

ARTÍCULO ORIGINAL

Evaluación multicriterio de proyectos energéticos renovables en Sancti Spíritus, Cuba

Multi-criteria Evaluation of Renewable Energy Projects in Sancti Spiritus, Cuba

Ariel Manuel Martín Barroso,^I Grisell Leyva Ferreiro,^{II} Jorge Manuel Ríos Obregón,^{III} Fernando Medinilla Nápoles^{IV}

^I Universidad de Sancti Spíritus, Cuba.

^{II} Universidad de La Habana, Cuba.

^{III} Universidad Regional Amazónica Ikiam, Ecuador.

^{IV} Centro Meteorológico Provincial, Sancti Spíritus, Cuba.

Resumen

En el presente artículo se exponen los resultados de la evaluación multicriterio realizada a dos inversiones en energías renovables de la provincia cubana Sancti Spíritus, con el objetivo de seleccionar la tecnología más apropiada. De acuerdo con las potencialidades del territorio, dentro de las opciones más atractivas se hallan la solar fotovoltaica y la bioenergética, por lo que se llevó a cabo una comparación entre el parque solar de Neiva y la bioeléctrica Uruguay. La metodología empleada se sustenta en la revisión documental, con énfasis en las concepciones teórico-metodológicas más adecuadas en la actualidad, en las investigaciones consultadas, en la inclusión del costo social de la energía en la dimensión económica, aspecto que influye en la novedad del estudio, y en el empleo de la técnica multicriterio «Proceso Analítico Jerárquico». Esta visión alternativa de la evaluación de proyectos de inversión permitió extender el proceso valorativo al campo socioeconómico y su relación con el desarrollo sostenible.

Palabras clave: fuentes renovables, inversión, Proceso Analítico Jerárquico.

Abstract

In this article are presented the results of the multi-criteria evaluation carried out in two renewable energy investments in the Cuban province of Sancti Spíritus, aimed at selecting the most suitable technology. According to the potential of the territory, among the most attractive options are solar photovoltaic and bioenergetics. The methodology used is based on the documentary review, with emphasis on the most currently appropriate theoretical-methodological conceptions, in the researches consulted, on the inclusion of the social cost of energy in the economic dimension, an aspect that influences the novelty of the study, and in the use of the multi-criteria technique "Hierarchical Analytical Process". This alternative vision of the investment projects' evaluation allowed to extend the value process to the socioeconomic field and its relation with sustainable development.

Keywords: *renewable sources, investment, Hierarchical Analytical Process.*

Introducción

Actualmente, la toma de decisiones sobre inversión constituye un proceso que se torna cada vez más complicado, debido a dos razones fundamentales: la complejidad de los sistemas socioeconómicos y las particularidades del sector evaluado (Martín y Leyva, 2017). Asimismo, a causa del desarrollo sostenible, la evaluación de proyectos ha pasado de un enfoque estrictamente económico a uno más integral, en sintonía con el *Triple Bottom Line* definido por Elkington (1994).

Dentro de las herramientas alternativas recogidas por la literatura, se destaca la evaluación multicriterio (MCDM o MCDA por sus siglas en inglés). Entre las técnicas que propone, el Proceso Analítico Jerárquico (AHP por sus siglas en inglés) se puede considerar como una de las más aplicadas en los procesos valorativos (Martín y Leyva, 2017). Para el caso concreto del sector energético renovable, es recomendada por Parodi (2013), Danesh *et al.* (2015), Pangsri (2015), Ishizaka *et al.* (2016), Lanjewar *et al.* (2016) y Robles *et al.* (2017).

Basado en los planteamientos anteriores, en el presente artículo se expone una investigación realizada en la provincia cubana Sancti Spíritus, en la cual se estableció una comparación entre la energía solar fotovoltaica y la bioenergía, a partir de la evaluación de proyectos mediante el empleo del AHP. Como casos de estudio, se seleccionaron el parque solar fotovoltaico de Neiva y la bioeléctrica Uruguay. El trabajo se divide en tres secciones fundamentales, en correspondencia con la introducción, los materiales y métodos y las conclusiones.

1. Materiales y métodos. AHP: la técnica más popular del paradigma MCDM

El calificativo de «más popular», con respecto al AHP, se debe a tres razones básicas (Aznar y Guijarro, 2012):

- Se adecua a distintas situaciones.
- Su cálculo es sencillo a través de cualquier *software*.
- Se puede emplear de forma individual y mediante alguna técnica grupal.

El AHP fue desarrollado por Saaty (1980), quien inicialmente definió una metodología para su aplicación. No obstante, ha sufrido algunas variaciones con el desarrollo de la Teoría de la Decisión. Su objetivo fundamental consiste en la selección de una alternativa dentro de un grupo de ellas (Stojčetočić y Đorđević, 2017), lo que lo convierte en un método intuitivo y flexible para la toma de decisiones, basado en la consistencia del juicios de expertos. Su aplicación adquiere una mayor relevancia en el caso de proyectos relacionados con fuentes de energía renovables (Robles *et al.*, 2017).

Diversos estudios doctorales sobre evaluación de proyectos, incluyendo algunos relacionados con fuentes renovables, han aplicado el AHP. Entre los principales investigadores se destacan Parodi (2013), Sanaei (2014) y Afsordegan (2015), quienes han demostrado su empleo en teorías novedosas. Ello ha permitido la evaluación de proyectos con un carácter multidimensional, lo que le otorga a las dimensiones social y ambiental la importancia que poseen.

Con el objetivo de localizar las tendencias metodológicas más actuales aplicadas al sector objeto de estudio, se realizó una búsqueda documental exhaustiva que permitió combinar las opiniones de Robles *et al.* (2017) y Stojčetović y Đorđević (2017). En tal sentido, para aplicar con éxito el AHP al sector renovable, se recomiendan los siguientes pasos:

1. Establecer la jerarquía del problema: meta, criterios y alternativas.
2. Establecer prioridades para los criterios: se asignan valores ponderados a cada uno, de manera que se emplea la tabla propuesta por Saaty (1980) para la comparación por pares. Como resultado final, los criterios quedan expresados como pesos relativos.
3. Verificar la consistencia de los juicios de los expertos: se miden tres aspectos relevantes: el Índice de Consistencia (CI por sus siglas en inglés), el Índice de Consistencia Aleatoria (RI por sus siglas en inglés) y la Razón de Consistencia (CR por sus siglas en inglés).
4. Definir prioridades para los subcriterios: también se emplean las comparaciones por pares y debe verificarse la consistencia como se hizo en el paso anterior.
5. Definir prioridades para las alternativas: las comparaciones se establecen entre alternativas y no entre criterios como en pasos anteriores.
6. Obtener los valores globales de los criterios, subcriterios y alternativas con el apoyo en la multiplicación de matrices. La suma de las ponderaciones de las alternativas en relación con cada criterio es el mecanismo para evaluar la más idónea.

La tabla de Saaty, utilizada para establecer las comparaciones en todos los niveles, es la siguiente (tabla 1).

Tabla 1. Escala de Saaty

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	
	Si el criterio A es de importancia grande frente al criterio B, las notaciones Recíprocos de lo anterior serían las siguientes:	
	<ul style="list-style-type: none"> • Criterio A frente a criterio B 5/1 • Criterio B frente a criterio A 1/5 	

Fuente: Aznar y Guijarro (2012).

Entre los elementos más importantes del procedimiento, se hallan los criterios y subcriterios a emplear para un estudio de fuentes renovables, los cuales deben brindar una descripción más detallada del sector.

2. Criterios y subcriterios para la investigación

Para definir los criterios y subcriterios utilizados en el estudio, la fuente empleada fue Robles *et al.* (2017), ya que el autor abarca las dimensiones técnica, económica, social, ambiental y de riesgo. Sin embargo, la novedad de la investigación consiste en la utilización de otros subcriterios en la categoría económica, de modo que se destaca la inclusión del Costo Social de la Energía (SCOE por sus siglas en inglés). Ello permitirá considerar costos sociales que no se tienen en cuenta en el análisis tradicional. Estas particularidades se pueden apreciar en la tabla 2.

Tabla 2. Criterios y subcriterios empleados en el estudio

CRITERIOS	SUBCRITERIOS Y DESCRIPCIONES ASOCIADAS
Técnico (C.1)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Eficiencia en la conversión de energía primaria. 2. Madurez de la tecnología: estado de desarrollo de la energía renovable. 3. Disponibilidad de repuestos: disponibilidad de piezas para el mantenimiento preventivo y correctivo. 4. Infraestructura: existencia de la infraestructura física necesaria para implementar el sistema renovable. 5. Confiabilidad: capacidad del sistema para funcionar según el diseño y soportar fallas.
Económico (C.2)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Valor Actual Neto (VAN) – Valor Actual Neto Social (VANS): miden la riqueza que aporta el proyecto desde los enfoques privado y social. 2. Tasa Interna de Retorno (TIR) – Tasa Interna de Retorno Social (TIRS): establecen las tasas atractivas máximas para invertir desde las perspectivas privada y social. 3. Costo Nivelado de la Energía (LCOE por sus siglas en inglés) – SCOE: son medidas globales de los costos del proyecto, analizadas desde las aristas privada y social. 4. Período de Recuperación de la Inversión Descontado (PRD): establece el tiempo en el que se recupera la inversión realizada. 5. Vida de servicio: tiempo durante el cual los dispositivos del sistema pueden emplearse según las especificaciones de fábrica.
Social (C.3)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aceptabilidad de los residentes locales: disposición de la comunidad para aceptar la implementación del sistema renovable. 2. Creación de empleos locales: número de empleos locales creados para la instalación, mantenimiento y reparación del sistema renovable. 3. Energía para la salud y educación rurales: capacidad del sistema renovable para suministrar electricidad en escuelas y centros de salud pertenecientes a la comunidad. 4. Instalación en tierras vírgenes o protegidas: aceptación de la comunidad para instalar el sistema renovable en estos ambientes protegidos.
Ambiental (C.4)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Emisiones de gases nocivos: emisiones de gases de efecto invernadero producidos por el sistema renovable. 2. Requerimientos de tierra y recursos hídricos: recursos de tierra y agua necesarios para implementar el sistema renovable. 3. Impacto visual: impacto del sistema renovable en el paisaje natural existente en la comunidad rural. 4. Residuos peligrosos: generación de residuos que afectan el medio ambiente.
Riesgo (C.5)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fenómenos naturales: riesgos asociados a la ocurrencia de fenómenos naturales (tormentas, huracanes, lluvias, etcétera). 2. Riesgo de la inversión: asociado a las variaciones de la tasa de mercado. 3. Obsolescencia tecnológica: se corre el riesgo de que el equipamiento se vuelva obsoleto a corto o mediano plazo, así como de que se detenga la fabricación de equipos y no puedan reemplazarse.

3. Características de las tecnologías renovables objeto de estudio

Los proyectos seleccionados pertenecen a la provincia Sancti Spíritus, donde, como se había referido previamente, se estudió la factibilidad de dos tipos de fuentes (solar y bioenergía). Para ello, se utilizaron criterios de expertos, en correspondencia con las potencialidades energéticas de la provincia.

Para el proyecto solar, se tomó como referencia el parque solar fotovoltaico de Neiva, en el municipio Cabaiguán. La Empresa Eléctrica de Sancti Spíritus es la encargada de la obra, que poseerá una potencia de 4,4 *megawatts* (MW). Para el bioenergético, se consideró una bioeléctrica estatal que se pretende implementar en el central azucarero Uruguay del municipio Jatibonico, mediante un convenio internacional Cuba-China. Por la parte cubana, se destaca el grupo Azcuba y, actualmente, el contrato está debidamente firmado y existe un crédito preferencial en bancos chinos. La potencia será de 60 MW.

4. Selección de los expertos para la investigación

Con el propósito de obtener una muestra significativa de datos, se realizaron esfuerzos por contactar con una cantidad considerable de expertos en el tema, de manera que predominó el contacto vía correo electrónico (92 %). Finalmente, participaron 30, con la siguiente categorización:

- 11 académicos sin vínculo empresarial (37 %).
- 16 académicos vinculados al mundo empresarial sin nexos con la docencia (53 %).
- 3 académicos que vinculan la universidad y el mundo empresarial (10 %).

Para sintetizar los valores aportados por ellos y en correspondencia con Robles *et al.* (2017), se les asignaron ponderaciones iguales y se calculó su media geométrica. Asimismo, se utilizó como herramienta informática la hoja de cálculo en Excel propuesta por Jerónimo Aznar Bellver (2005). Por otro lado, uno de los instrumentos más importantes para aplicar el AHP es el *software* Expert Choice pero, desafortunadamente, no fue posible obtenerlo.

5. Procesamiento de los datos. Jerarquía del problema (objetivo, criterios, subcriterios y alternativas)

Este paso inicial es muy importante, pues contiene la estructuración del modelo. En tal sentido, todo lo que se defina debe ser lo que describa el entorno del proyecto lo más racionalmente posible. En la figura 1, se presenta la jerarquización del estudio.

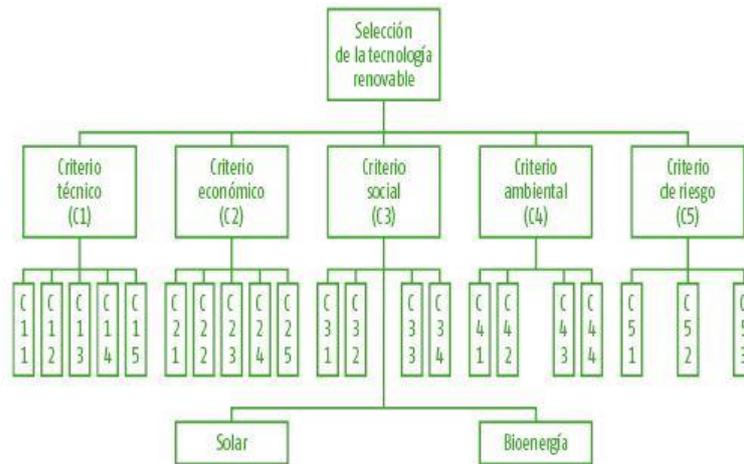


Figura 1. Jerarquización del estudio.

Antes de establecer las comparaciones derivadas de los criterios aportados por los expertos, es importante destacar que la información fue consistente en todos los casos. Así, suponiendo su cumplimiento, para una matriz de orden 3, 4, 5 (o mayor), la CR máxima debe ser 5, 9 y 10 %, respectivamente (Aznar y Guijarro, 2012).

5.1. Prioridades para los criterios

El establecimiento de las prioridades para los criterios (tabla 3) permitirá determinar la importancia relativa de cada uno.

Tabla 3. Ponderaciones para los criterios

	C.1.	C.2.	C.3.	C.4.	C.5.	VECTOR PROPIO
C.1.	1	0,9877	2,8645	2,0217	3,0111	0,3043
C.2.	1,0125	1	2,9942	1,9634	2,0155	0,2792
C.3.	0,3491	0,3340	1	0,3299	0,2476	0,0701
C.4.	0,4946	0,5093	3,0312	1	2,8652	0,2086
C.5.	0,3321	0,4962	4,0388	0,3490	1	0,1378
CR	7,33 %	< 10 %	Hay consistencia			

Como se puede apreciar, prevalece el criterio técnico (30 %),¹ los juicios económico y ambiental presentan valores similares (28 y 21 %, respectivamente) y el criterio social es el más deprimido (7 %).

5.2. Prioridades para los subcriterios

En este caso, y en correspondencia con cada subcriterio, se elaboraron cinco tablas, lo que permitirá conocer la importancia relativa de cada uno. En tal sentido, en la tabla 4 se presenta el análisis de los subcriterios para el criterio técnico.

Tabla 4. Ponderaciones para los subcriterios del criterio técnico

	C.1.1.	C.1.2.	C.1.3.	C.1.4.	C.1.5.	VECTOR PROPIO
C.1.1.	1	2,7941	2,9019	1,4377	2,1948	0,345
C.1.2.	0,3579	1	3,0340	0,9984	1,0114	0,1927
C.1.3.	0,3446	0,3296	1	0,8841	0,8916	0,1151
C.1.4.	0,6956	1,0016	1,1311	1	2,7744	0,217
C.1.5.	0,4556	0,9887	1,1216	0,3604	1	0,1302
CR	5,91 %	< 10 %	Hay consistencia			

Como se observa, prevalece el subcriterio «eficiencia de la energía» (35 %) y los restantes presentan ponderaciones heterogéneas, siendo la «disponibilidad de repuestos» el más deprimido (12 %).

Por otra parte, en la tabla 5 se exponen los resultados de los subcriterios del criterio económico. Evidentemente, sobresale el subcriterio «VAN» (38 %) y los restantes exhiben ponderaciones homogéneas (todas entre 10 y 20 %).

Tabla 5. Ponderaciones para los subcriterios del criterio económico

	C.2.1.	C.2.2.	C.2.3.	C.2.4.	C.2.5.	VECTOR PROPIO
C.2.1.	1	2,8817	2,0544	2,8901	1,9745	0,3751
C.2.2.	0,347	1	1,6618	2,2569	1,0611	0,1985
C.2.3.	0,4868	0,6018	1	0,9655	0,7945	0,1352
C.2.4.	0,346	0,4431	1,0357	1	0,9948	0,1269
C.2.5.	0,5065	0,9424	1,2587	1,0052	1	0,1643
CR	2,42 %	< 10 %	Hay consistencia			

En la tabla 6, se proponen los resultados para los subcriterios del criterio social.

Tabla 6. Ponderaciones para los subcriterios del criterio social

	C.3.1.	C.3.2.	C.3.3.	C.3.4.	VECTOR PROPIO
C.3.1.	1	3,5682	2,1244	1,1255	0,3998
C.3.2.	0,2803	1	0,8923	0,6549	0,147
C.3.3.	0,4707	1,1207	1	1,4415	0,2198
C.3.4.	0,8885	1,527	0,6937	1	0,2334
CR	5,12 %	< 9 %	Hay consistencia		

Indiscutiblemente, se destaca la aceptación local de la energía. Los subcriterios relacionados con la energía para la salud y con las tierras vírgenes presentan valores homogéneos (20 %), siendo la «creación de empleos locales» el más bajo (15 %).

Por otro lado, en la tabla 7 se expone el análisis de los subcriterios correspondientes al criterio ambiental.

Tabla 7. Ponderaciones para los subcriterios del criterio ambiental

	C.4.1.	C.4.2.	C.4.3.	C.4.4.	VECTOR PROPIO
C.4.1.	1	2,9535	6,1522	1,1123	0,4527
C.4.2.	0,3386	1	2,5638	1,0124	0,2033
C.4.3.	0,1626	0,39	1	0,4219	0,0844
C.4.4.	0,899	0,9878	2,3702	1	0,2596
CR	4,13 %	< 9 %	Hay consistencia		

Como se aprecia, prevalece el subcriterio «emisiones de gases nocivos» (45 %) y, en un segundo nivel (20 %), se ubican los requerimientos de tierra y agua, así como los residuos peligrosos. El impacto del proyecto en el paisaje es el más deprimido (8 %).

Finalmente, se presentan, en la tabla 8, los resultados de los subcriterios asociados al criterio «riesgo».

Tabla 8. Ponderaciones para los subcriterios del criterio riesgo

	C.5.1.	C.5.2.	C.5.3.	VECTOR PROPIO
C.5.1.	1	1,964	0,9877	0,407
C.5.2.	0,5092	1	0,8421	0,246
C.5.3.	1,0125	1,1875	1	0,347
CR	2,85 %	< 5 %		

Es apreciable que se destaca el subcriterio «fenómenos naturales» (41 %) y que los restantes son bastante homogéneos, con ligera diferencia para «obsolescencia tecnológica» sobre el «riesgo de la inversión» (35 % vs. 25 %, respectivamente).

5.3. Prioridades para las alternativas con respecto a los criterios

Para el análisis de las alternativas se elaboraron cinco tablas, una para cada criterio, lo que permitió su adecuado ordenamiento. Así, en la tabla 9, es posible apreciar el comportamiento de las alternativas asociadas al criterio técnico. Como se verá, prevalece la energía solar (64 %).

Tabla 9. Ponderaciones para las alternativas respecto al criterio técnico

	SOLAR	BIOENERGÍA	VECTOR PROPIO
SOLAR	1	1,7942	0,6421
BIOENERGÍA	0,5574	1	0,3579
CR	0 %	= 0 %	Hay consistencia

En la tabla 10, por su parte, se presentan las alternativas correspondientes al criterio económico. Se podrá observar que predomina, de manera significativa, la energía solar (77 %).

Tabla 10. Ponderaciones para las alternativas respecto al criterio económico

	SOLAR	BIOENERGÍA	VECTOR PROPIO
SOLAR	1	3,3522	0,7702
BIOENERGÍA	0,2983	1	0,2298
CR	0 %	= 0 %	Hay consistencia

Por otro lado, en la tabla 11 se exponen las alternativas relacionadas con el criterio social. Se apreciará que, en este caso, también predomina la energía solar (51 %), aunque no tan notablemente como se había presentado en los resultados previos.

Tabla 11. Ponderaciones para las alternativas respecto al criterio social

	SOLAR	BIOENERGÍA	VECTOR PROPIO
SOLAR	1	1,0195	0,5048
BIOENERGÍA	0,9809	1	0,4952
CR	0 %	= 0 %	Hay consistencia

A continuación, en la tabla 12, se presentan las alternativas referidas al criterio ambiental. Se observará que, igualmente, prevalece la energía solar (67 %).

Tabla 12. Ponderaciones para las alternativas respecto al criterio ambiental

	SOLAR	BIOENERGÍA	VECTOR PROPIO
SOLAR	1	2,0241	0,6693
BIOENERGÍA	0,494	1	0,3307
CR	0 %	= 0 %	Hay consistencia

Por último, en la tabla 13, se recogen las alternativas asociadas al criterio «riesgo». Como se verá, también sobresale la energía solar (75 %). Este es el caso de mayor separación entre los porcentajes, de modo que se considera mucho más riesgosa la energía solar que la bioenergética.

Tabla 13. Ponderaciones para las alternativas respecto al criterio riesgo

	SOLAR	BIOENERGÍA	VECTOR PROPIO
SOLAR	1	3,0311	0,7519
BIOENERGÍA	0,3299	1	0,2481
CR	0 %	= 0 %	Hay consistencia

En el caso de las prioridades para las alternativas con respecto a los subcriterios, se elaboraron 21 tablas, lo que permitió organizarlas adecuadamente. No obstante, no se presentarán debido a su extensión.

6. Resultados finales

Las ponderaciones finales de las alternativas dependen de aquellas que se encuentran a nivel de subcriterios y criterios. Con apoyo en el producto de matrices y según Aznar y Guijarro (2012) y Robles *et al.* (2017), se procede, a nivel de subcriterios, de la siguiente manera:

$$A_{2 \times 21} B_{21 \times 21} = C_{2 \times 1}$$

donde:

A: matriz formada por los vectores propios de las ponderaciones de las alternativas con respecto a los subcriterios.

B: vector propio de los subcriterios.

C: vector resultante, a nivel de subcriterios, que se normaliza.

Existen varias maneras de normalizar conjuntos de datos pero, por su uso frecuente y sencillez, se empleará la normalización por la suma, en correspondencia con Aznar y Guijarro (2012). Por tanto, a nivel de criterios:

$$D_{2 \times 5} E_{5 \times 1} = F_{2 \times 1}$$

donde:

D: matriz formada por los vectores propios de las ponderaciones de las alternativas con respecto a los criterios.

E: vector propio de los criterios.

F: vector resultante a nivel de criterios.

Luego, las ponderaciones finales por alternativa resultaron del producto de la ponderación obtenida a nivel de subcriterios por la obtenida a nivel de criterios en cada caso y normalizando los valores finales. Las matrices serían:

$$A = \begin{pmatrix} 0,5904 & 0,6291 & 0,7803 & 0,4937 & 0,669 & 0,501 & 0,4999 & 0,5332 & \dots & 0,8378 \\ 0,4096 & 0,3709 & 0,2197 & 0,5063 & 0,331 & 0,499 & 0,5001 & 0,4668 & \dots & 0,1632 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 0,345 \\ 0,1927 \\ 0,1151 \\ 0,217 \\ 0,1302 \\ 0,3751 \\ 0,1985 \\ 0,1352 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 0,347 \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} 0,6286 \\ 0,3714 \end{pmatrix}$$

$$D = \begin{pmatrix} 0,6421 & 0,7702 & 0,5048 & 0,6693 & 0,7519 \\ 0,3579 & 0,2298 & 0,4952 & 0,3307 & 0,2481 \end{pmatrix}$$

$$E = \begin{pmatrix} 0,3043 \\ 0,2792 \\ 0,0701 \\ 0,2086 \\ 0,1378 \end{pmatrix}$$

$$F = \begin{pmatrix} 0,689 \\ 0,311 \end{pmatrix}$$

Finalmente:

$$\text{Ponderaciones finales} = \begin{pmatrix} \frac{0,6286 * 0,689}{0,6286 * 0,689 + 0,3714 * 0,311} \\ \frac{0,3714 * 0,311}{0,6286 * 0,689 + 0,3714 * 0,311} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,7895 \\ 0,2105 \end{pmatrix}$$

Por tanto, de la aplicación del AHP para este caso de estudio, resulta que la tecnología solar es más apropiada que la bioenergética (79 % vs. 21 %). Este resultado era visible tras el cruce de alternativas y criterios, en términos de ponderaciones por parte de los expertos sobre sus importancias relativas.

Conclusiones

En el estudio, se aplicó la herramienta multicriterio AHP a la evaluación de inversiones energéticas renovables en Sancti Spíritus, donde se analizaron dos fuentes diferentes: solar y bioenergética. La primera de ellas resultó ser la más factible.

El AHP considera, fundamentalmente, el criterio de expertos. Asimismo, es importante destacar que esta manera de analizar la factibilidad de un proyecto no sustituye al método tradicional (principalmente, el que emplea flujos de cajas descontados) sino que lo complementa, pues constituye otra arista de la evaluación de inversiones. A pesar de ello, la principal dificultad radica en su subjetividad; no obstante, su fortaleza responde a que permite combinar diferentes dimensiones evaluativas (técnica, económica, social, ambiental y de riesgo), aspecto que brinda una visión integral del proceso evaluativo y que se corresponde con el desarrollo sostenible.

Referencias bibliográficas

AFSORDEGAN, A. (2015): «A Contribution to Multi-Criteria Decision Making in Sustainable Energy Management Based on Fuzzy and Qualitative Reasoning», tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

AZNAR BELLVER, J. (2005): «Programa de cálculo de la consistencia y el vector propio de las matrices de comparación pareada», <<http://alfpro.cc.upv.es:8080/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/6c1affc9-9eb1-4f45-ab03-0006a858c28f/Programa%20calculo%20AHP.xls>> [10/9/2017].

AZNAR, J. y F. GUIJARRO (2012): *Nuevos métodos de valoración. Modelos multicriterio*, Editorial Universidad Politécnica de Valencia, España.

DANESH, D. *et al.* (2015): «Using Analytic Hierarchy Process as a Decision-Making Tool in Project Portfolio Management», <<http://dx.doi.org/scholar.waset.org/1999.10/10003073>> [10/9/2017].

ELKINGTON, J. (1994): «Towards the Sustainable Corporation: Win-Win-Win Business Strategies for Sustainable Development», <<http://dx.doi.org/10.2307/41165746>> [10/9/2017].

ISHIZAKA, A. *et al.* (2016): «Which Energy Mix for the UK (United Kingdom)? An Evolutive Descriptive Mapping with the Integrated GAIA (Graphical Analysis for Interactive Aid)–AHP (Analytic Hierarchy Process)», *Energy*, vol. 95, Elsevier, Amsterdam, pp. 602-611.

LANJEWAR, P. B. *et al.* (2016): «Evaluation and Selection of Energy Technologies Using an Integrated Graph Theory and Analytic Hierarchy Process methods», *Decision Science Letters*, vol. 5, n.º 2, Canadá, pp. 327–348.

MARTÍN, A. M. y G. LEYVA (2017): «Análisis crítico de la inversión en energías renovables. Enfoque socioeconómico», *Cofin Habana*, vol. 11, n.º 2, La Habana, pp. 69-90.

PANGSRI, P. (2015): «Application of the Multi Criteria Decision Making Methods For Project Selection», *Universal Journal of Management*, vol. 3, n.º 1, Estados Unidos, pp. 15-20.

PARODI, V. (2013): «Propuesta metodológica para la evaluación integral de proyectos en el sector energético», tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España.

ROBLES, C. *et al.* (2017): «An Analytic Hierarchy Process Based Approach for Evaluating Renewable Energy Sources», *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 7, n.º 4, Turquía, pp. 38-47.

SAATY, T. L. (1980): *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, Nueva York.

SANAEI, S. (2014): «Sustainability Assessment of Biorefinery Strategies Under Uncertainty and Risk Using Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) approach», tesis doctoral, Universidad de Montreal, Canadá.

STOJČETOVIĆ, B. y P. ĐORĐEVIĆ (2017): «Renewable Energy Sources Assesment According Sustainability Indicators: Case Kosovo and Metohija», ponencia, International May Conference on Strategic Management-Imksm17, Bor, Serbia.

Recibido: 6/12/2017

Aceptado: 20/1/2018

Ariel Manuel Martín Barroso, Universidad de Sancti Spíritus, Cuba, Correo electrónico: ammartin@uniss.edu.cu

Grisell Leyva Ferreiro, Universidad de La Habana, Cuba, Correo electrónico: grisell511@fcf.uh.cu

Jorge Manuel Ríos Obregón, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Ecuador, Correo electrónico: jorge.rios@ikiam.edu.ec

Fernando Medinilla Nápoles, Centro Meteorológico Provincial, Sancti Spíritus, Cuba, Correo electrónico: fernando.medinilla@ssp.insmet.cu

Notas aclaratorias

¹ En lo adelante, los datos que se ofrecerán son aproximados.