



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i4>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de investigación

Propuesta metodológica para la selección de Tecnologías Renovables

Methodological proposal for the selection of Renewable Technologies

Proposta metodológica para seleção de tecnologias renováveis

Ángel Eugenio Infante-Haynes ^I

haynes@uho.edu.cu

<https://orcid.org/0000-0002-6462-5339>

Orlando Belette-Fuentes ^{III}

orlandobelette@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2866-0540>

Fabian Ricardo Ojeda-Pardo ^{II}

mayojeda18@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-3192-5084>

Ernesto Reyes-Céspedes ^{IV}

ernesto.reyes@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-8003-3619>

Goering Octavio Zambrano-Cárdenas ^V

goering.zambrano@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6975-8539>

Correspondencia: haynes@uho.edu.cu

***Recibido:** 25 junio de 2021 ***Aceptado:** 31 de julio de 2021 * **Publicado:** 24 de agosto de 2021

- I. Máster CSAD/CAN, Profesor Auxiliar, Universidad de Holguín, Holguín, Cuba.
- II. Máster en Metalurgia, por la Universidad de Moa, Cuba, Líder de Seguimiento de Proyectos a Gran Escala, ARCERNNR.
- III. Doctor en Ciencias Técnicas por la Universidad de Moa, Cuba, Universidad de Holguín, Ecuador.
- IV. Máster en Topografía Minera, por la Universidad de Moa, Cuba, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- v. Magister en Agroindustrias mención en la Calidad y Seguridad Alimentaria, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

Resumen

Esta investigación centra su objetivo en elaborar una metodología para la selección de tecnologías renovables para el estudio del ciclo de vida de proyectos energéticos, relacionados con la energía renovable eólica de los parques Gibara 1 y Gibara 2 y los futuros parques Rio Seco y Herradura 1 con 4 tecnologías, provincia Holguín, Cuba. Se aplicó el método Proceso Analítico Jerárquico (AHP), para encontrar la mejor alternativa y también los pesos para validarlos desde otro método propuesto: Teoría de Utilidad Multi-atributo (MAUT). Como resultado se obtuvo que la selección de la planta Gibara 2, es la mejor tecnología para desarrollar en este territorio. Se elaboró una metodología para la selección de tecnologías renovables en plantas eólicas en el oriente cubano, el cual se basó en un grupo de expertos para la emisión de juicio y se demostró la pertinencia de la combinación de dos métodos matemáticos multicriterio.

Palabras Clave: Tecnología renovable; Parques eólicos; Técnicas de decisión multicriterio; Teoría de utilidad multi-atributo; Procesos jerárquicos.

Summary

This research focuses its objective on developing a methodology for the selection of renewable technologies for the study of the life cycle of energy projects, related to renewable wind energy in the Gibara 1 and Gibara 2 parks and the future Rio Seco and Herradura 1 parks with 4 technologies, Holguín province, Cuba. The Hierarchical Analytical Process (AHP) method was applied to find the best alternative and also the weights to validate them from another proposed method: Multi-attribute Utility Theory (MAUT). As a result, it was obtained that the selection of the Gibara 2 plant is the best technology to develop in this territory. A methodology was developed for the selection of renewable technologies in wind power plants in eastern Cuba, which was based on a group of experts for the issuance of judgment and the relevance of the combination of two multi-criteria mathematical methods was demonstrated.

Keywords: Renewable technology; Wind farms; Multicriteria decision techniques; Multi-attribute utility theory; Hierarchical processes.

Resumo

Esta pesquisa tem como objetivo desenvolver uma metodologia de seleção de tecnologias renováveis para o estudo do ciclo de vida de projetos energéticos, relacionados à energia eólica renovável nos parques Gibara 1 e Gibara 2 e nos futuros parques Rio Seco e Herradura 1 com 4 tecnologias, província de Holguín, Cuba. O método Hierarchical Analytical Process (AHP) foi aplicado para encontrar a melhor alternativa e também os pesos para validá-los a partir de outro método proposto: Multi-attribute Utility Theory (MAUT). Como resultado, obteve-se que a seleção da planta Gibara 2 é a melhor tecnologia a se desenvolver neste território. Foi desenvolvida uma metodologia para a seleção de tecnologias renováveis em usinas eólicas no leste de Cuba, que se baseou em um grupo de especialistas para a emissão de julgamentos e demonstrou-se a relevância da combinação de dois métodos matemáticos multicritério.

Palavras-chave: Tecnologia renovável; Fazendas de vento; Técnicas de decisão multicritério; Teoria da utilidade multi-atributo; Processos hierárquicos.

Introducción

Actualmente existe una tendencia clara hacia la sostenibilidad en los proyectos de Generación de Energía, por lo que ha llevado a muchos países a migrar para las energías renovables no contaminantes, pero para eso es necesario equilibrar las dimensiones principales que apoyan esta sostenibilidad: la economía, el medio ambiente y la sociedad. Estas dimensiones básicas presentan objetivos diferentes y habitualmente enfrentados entre sí.

La toma de decisiones es un proceso que permite obtener soluciones que satisfagan diferentes objetivos. Este proceso puede llevarse a cabo de múltiples formas [10], clasificando los procesos de toma de decisiones multicriterio en toma de decisiones multi-atributo (Multiple Attribute Decision-Making, MADM), y toma de decisiones multiobjetivo (Multiple Objective Decision-Making, MODM). Los MADM se usan para decidir sobre un número discreto de soluciones. En este caso, los decisores actúan al inicio del proceso, o bien dando pesos a los diferentes criterios existentes para la evaluación de cada una de las soluciones, o bien evaluando dichas soluciones atendiendo a criterios subjetivos. Finalmente, se obtiene una priorización de las alternativas estudiadas.

Propuesta metodológica para la selección de Tecnologías Renovables

Este trabajo se centra en los métodos de decisión multi-atributo, ya que es el proceso de ayuda a la toma de decisión, donde se utilizan variables discretas, y utilizados por muchos autores en el ámbito de la academia de la industria y los negocios o marketing, así como los más utilizados para la valoración de la sostenibilidad en proyectos reales, no teniendo en cuenta en muchos casos, las metodologías de estudios del ciclo de vida de proyectos energéticos, relacionados con las renovables eólicas, existiendo la necesidad de seleccionar una tecnología dentro de 4 de ellas, para analizar los principales métodos de evaluación y decisión multicriterio discretos (la ponderación lineal (scoring), la utilidad multi-atributo (MAUT) y las relaciones de superación y análisis jerárquico (AHP-the analytic hierarchy process-Proceso Analítico Jerárquico) [6].

Por lo que el objetivo de esta investigación consiste en elaborar una propuesta metodológica para la selección de Tecnologías Renovables para el estudio del ciclo de vida de proyectos energéticos, relacionados con la energía renovable eólica.

Durante la revisión literaria, se tuvo acceso a más de 12 bibliografías, los cuales se consideraron los criterios de autores como [3-4, 6, 9], que aplicaron los Métodos Procesos Jerárquicos (AHP) y Promethee y los softwares Expert Choice y Promethee, referidos a otras ramas de la ciencia.

Para la selección de tecnologías renovables en parques eólicos, se refirieron los investigadores [3], [5, 8]. Ninguno de ellos desarrolló la Teoría de Utilidad Multi-atributo (MAUT), con vistas a eliminar cualquier subjetividad e incertidumbre en los criterios pronunciados por los expertos aplicando la modelación matemática, en parques eólicos.

De las investigaciones consultadas en la literatura, las más significativas resultaron ser las [6,11,10], quienes realizan un estudio comparativo de técnicas de toma de decisiones multicriterio para la jerarquización de tecnologías de energías renovables a utilizar en la producción de electricidad y la aplicación de la técnica multi-criterio para la selección de la energía eólica.

[7] evalúa una estación eólica-fotovoltaica conectada a la red para recargar ómnibus eléctricos y [1] aplican métodos de decisión multicriterio discretos al análisis de alternativas en estudios informativos de infraestructuras de transporte, con un pensamiento matemático.

[2, 12] aplican el Análisis Multicriterio del cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en la energía eólica empleando la decisión de criterios múltiples.

Propuesta metodológica para la selección de Tecnologías Renovables

Materiales y métodos

Dentro de los materiales que se declaran están la metodología adaptada de [4], las bases de datos aportadas por la Empresa Eléctrica de Holguín, y el software Expert Choice, y dentro de los métodos utilizados están la consulta a experto para la confección de las encuesta, de los académicos de las Universidades de Cuba y Canadá, un grupo de técnicos de la Industria con amplia experiencia en las tecnologías a evaluar y finalmente un grupo de estudiantes del último año de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Holguín, Cuba, así como el método Procesos de Análisis Jerárquicos (AHP) de amplia difusión y demostrada confiabilidad, y el método Teoría de Utilidad Multi-atributo, como caso particular del método de Teoría del valor Multi-atributo, aunque a pesar de su poca difusión por su complejidad, es capaz de disminuir o eliminar la inconsistencia, debido a la subjetividad de algunos criterios expuesto por los expertos [3].

Resultados

Resolución mediante AHP

La solución del problema se resolvió con la aplicación de la metodología que se propone, adaptada de [3, 5] con los pasos que se declaran más abajo:

- Determinación de los componentes más importantes del problema.
- Identificación y estructuración de los objetivos.
- Determinación de las alternativas de solución.
- Establecimiento de los atributos para la evaluación de las alternativas
- Ordenación de atributos con respecto a su importancia.

Los pasos del 1 al 5, se representan en la (tabla 1), donde se puede apreciar cada uno de los atributos agrupados en las diferentes dimensiones de estudio, así como las alternativas a evaluar, clasificar y seleccionar, con sus respectivos valores cuantitativos.

Tabla 1. Atributos agrupados en las diferentes dimensiones de estudio, para Gibara 1 y 2.

Tabla 1. Atributos agrupados en las diferentes dimensiones de estudio, para Gibara 1 y 2.			
Dimensiones	Indicadores	Gibara 1	Gibara 2
	Factor capacidad, %	28.5	25.8

Propuesta metodológica para la selección de Tecnologías Renovables

Técnicas	Generación neta MWh/años	8994.28	7907.22
Económicas	Costo de inversión, MMT	9.55.5	11762.3
	Costo de operación y mantenimiento \$	2978.8	1630.55
	Costo nivelado de energía CUC/CUP kW	0.269	0.344
	Período Rep. Inv. Años CUC/CUP	8	10
Ambiental	No emisión CO ₂ t/año/MW	69791.3	49051.1
	Uso de la tierra (extensión en km ² /kW)	0.637	0.562
Sociales	Calidad de vida	Creación empleo (u)	11
		Salarios (\$)	5000
	Viviendas promedio electrificadas (u)		1499
	Personas beneficiadas núcleos (3)/MW		4499
Estratégico organizativo	Combustible sus. t/año 279.3	22302	20438

Para el estudio de las cuatro tecnologías se introducen atributos cualitativos en la dimensión técnicas, y se tiene en cuenta una dimensión de riesgo igualmente con un criterio cualitativos como se muestra en la tabla 2. Los criterios cualitativos y el valor de su atributo fueron tomados según las ponderaciones de las encuestas y el análisis estadístico realizado a los tres grupos de expertos.

Tabla 2. Introducción de atributos cualitativos en las dimensiones técnicas

Tabla 2. Introducción de atributos cualitativos en las dimensiones técnicas					
Dimensiones	Indicadores	Gibara 1	Gibara 2	Herradura 1	Rio Seco
Técnicas	Flexibilidad tecnológica	12,7	12,9	16,2	16,2
	Fiabilidad tecnológica	12,2	12,5	15,6	15,6
	Rendimiento	12,2	12,5	15,6	15,6
	Eficiencia energética	12,8	13,1	16,4	16,4
	Factor capacidad, %	28,5	25,8	30	30
	Generación neta MWh/años	8994,2	7907,2	134500	135095

Propuesta metodológica para la selección de Tecnologías Renovables

Económicas	Costo de inversión, MMT		9500,5	11762,3	222397	122835,6
	Costo de operación y mantenimiento \$		2978,8	1630,55	3387,8	2978,85
	Costo nivelado de energía CUC/CUP kW		0,269	0,344	0,11	0,1
	Período Rep. Inv. Años CUC/CUP		8	10	19	17
Ambiental	No emisión CO ₂ t/año/MW		69791,3	49051,1	114200	116000
	Uso de la tierra (extensión en km ² /kW)		0,637	0,562	6,375	12,06
Sociales	Calidad de vida	Creación empleo (u)	6	5	19	19
		Salarios (\$)	5000	4500	5000	5000
		Viviendas Promedio	1499	1176	79778	79778
		Personas Beneficiadas	4499	3529	44676	44676
Estratégico organizativo	Combustible sus. t/año 279.3		22302	20438	33500	37730
Riesgo	Riesgo en las personas		13,1	13,4	16,8	16,8

Obtener los pesos normalizados de cada uno de los atributos

Los pesos normalizados fueron obtenidos aplicando el método multicriterio Procesos de Análisis Jerárquicos, método que no solo permitió encontrar los valores de ponderación, sino que permitió además, encontrar la mejor alternativa, haciendo una comparación pareada de juicios de experto $\square 5 \square$ sobre cada uno de los indicadores, de cada encuesta elaborada, y que fueron resumida por el software utilizando para ello la media geométrica, y que evalúa y sintetiza estos juicios a través del índice de consistencia que nunca deberá ser mayor que 0,10 $\square 8 \square$ y en este caso se cumple esta condición, usando una herramienta informática asociada al mismo, tal es el caso del Expert Choice, sistema de IBM para el análisis, síntesis y justificación de decisiones y evaluaciones complejas.

Esta herramienta se utiliza en miles de organizaciones para una amplia variedad de aplicaciones incluyendo: asignación de recursos, evaluación de personal, formulación de estrategias de

Propuesta metodológica para la selección de Tecnologías Renovables

marketing, administración de la producción, evaluación de proveedores y selección de alternativas. Aunque no se puede garantizar la respuesta “correcta”, se puede garantizar que su decisión estará basada en un fino análisis, sintetizando la información relevante, el conocimiento y su experiencia. Los resultados del análisis con el AHP, se muestran en las figuras 1 y 2, como se aprecia este software para su análisis, realiza una descripción jerárquica para primero, hacer un análisis por pares de criterios y luego evalúa cada criterio contra las alternativas a clasificar (figura 1).

Fig. 1. Resultados del análisis con el AHP para Gibara 1 y 2, con indicadores cuantitativos.



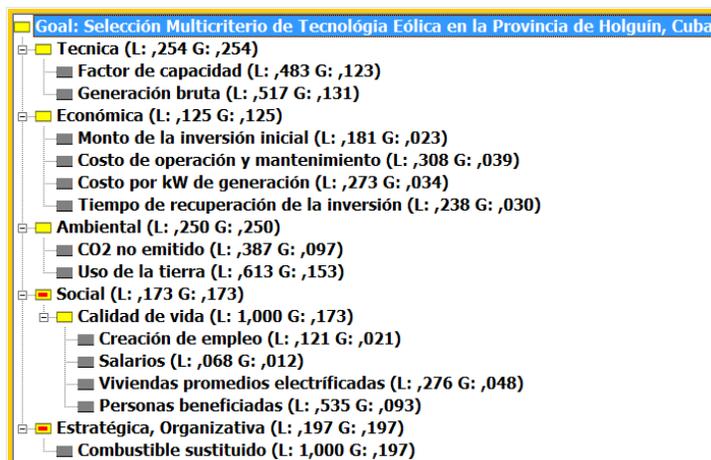
Propuesta metodológica para la selección de Tecnologías Renovables

Fig. 2. Resultados del análisis con el AHP para las cuatro tecnologías



En la figura 3, se presencia la evaluación de cada dimensión, criterios, subcriterio de cada atributo, así como los pesos, locales y globales, todo esto en función de cada alternativa, que al final, conlleva a obtener la meta.

Fig. 3. Evaluación de cada dimensión, criterios, subcriterio de cada atributo, dos tecnologías y criterios solos cuantitativos.



Propuesta metodológica para la selección de Tecnologías Renovables

Fig. 4. Nuevo modelo, donde se agrupan las cuatros tecnologías y criterios cuantitativos y cualitativos para aplicar el MAUT.

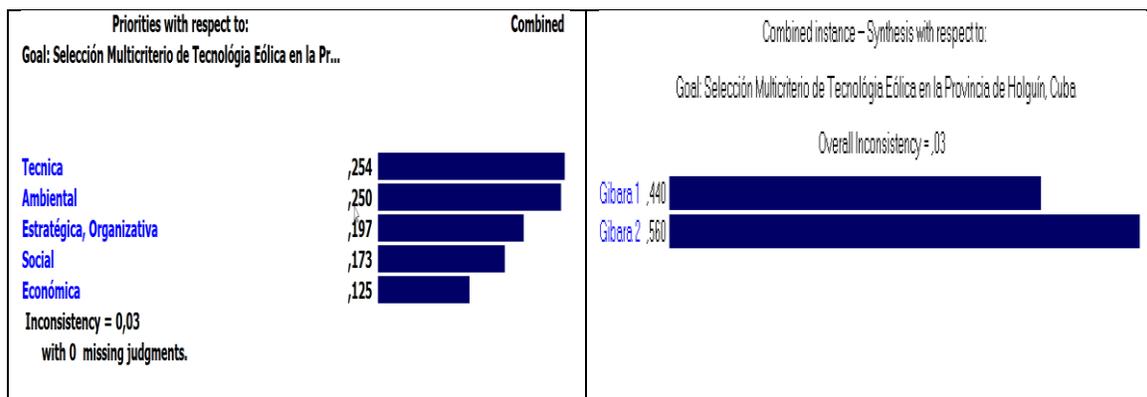


Como resultado final del proceso, se llegó a la evaluación y selección final del proyecto. En la figura 4, se aprecia como la evaluación de las dimensión técnica, es la de mayor peso, demostrándose que los experto se inclinaron más hacia esa dimensión, seguida de la dimensión ambiental, que también da a conocer la seria preocupación por el medio ambiente, como dato que llama la atención es que la dimensión económica, pilar también de la sostenibilidad, quedó relegada a la quinta posición, detrás de la estratégica y de la social, sin embargo, cuando esta dimensión crece en el análisis de sensibilidad que brinda el softwares, casi iguala ambas alternativas.

La alternativa Gibara 2, quedó como mejor alternativa con un índice de consistencia de 0,03, muy inferior a 0,10, que propone [8], para validar un modelo utilizando el método AHP.

Propuesta metodológica para la selección de Tecnologías Renovables

Fig. 5. Resultado final del proceso.



Resolución mediante MAUT:

Obtener la función utilidad unidimensional de cada atributo.

Una vez obtenidos los pesos, se obtuvo la función de utilidad unidimensional [9] de cada atributo a través del modelo matemático, que se muestra la ecuación (1):

$$u(x) = \frac{x - \text{peor valor}}{\text{mejor valor} - \text{peor valor}} \quad (1)$$

y luego se validó con otro modelo [10] más consistente como el que se muestra a continuación (2):

$$U_t = 1 * \left\{ 1 - \left[\frac{X_{\min} - X}{X_{\min} - X_{\max}} \right] \right\} \quad (2)$$

Donde:

U_t -utilidad del indicador,

X_{\min} - valor mínimo del conjunto de observaciones,

X_{\max} - valor máximo del conjunto de observaciones,

X - valor del indicador cuya utilidad se desea conocer.

Y según propuesta de [5] y reformulando (2) según los autores, se obtienen mejores valores en el proceso de normalización, obtenidos por la ecuación (3).

$$U_t = 1 * \left\{ 1 - \left[\frac{X_{\max} - X}{X_{\max} - X_{\min}} \right] \right\} \quad (3)$$

Propuesta metodológica para la selección de Tecnologías Renovables

Evaluar el desempeño de cada una de las alternativas, con respecto a los atributos.

En este paso se evaluó la alternativa respecto a cada atributo y se pudo demostrar que la alternativa Gibara 2, tecnología Goldwind, obtuvo un mayor puntaje, obteniendo el valor ponderado 3 para Gibara1 y 10 para Gibara 2, pasando luego al siguiente paso.

Calcular el valor de la función de utilidad aditiva para cada alternativa.

Para evaluar el desempeño de cada alternativa en función de cada criterio, se aplicó la función de Utilidad de cada alternativa, teniendo en cuenta los valores calculados de la función utilidad de cada criterio y ahora los pesos de cada alternativa, calculados por la ecuación (4).

$$Ut(r_j) = \sum_{i=1}^2 w_i * u_i(r_j) \quad i = 1 \dots 2 \quad (4)$$

Donde:

Ut (r_j)-valor de utilidad de la alternativa r_j (j=1.....2),

U_i(r_j)- valor de la utilidad del atributo i para la alternativa r_j,

w_i-ponderación o peso asignado a cada alternativa (i=1.....2).

Determinar la mejor alternativa, la de mayor valor de la función de utilidad aditiva con respecto a las demás.

En este paso se culmina la metodología, llegando al resultado que Gibara 1, obtuvo en su función de utilidad aditiva multi-atributo el valor de 0,038, como se muestra en la tabla 2 y Gibara 2, el valor de 0.511, porque esta última alternativa, al obtener un valor mucho mayor que la otra, es la mejor alternativa a tener en cuenta por los decisores, a la hora de direccionar los recursos: humanos, financieros y materiales, para ejecutar cualquier proyecto en la etapa de conclusión de estudios de factibilidad.

En la tabla 3 se puede apreciar las diferentes dimensiones, atributos y criterios, así como los pesos obtenidos por el AHP, los diferentes valores de cada indicador y la selección de los mejores y peores atributos, se debe destacar que la normalización fue realizada por tres ecuaciones 1, 2 y 3, siendo la última la de mejor desempeño.

Propuesta metodológica para la selección de Tecnologías Renovables

Tabla 3. Diferentes dimensiones, atributos, criterios y pesos obtenidos por el AHP

Tabla 3. Diferentes dimensiones, atributos, criterios y pesos obtenidos por el AHP													
Dimensiones	Indicadores	Pesos Criterios	Gibara 1	Gibara 2	Herradura 1	Rio Seco	Mejor atributos Max	Peor atributos Min	Gibara 1 Normalizado u1	Gibara 2 Normalizado u2	Herradura 1 Normalizado u3	Rio Seco Normalizado u4	
Técnicas	Flexibilidad tecnológica	0,01	12,7	12,9	16,2	16,2	16,2	12,7	1	0,92	0	0	
	Fiabilidad tecnológica	0,04	12,2	12,5	15,6	15,6	15,6	12,2	1	0,92	0	0	
	Rendimiento	0,02	12,2	12,5	15,6	15,6	15,6	12,2	1	0,92	0	0	
	Eficiencia energética	0,03	12,8	13,1	16,4	16,4	16,4	12,8	1	0,92	0	0	
	Factor Capacidad	0,03	28,5	25,8	30	30	30	25,8	0,36	1,00	0	0	
	Generación neta MWh/años	0,02	8994	7907	134500	135095	135095	7907	0,99	1,00	0,005	0	
Económicas	Costo inversión MMT	0,02	9500	11762	222397	122835	222397	9500	1,00	0,99	0	0,467	
	Costo de operación y mantenimiento (\$)	0,03	29782	1631	3387,8	2978,8	3387,8	1630	0,23	1	0	0,232	
	Costo nivelado energía cuc/cup kW	0,03	0,269	0,344	0,11	0,1	0,344	0,1	0,31	0	0,959	1	
	Periodo Rep. Inv. años CUC/CUP	0,02	8	10	19	17	19	8	1,00	0,82	0	0,181	
Ambiental	No emisión CO2 Ton/años/MW	0,04	69791	49051	114200	116000	116000	49051	0,69	1	0,027	0	
	Uso de la tierra (Extensión en km ² /kW)	0,10	0,637	0,562	6,375	12,06	12,06	0,562	0,99	1	0,494	0	
Sociales	Calidad de vida	Creación empleo (u)	0,014	6	5	19	19	19	5	0,93	1	0	
		Salarios (\$)	0,01	5000	4500	5000	5000	5000	4500	0,00	1	0	
		Viviendas Promedio (u)	0,03	1499	1176	79778	79778	79778	1176	0,99	1	0	
		Personas Beneficiadas	0,06	4499	3529	44676	44676	44676	3529	0,98	1	0	
Estratégicos Organizativos	Combustible Sust. t/años	0,12	22302	20438	33500	37730	37730	20438	0,89	1	0,245	0	
Riesgo	Riesgo en las personas	0,34	13,1	13,4	16,8	16,8	16,8	13,1	1,00	0,92	0	0	

En la tabla 4 se muestran los valores antes normalizados, pero ya ponderados, es decir que cada valor normalizado se ponderó de acuerdo al valor de cada criterio, y finalmente este valor se pondera con el valor de cada alternativa, que serán sumados para encontrar la alternativa de mayor valor, y en nuestro caso la mejor alternativa.

Propuesta metodológica para la selección de Tecnologías Renovables

Tabla 4. Valores antes normalizados, pero ya ponderados

Tabla 4. Valores antes normalizados, pero ya ponderados							
Gibara 1 Ponderado	Gibara 2 Ponderado	Herradura 1 Ponderado	Rio Seco Ponderado	Peso Gib1	PesoGib2	Peso Herrad 1	Peso Rio S
				0,149	0,162	0,375	0,314
0,011	0,010	0	0	0,002	0,002	0,000	0,003
0,043	0,040	0	0	0,006	0,006	0,000	0,014
0,017	0,016	0	0	0,003	0,003	0,000	0,005
0,033	0,030	0	0	0,005	0,005	0,000	0,010
0,011	0,030	0	0	0,002	0,005	0,000	0,009
...
...
....
0,345	0,317	0	0	0,051	0,051	0,000	0,108
			Suma	0,133	0,151	0,040	0,314

Discusión de resultados

La metodología elaborada fue validada en la Empresa eléctrica de Holguín, Cuba y permitió concluir que el parque Rio Seco 1 obtuvo, en su función de utilidad aditiva multi-atributo, el valor de 0,0314, como se muestra en la tabla 4, por lo que este es el mejor proyecto para seleccionar en el territorio oriental de Cuba, seguido de Herradura 1, Gibara 1 y finalmente Gibara 2. La selección de tecnologías renovables para el estudio del ciclo de vida de proyectos energéticos en Cuba obtuvo mejor resultado, si se compara con los realizados por [3].

Conclusiones

Se elaboró una metodología para la selección de tecnologías renovables en plantas eólicas en la provincia de Holguín, Cuba, el cual se basó en un grupo de expertos para la emisión de juicio, con vista a la obtención de los pesos ponderados con la aplicación de un método que utiliza el análisis

Propuesta metodológica para la selección de Tecnologías Renovables

de juicios subjetivos: el Análisis de Procesos Jerárquicos (AHP), junto al Expert Choice, siendo este último una herramienta informática, robusta y confiables de amplia utilización en todos los ámbitos de la Industria y la academia.

La validación del método estuvo conjugada con otra herramienta multicriterio de amplia aceptación en la comunidad científica actual, la Teoría de Utilidad Multi-atributo (MAUT), con vista a eliminar también cualquier subjetividad e incertidumbre en los criterios pronunciados por los expertos, con buenos resultados en la aplicación de la modelación matemática.

Se demostró la pertinencia de la combinación de dos métodos matemáticos multicriterio, dado que se obtuvieron los mismos resultados en la evaluación y selección de las tecnologías eólicas como alternativas a generalizar en el territorio de la Provincia de Holguín, Cuba.

Referencias

1. Medina, B. M., & García, M. R. (2016). Aplicación de métodos de decisión multicriterio discretos al análisis de alternativas en estudios informativos de infraestructuras de transporte. *Pensamiento matemático*, 6(2), 27-45.
2. Barberis, G. y Ródenas, M. “Análisis Multicriterio del cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en la OCDE para 2030 “. *Anales de ASEPUMA*. 2017, vol. 25, p. 18.
3. Parodi de Camargo, V. “Propuesta metodológica para la evaluación integral de proyectos en el sector energético “. 2013.
4. León, L., Toribio, I., Fernández, R. y Lozano, M. “Selección multicriterio de nuevos productos turísticos en Pinar del Río, Cuba“. *Investigación Operacional*. 2013, vol. 29, no 2, p. 98-107.
5. Fernández, M. (2010). Una propuesta metodológica para la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico en la selección de aerogeneradores/tesis doctoral presentada por Pedro García Gómez; director, Dr. D. Enrique de Miguel Fernández.
6. Saaty, T. “About a hundred years of creativity in decision making,“ *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*. 2015, vol. 7, no 1.
7. Saaty, T. “A scaling method for priorities in hierarchical structures“. *Journal of mathematical psychology*. 1997, vol. 15, no 3, p. 234-281.

Propuesta metodológica para la selección de Tecnologías Renovables

8. C. Correa, C., Sánchez, S. y Panesso, P. “Metodología Multiobjetivo para el Planeamiento de la Expansión de la Transmisión considerando Incertidumbres en la Generación Eólica y la Demanda”. INGE CUC 2020, vol. 16, no. 1. [Consultado el: 12 de octubre de 2020]. Disponible en: DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.16.1.2020.20>
9. Sánchez, Y., Sarmiento, A., Morales, J. y Masip, Y. “Evaluación de una estación eólica-fotovoltaica conectada a la red para recargar ómnibus eléctricos“. Ingeniería Mecánica. 2019, vol. 22, no 3, p. 127-132.
10. Yajure, C. y Guzmán, Y. “Estudio comparativo de técnicas de toma de decisiones multicriterio para la jerarquización de tecnologías de energías renovables a utilizar en la producción de electricidad“. Scientia et Technica. 2017, vol. 22, no. 3, p. 273-280. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.
11. Rehman, A., Abidi, M., Umer, U. y Usmani, Y. “Multi-Criteria Decision-Making Approach for Selecting Wind Energy Power Plant Locations“. Sustainability. 2019, vol.11, no 6112, p. 17- 20.
12. Mardani, A., Juson, A., Kazimieras, E., Cavallero, F. y Khalifah, Z. “Review Sustainable and Renewable Energy: An Overview of the Application of Multiple Criteria Decision Making Techniques and Approaches“. Sustainability“. 2015, vol. 7, p. 13947-13984; doi:10.3390/su71013947.