6	3	5	1	5	1/3	1/5	5	0,157 (2)
FTO	1/2	1/4	1/4	1/5	1	1/8	1/7	1/8	0,028 (8)
ETM	6	5	3	3	8	1	8	5	0,372 (1)
ARL	7	1/2	5	5	7	1/8	1	1/2	0,141 (3)
USR	8	7	6	1/5	8	1/5	2	1	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 Figura 1. El criterio de mayor preferencia para los expertos fue el ETM (Efecto de la Tecnología para el Medioambiente) con casi un 25% de logro. 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 (Figura 1); el siguiente criterio USR (Uso Suplementario de los Recursos) tiene una mayor diferencia respecto a los dos primeros, con 13% de logro, su diferencia de 8 puntos porcentuales (Figura 1).

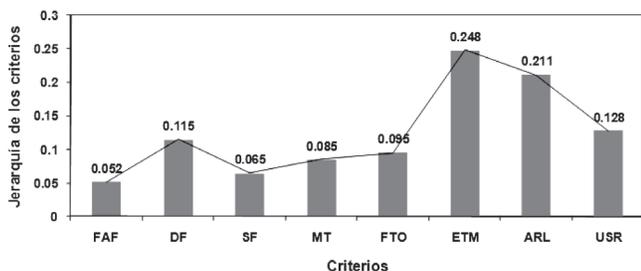


FIGURA 1. Jerarquía de los criterios desde los diferentes puntos de vistas.

Este resultado no se ajusta con lo planteado por Heo *et al.* (2010) referido a que los criterios de mayor jerarquía van a ser los económico y los del mercado. Para los citados autores los criterios medioambientales y sociales están detrás en jerarquía a los económicos. Sin embargo el criterio medioambiental es de mayor jerarquía en algunas investigaciones realizadas por Kahraman *et al.*, (2009; Kahraman y Kaya, (2010), en virtud de esto en este trabajo no se tuvo en cuenta directamente el

criterio económico (aunque está implícito en algunos de los criterios evaluados) para comprobar cómo influye esto en la opinión de expertos.

Evaluación de las alternativas respecto a cada criterio

Se realizó la evaluación de las alternativas energéticas propuestas respecto a cada criterio. En la Tabla 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) es la mayor acceso.

TABLA 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 y la eólica para electricidad (alternativa A1) es la de mayor preferencia relativa (Tabla 7) debido a que los expertos consideran que, en caso que se pueda realizar una central energética con estas tecnologías, ellas son la de mayor durabilidad.

TABLA 7. Durabilidad de la Fuente (DF)

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

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 8 se muestra que la alternativa A1 (solar fotovoltaica para electricidad) es la de mayor durabilidad.

TABLA 8. Sostenibilidad de la Fuente (SF)

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

La alternativa A7 (Tabla 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. 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.

TABLA 9. Madurez de la Tecnología (MT)

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

Asimismo, 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 10).

TABLA 10. Fiabilidad Tecnológica y de Operación (FTO)

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

Desde el punto de vista del Efecto de la Tecnologías 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 estas tecnologías son poco contaminadoras del medioambiente y cambian poco el paisaje de la zona (Tabla 11).

TABLA 11. Efecto de la Tecnología para el Medioambiente (ETM)

ETM	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	Logro
A1	1	1	4	8	5	1	2	8	0,226 (2)
A2	1	1	4	2	3	1	1/2	5	0,176 (3)
A3	1/4	1/4	1	2	4	1/2	1/4	2	0,072 (5)
A4	1/8	1/2	1/2	1	2	1/4	1/3	3	0,052 (7)
A5	1/5	1/3	1/4	1/2	1	1/2	1/3	4	0,059 (6)
A6	1	1	2	4	2	1	4	6	0,232 (1)
A7	1/2	2	4	3	3	1/4	1	8	0,153 (4)
A8	1/8	1/5	1/2	1/3	1/4	1/6	1/8	1	0,027 (8)

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 12).

TABLA 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 (6)
A2	1/2	1	1/4	2	4	2	3	1/3	0,163 (3)
A3	5	4	1	3	2	4	7	4	0,288 (1)
A4	4	1/2	1/3	1	1/4	3	4	2	0,096 (4)
A5	4	1/4	1/2	4	1	6	5	8	0,187 (2)
A6	3	1/2	1/4	1/3	1/6	1	1	1/2	0,059 (7)
A7	1/4	1/3	1/7	1/4	1/5	1	1	1/2	0,033 (8)
A8	1/5	3	1/4	1/2	1/8	2	2	1	0,088 (5)

La energía eólica es la alternativa energética de mayor preferencia (Tabla 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 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 (1)
A2	1/8	1	1/8	1/8	1/8	1	1	1/8	0,014 (8)
A3	1/5	8	1	1	1	8	9	2	0,110 (6)
A4	1	8	1	1	1/3	6	7	4	0,135 (4)
A5	1/8	8	1	3	1	8	9	2	0,149 (3)
A6	1/5	1	1/8	1/6	1/8	1	1	1/6	0,017 (7)
A7	1/8	1	1/9	1/7	1/9	1	1	8	0,114 (5)
A8	9	8	1/2	1/4	1/2	6	8	1	0,220 (2)

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 14.

TABLA 14. Resultados obtenidos de la evaluación de los expertos de cada alternativa respecto a los criterios tenidos en cuenta

	FAF	DF	SF	MT	FTO	ETM	ARL	USR	Logro
A1	0,225	0,249	0,298	0,153	0,314	0,226	0,086	0,241	0,223 (1)
A2	0,135	0,197	0,107	0,117	0,181	0,176	0,163	0,014	0,136 (3)
A3	0,234	0,077	0,088	0,108	0,038	0,072	0,288	0,110	0,126 (4)
A4	0,067	0,146	0,087	0,039	0,030	0,052	0,096	0,135	0,081 (7)
A5	0,079	0,117	0,108	0,114	0,055	0,059	0,187	0,149	0,108 (6)
A6	0,096	0,138	0,115	0,065	0,153	0,232	0,059	0,017	0,109 (5)
A7	0,136	0,054	0,125	0,377	0,208	0,153	0,033	0,114	0,149 (2)
A8	0,027	0,070	0,070	0,026	0,022	0,027	0,088	0,220	0,068 (8)

Alternativas adecuadas según el nivel de jerarquía de los criterios

Finalmente, se obtuvo el orden de las alternativas energéticas basadas en el nivel de jerarquía de los criterios, el cual cambia un tanto las alternativas de preferencia sin nivel de jerarquía. En este caso, al logro obtenido en la Tabla 14, se le multiplica al nivel de jerarquía que se le otorgó a los criterios

tenidos en cuenta.

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) (Figura 2).

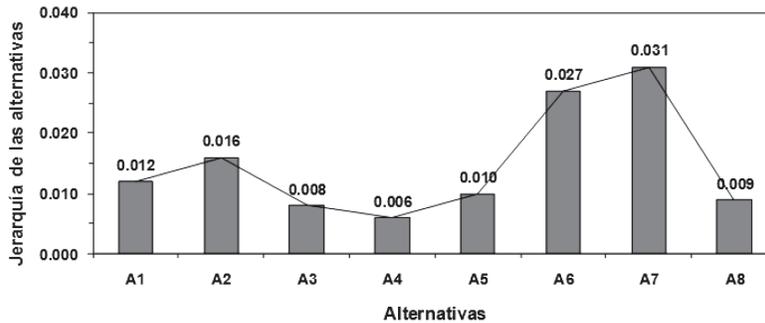


FIGURA 2. Ordenamiento de las alternativas según la jerarquización de los criterios

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. Este resultado concuerda de cierta forma con Erol y Kilic (2012), debido a que el trabajo realizado por estos autores arrojó que la alternativa solar fotovoltaica se encuentra dentro de las de mayor logro.

CONCLUSIONES

- Por medio de la búsqueda bibliográfica se determinaron las metodologías de apoyo a la toma de decisiones.
- Se obtuvo una metodología aplicable para la definición de una estrategia de penetración de fuentes renovables de energía.
- Se definió que la estrategia energética de penetración de energías renovables más adecuada para la provincia Granma es la energía eólica para el bombeo de agua, la solar para el bombeo de agua; la solar térmica para el sector que demanda agua caliente y la solar fotovoltaica para el sector eléctrico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAZMI, A. & G. ZAHEDI: "Sustainable energy systems: Role of optimization modeling techniques in power generation and supply-A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 15: 3480-3500, 2011.
2. BÉRRIZ, L.; A. CALZADILLA; J. GONZÁLEZ; J. INFANTE; A. MONTESINOS; C. MORENO; A. ZAYAS: *Solarización territorial: vía para el logro del desarrollo sostenible*, Ed. Cubasolar, 2010.
3. BROWNSTEIN, R. *The California Experiment*, *Atlantic Monthly [en línea]* Disponible en: <http://www.theatlantic.com/doc/200910/california-energy> [Consulta 20 de enero 2010].
4. CAI, Y.; G. HUANG; Q. LIN; X. NIE & Q. TAN: "An optimization-model-based interactive decision support system for regional energy management systems planning under uncertainty", *Expert Systems with Applications*, 36(1): 3470-3482, 2009.
5. DE LA ROSA, A.; L. ZAMORA; B. SARRÍA: "Quemador de doble turbulizador estático (QDTE): una tecnología para la combustión de biomasa en el proceso de secado agroindustrial", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(4): 63-68, 2007.
6. EROL, Ö. & B. KILKIS: "An energy source policy assessment using analytical hierarchy process". En: *Energy Conversion and Management*, In Press, Corrected Proof: USA, 2012.
7. HEO, E.; J. KIM & K. BOO: "Analysis of the assessment factors for renewable energy dissemination program evaluation using fuzzy AHP", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (1): 2214-2220, 2010.
8. KAHRAMAN, C.; H. KAYA & S. CEBI: "A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process", *Energy*, 34(10): 1603-1616, 2009.
9. KAHRAMAN, C. & I. KAYA: "A fuzzy multicriteria methodology for selection among energy alternatives", *Expert Systems with Applications*, 37(9): 6270-6281, 2010.
10. LI, G.; G. HUANG; Q. LIN; X. ZHANG; Q. TAN & Y. CHEN: "Development of a GHG -mitigation oriented inexact dynamic model for regional energy system management", *Energy*, 36 (1): 3388-3398, 2011.
11. LIU, H.-Y. & S.-D. WU: "An assessment on the planning and construction of an island renewable energy system. A case study of Kinmen Island", *Renewable Energy*, 35 (1): 2723-2731, 2010.
12. PIÑEIRO, J.; N. ROMERO: "El desarrollo sostenible en el sector energético: las energías renovables en Galicia y su aportación al Grupo Unión Fenosa", *Revista Gallega de Economía*, 10(2): 1-23, 2001.
13. SAATY, T.: *The analytic hierarchy process*, Ed. McGraw-Hill, New York; USA, 1980.
14. SUNDBERG, G. & B. KARLSSON: "Interaction effects in optimising a municipal energy system", *Energy*, 25(1): 877-891, 2000.
15. ZAMORA, L.; B. SARRÍA; Y. CISNERO: "Uso de la biomasa como fuente de energía para el secado agroindustrial del café: estudio de caso", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 14(1): 55-60, 2005.
16. ZAMORA, L.; B. SARRIA; Y. CISNERO; C. RODRÍGUEZ: *Cocinas eicientes una alternativa energetica y ecologica para la coccion de alimentos. [en línea] 2005, Disponible en: <http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/revistas/import/Cocinas%2520eficientes%2520alternativa%2520energetica.pdf> [Consulta 20 de enero 2010].*

Recibido: 24 de julio de 2012.

Aprobado: 5 de septiembre de 2013.

Lázaro Ventura Benítez Leyva, Prof. Asistente, Universidad de Granma, Dpto. de Ciencias Técnicas, Carretera Bayamo-Manzanillo km. 17 ½. Apdo. 21. Bayamo. Granma. Cuba, CP 85100, Correo electrónico: lbenitez@udg.co.cu