

INTEGRACIÓN DE MÉTRICAS DE SOSTENIBILIDAD EN LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA, MEDIANTE MÉTODOS MULTICRITERIO

INTEGRATION OF SUSTAINABILITY METRICS INTO SCIENTIFIC PRODUCTION, USING MULTI-CRITERIA METHODS

Eduardo López Bastida ^{1*}

E-mail: esaenzdeburuaga@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1305-852X>

Henry Ricardo Cabrera ¹

E-mail: hricardo@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3185-8929>

Christian Leandro Rodríguez Valladares²

E-mail: christianchlr@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2885-3517>

David de Armas Yanes ¹

E-mail: dearmasyanesd@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0037-3362>

¹Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez", Cienfuegos, Cuba.

²Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Santa Clara, Cuba.

*Autor para correspondencia

Cita sugerida (APA, séptima edición)

López Bastida, E., Ricardo-Cabrera, H., Rodríguez Valladares, C. L. , y de Armas Yanes, D. (2025). Integración de Métricas de Sostenibilidad en la Producción Científica, mediante métodos multicriterio. *Universidad y Sociedad* 17(6). e5742.

RESUMEN

En este artículo se analiza la necesidad de que las investigaciones y sus Producciones científicas correspondientes, presenten un enfoque se sostenibilidad, lo que no es suficiente con las variables económicas, sino tener en cuenta además variables sociales y ambientales. Para la aplicación de esto se propone una serie una metodología de análisis multicriterio basada en herramientas como el método Delphi, el Proceso de Jerarquización Analítica y el método VIKOR. Las mismas se justifican teórica y prácticamente y se proponen un software para aplicación. Se presentan un ejemplo de caso de aplicación de ella en el modelo de economía circular para el aprovechamiento de residuales.

Palabras clave: Sostenibilidad, Análisis multicriterio, Publicaciones científicas, Método Delphi, Proceso de jerarquización analítica, y método VIKOR.

ABSTRACT

This article analyzes the need for research and its corresponding scientific publications to adopt a sustainability approach, which requires considering not only economic variables but also social and environmental variables. To implement this, a multi-criteria analysis methodology is proposed, based on tools such as the Delphi method, the Analytic Hierarchy Process (AHP), and the VIKOR method. These methods are justified both theoretically and practically, and software for their application is proposed. A case study is presented, demonstrating the application of this methodology in a circular economy model for the utilization of waste.

Keywords: Sustainability, Multi-criteria analysis, Scientific publications, Delphi method, AHP, VIKOR method.



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible o la sostenibilidad, como categoría conceptual, consiste en reconocer el carácter limitante del patrimonio natural para lograr a la vez un crecimiento económico con equidad social y sostenibilidad ambiental; en comprender que los objetivos y metas económicas y sociales deben alcanzarse con un mínimo empleo de los recursos naturales de todo tipo, y que los residuos producidos puedan ser debidamente asimilados por la naturaleza; alcanzando una distribución equitativa y justa de las riquezas y los conocimientos, en todo lo cual intervienen diversas dimensiones más allá de las tradicionales dimensiones económica, social y ambiental (Berbel et al., 2018; Espinoza, 2023).

Un modelo energético orientado hacia la sostenibilidad busca la reducción de la dependencia energética y la garantía de suministro, la disminución de las emisiones de CO₂, la competitividad en los mercados energéticos y la industria, así como la asequibilidad de los precios de la energía para el público y la economía (Sandoval et al., 2017).

En la evolución de la concepción de sostenibilidad aparece la necesidad de formularla como una nueva ciencia, la ciencia de la sostenibilidad; la cual, por su esencia, es interdisciplinaria y transdisciplinaria (Jiménez & García, 2017; Ramírez et al., 2024).

Pero como en las ciencias naturales y la ingeniería tiene sentido lo que pueda ser medido o estimado, este nuevo campo científico necesita ser expresado cuantitativamente; es decir, ofrecerle una métrica, o bien modelarlo desde las matemáticas.

El problema de la insostenibilidad de la sociedad industrial estriba en que, a diferencia de la biosfera, no ha sido capaz de cerrar los ciclos de materiales reconvirtiendo, con la ayuda del sol y sus derivados, los residuos en recursos. Con ello el sistema se topa con problemas de escasez de recursos y de exceso de residuos, a la vez que resulta cada vez más difícil y costoso mantener su propia calidad interna. Para los países en vías de desarrollo donde es muy costoso el acceso a los combustibles fósiles, se presenta como una alternativa manejar los criterios de sostenibilidad en la correcta utilización de los recursos naturales (Saavedra et al., 2025).

Por tanto, se puede afirmar que un sistema económico se hace globalmente más insostenible a medida que utiliza (directa o indirectamente) y degrada cantidades crecientes de la energía y los materiales extraídos de la corteza terrestre o de los obtenidos de la sobreexplotación de ecosistemas, especies o recursos considerados renovables. Estos usos arrojan una huella de deterioro ecológico observable sobre el territorio por el espacio requerido para obtener los recursos o para depositar o digerir los residuos (Vessuri & Montevideo, 2016).

Uno de los principales inconvenientes que existe en la actualidad es la dificultad de poder medir la sostenibilidad. La abundancia de medidas es un gran inconveniente, toda vez que los diferentes indicadores sintéticos transmiten mensajes muy disimiles. Ello provoca una gran confusión entre los estadísticos y los hacedores de políticas. Una amplia variedad de indicadores se encuentra disponible, pero existen razones del por qué una evaluación integral de la sostenibilidad es difícil de establecer en una forma totalmente consensuada. La evaluación de la sostenibilidad requiere de muchos supuestos y de elecciones normativas, y se hace aún más complejo por la existencia de las interacciones entre los modelos socioeconómicos y medioambientales que desarrollan los diversos países. El problema es realmente complejo, más complejo que el ya complicado asunto de medir el bienestar o el desempeño actual. Como expresa el propio Informe Stiglitz-Sen-Fitoussi:

...nos enfrentamos a una eminente crisis medioambiental, en particular al calentamiento del planeta. Los precios del mercado están falseados por la ausencia de impuestos sobre las emisiones de carbono y las mediciones clásicas del ingreso nacional no tienen en cuenta el coste de dichas emisiones. A todas luces, la medición del desarrollo económico que tuviese en cuenta dichos costes medioambientales sería sensiblemente diferente de las mediciones habituales. (Gehringer & Kowalski, 2024).

Por lo tanto, a criterio de estos autores en un imperativo de los científicos valorar la sostenibilidad en los artículos por las razones clave por las que esta evaluación es crítica, Evaluarla significa responder a la pregunta: ¿Podemos seguir haciendo esto para siempre sin destruir el sistema que lo soporta? (Lopez-Bastida & Fernández-Álvarez, 2023; Schwartz et al., 2019).

- Viabilidad y Escalabilidad a Largo Plazo porque una propuesta puede ser brillante para su aplicación, pero requiere valorar su costos económicos, sociales y ambientales y su necesidad de recursos
- Impacto Ambiental de la Propia Investigación, la ciencia también contamina. Evaluar la sostenibilidad implica analizar la “huella ecológica” del método propuesto sus costos energéticos, de agua y materias primas, su generación de residuos, etc; evaluar la sostenibilidad con rigor científico permite detectar si un producto es realmente “verde” o si simplemente ha trasladado la contaminación de una etapa del proceso a otra.
- Alineación con los Objetivos Globales (ODS) La comunidad internacional se rige por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU; los artículos científicos deben ser evaluados para ver si contribuyen a estos objetivos o si, por el contrario, los entorpecen.
- Se hace necesario demostrar que la investigación tiene resiliencia; si un experimento depende de materiales peligrosos o escasos, es difícil que otros científicos

lo reproduzcan o que la industria lo adopte. La sostenibilidad suele ir de la mano con la eficiencia, lo que mejora la calidad de la ciencia.

- También es clave valorar la “sostenibilidad de lo escrito”, es decir, que el manuscrito sea ético, honesto, transparente y útil a largo plazo para la comunidad científica y la sociedad (Gil-Pérez & Vilches, 2014).

Los modelos de decisión multicriterio son un conjunto de métodos usados para apoyar el proceso de decisión tomando en consideración múltiples criterios de una manera flexible (Más Basnuevo et al., 2014), por medio de un esquema estructurado y comprensible. Estos métodos de evaluación son integradores en el sentido que combinan la información sobre el desempeño de las alternativas respecto a los criterios con juicios subjetivos sobre la importancia relativa de estos en el contexto de evaluación (Berbel et al, 2018; Chang & Hsu, 2009; Mas Basnuevo, 2014).

En los problemas multiatributo se considera la estructura preferencial del decisor incorporándola al modelo de decisión para elegir la alternativa preferida, y al hacer esto múltiples criterios son analizados simultáneamente. Por su parte los problemas multiobjetivo identifican la frontera de Pareto, el conjunto de alternativas no dominadas. Se dice que una alternativa A1 domina a otra A2 si se cumple que: i) la alternativa A1 no es peor que la alternativa A2 en ningún criterio y ii) la alternativa A1 es mejor que la alternativa A2 en al menos un criterio. En este enfoque las preferencias del decisor no son tomadas en consideración lo que significa que una solución final no será indicada hasta que esta no sea incorporada al modelo de decisión para combinar los objetivos (De Almeida et al., 2016).

La clasificación de los problemas multicriterios según el tipo de datos que pueden ser (i) deterministas, (ii) estocásticos y (iii) difusos (Sengupta, 2017). Se establecieron, además, la diferenciación entre problemas multiobjetivo (MODM por sus siglas en inglés) y multiatributo (MADM por sus siglas en inglés) considerando si las alternativas de decisión pertenecen a un dominio continuo o discreto respectivamente, aunque con frecuencia el término multicriterio y multiatributo ha sido usado indistintamente. Señalan además que independientemente del problema o la técnica usada para analizarlo todos los modelos de decisión multicriterio tienen características comunes:

- **Múltiples criterios:** cada problema tiene múltiples criterios los que pueden ser objetivos o atributos.
- Conflicto entre criterios: generalmente la mejora obtenida en un criterio se hace en detrimento de otro criterio.
- **Unidades incommensurables:** los criterios difieren en las unidades en que son medidos.
- **Diseño/selección:** la solución a los problemas de decisión multicriterio es para diseñar o seleccionar entre un conjunto definido la alternativa preferida

En concordancia con lo anteriormente manifestado para el enfrentamiento de estos problemas se requiere un procedimiento estructurado que permita a los decisores obtener una solución adecuada a sus intereses, con la suficiente robustez y rapidez de acuerdo a las exigencias del problema. Existe cierto consenso que este proceso puede ser dividido en una serie de pasos elementales los que para Recchia et al. (2011) se divide en:

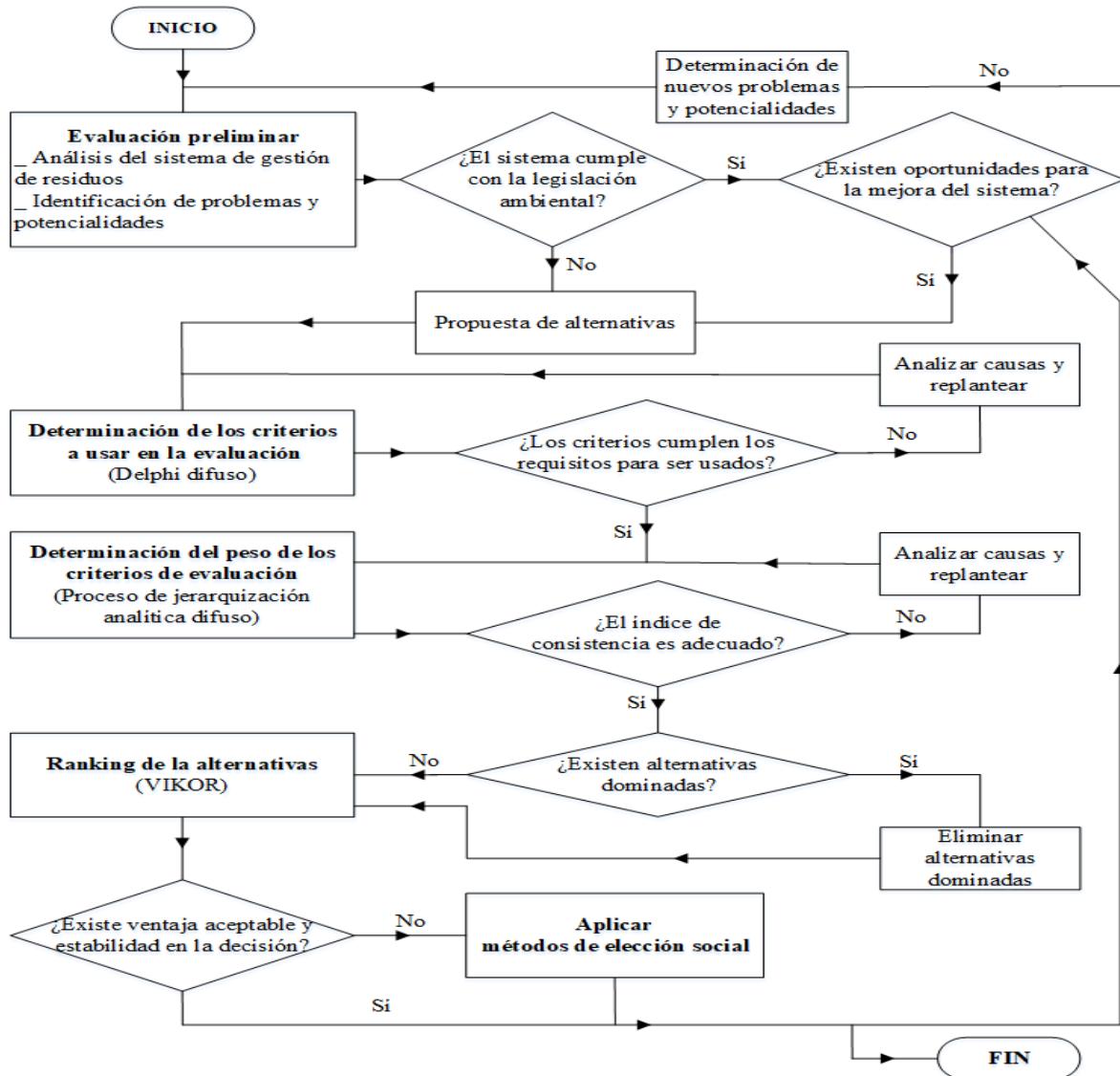
1. Identificación del problema y objetivos.
2. Estructuración del problema, definiendo alternativas y criterios a ser usados.
3. Modelación de la preferencia.
4. Agregación y análisis de los resultados.
5. Discusión y negociación acerca de los resultados obtenidos.

El presente trabajo tiene como objetivo proponer unas metodologías para evaluar la sostenibilidad basada un análisis multicriterio a partir de proceso de jerarquía analítica (AHP). Facilitan que decisores, empresas y comunidades usen ese conocimiento para transformar prácticas hacia modelos más justos y sostenibles. La misma ha sido aplicada en varios ejemplos de caso y sus publicaciones de principios de economía circular en especial el aprovechamiento de residuos y el ahorro de energía, agua y materia prima.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la Figura 1 se muestra el procedimiento propuesto para la evaluación multicriterio de los proyectos de inversión en la gestión de residuos industriales. El diagrama heurístico SE detalla cada una de las fases del proceso de decisión multicriterio.

Fig 1: Propuesta metodológica para el análisis multicriterio de los proyectos de inversión en la gestión de residuos industriales.



Fuente: elaboración propia.

Se parte de una evaluación preliminar del sistema de gestión de residuos identificándose problemas y potencialidades que den paso a la propuesta de inversión. En esta fase pueden ser de mucha utilidad herramientas como las entrevistas, lluvias de ideas (brainstorming), diagrama de Ishikawa, etc. El propósito es identificar posibles alternativas a tomar en consideración. Hay que destacar que estas deben poseer un desempeño en cada criterio que supere un mínimo aceptable establecido por los decisores dado que es inconsistente analizar variantes que luego no puedan llevarse a cabo debido (De Almeida et al., 2016).

Luego se determinan los criterios a usar en la evaluación mediante un proceso de cribado apoyándose en la evaluación de un grupo de expertos y posteriormente se determina la importancia relativa de los criterios mediante el proceso de jerarquización analítico difuso el que es adecuado si el índice de consistencia de los juicios pareados es menor que 0,1 según o propuesto por Saaty & Vargas (2012). Una vez obtenidos los pesos de los criterios las 27 alternativas son ordenadas según el método VIKOR. La alternativa más próxima a la solución ideal es la alternativa de compromiso a seleccionar, si existe una ventaja aceptable y estabilidad en el proceso de decisión, de otra manera se aplican métodos de elección social (Chang & Hsu, 2009, 2010). Finalmente se deja implícito un ciclo pues el proceso de mejora continua es necesario para una gestión eficiente de estos sistemas (Chang & Hsu, 2009, 2010)

RESULTADOS-DISCUSIÓN

Aplicación de la metodología propuesta al caso de estudio

La aplicación de la metodología propuesta es llevada a cabo en la planta de beneficio de arena, donde se evaluaron cuatro variantes tecnológicas, con el objetivo de lograr un análisis sobre las potencialidades de un cambio tecnológico que permita gestionar de manera más eficiente el agua y los residuos generados en el proceso desde un enfoque multicriterio. Las variantes se presentan a continuación.

Variante V_0 : La primera variante contempla la tecnología actual de beneficio de arena en la planta **Variante V_1 :** Esta variante consiste en la sustitución del clasificador mecánico (tornillo) por un clasificador centrífugo o hidrociclón.

Variante V_2 : En esta variante se propone la introducción de la tecnología de filtración para la recuperación de agua y la fracción de finos que se va en la descarga del residual líquido.

Variante V_3 : Esta variante consiste en la sustitución del clasificador por un hidrociclón y en la introducción del filtro prensa ($V_3 = V_1 + V_2$).

Selección de los expertos y criterios

Para calcular el número de expertos se asumió una proporción del error $p=0,01$, una precisión del experimento $i=0,05$ y nivel de significación estadística $(1-\alpha) = 95\%$ para dar como resultado que se necesitan aproximadamente 15 expertos para llevar a cabo el proceso de decisión grupal. Se proponen 25 candidatos para ser considerados eligiendo los 15 mejores de acuerdo con su autoevaluación. En la encuesta realizada se destaca que los 15 expertos seleccionados presentan una competencia alta ($K \geq 0,8$).

Luego de entrevistas con los expertos seleccionados se determinaron los posibles criterios a ser usados en la evaluación. Estos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Posibles criterios a usar en la evaluación

Económicos	
1	Costo de la inversión
2	Valor presente neto
3	Tasa interna de retorno
4	Período de retorno de la inversión
5	Relación costo/beneficio de la inversión
6	Costos operacionales
Técnicos	
7	Consumo de electricidad
8	Consumo de agua
9	Recuperación de materiales
10	Generación de ruidos
11	Madurez para la transición tecnológica
Ambientales	
12	Extensión de la vida útil de la mina
13	Impactos ambientales generados por la tecnología
14	Emisión de aguas residuales al medio ambiente

Fuente: elaboración propia.

Tras someter a juicio de los expertos los criterios de la Tabla 1 son reducidos hasta 7 para ser utilizados en la evaluación del caso de estudio. En la Tabla 2 se muestran las clasificaciones lingüísticas hechas por los expertos y el valor luego de la defusificación de los números difusos obtenidos por el proceso de agregación. La nomenclatura usada en la Tabla 2 corresponde a S: Sin importancia, P: Poco importante, M: Moderadamente importante, I: Importante y MI: Muy importante. En el Anexo 5 aparece la implantación computacional en Python.

Tabla 2: Evaluación de los expertos del nivel de importancia de los criterios.

Criterio	Experto															S_j
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	MI	MI	I	MI	I	MI	MI	MI	MI	MI	I	MI	MI	MI	MI	0,83
2	M	I	M	I	I	M	M	M	I	M	M	P	I	M	I	0,54
3	I	I	M	I	M	M	I	I	M	M	I	P	M	P	M	0,53
4	MI	MI	MI	MI	MI	I	MI	MI	MI	MI	I	MI	MI	MI	MI	0,85
5	I	I	M	P	MI	P	MI	I	I	M	M	I	I	MI	M	0,59
6	M	I	M	I	M	M	I	I	M	P	I	I	P	I	M	0,54
7	MI	MI	MI	MI	MI	MI	MI	MI	MI	MI	MI	MI	MI	MI	MI	0,89
8	MI	MI	MI	MI	MI	MI	MI	MI	MI	MI	MI	MI	MI	MI	MI	0,89
9	MI	MI	MI	MI	MI	I	MI	MI	I	MI	MI	MI	MI	MI	MI	0,85
10	I	I	P	S	P	S	S	S	P	M	P	S	S	P	M	0,28
11	M	MI	P	P	M	M	M	I	M	P	S	S	M	S	M	0,38
12	I	I	MI	I	MI	I	M	M	MI	M	I	I	M	I	M	0,66
13	MI	MI	I	MI	MI	I	MI	MI	MI	I	MI	MI	I	I	I	0,81
14	MI	MI	MI	I	I	MI	I	MI	MI	I	MI	I	MI	MI	M	0,77

Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, existe una relación entre los criterios 7, 8, 13 y 14. Esto sucede debido a que en gran medida los impactos ambientales generados por la tecnología están condicionados por el consumo de agua, electricidad y las emisiones de aguas residuales al medio ambiente. Además, hay que señalar que existe mucha incertidumbre en la estimación de estos impactos, dada la complejidad del fenómeno, pues hasta la actualidad no se comprende bien la repercusión exacta de las actividades antrópicas en la dinámica natural lo que ha llevado al surgimiento de muchos métodos como aproximación. Entonces debido a la problemática que surge debido a los principios de independencia y medición el criterio 13 es descartado quedando para la evaluación de las alternativas los criterios: (1) costo de la inversión, (2) período de retorno de la inversión, (3) consumo de electricidad, (4) consumo de agua, (5) recuperación de materiales y (6) emisiones de aguas residuales al medio ambiente.

Cálculo del peso de los criterios

Para el cálculo de los pesos de los criterios se le pide a cada experto que valorara comparativamente su nivel de importancia tomándolos en pares, obteniéndose las 15 matrices de comparación pareadas mostradas en el Anexo 6. La nomenclatura usada en estas es: Ig (iguales en importancia), P (poco más importante), M (moderadamente más importante), I (más importante) y MI (mucho más importante). Para cada una de estas matrices los elementos no representados corresponden al recíproco de acuerdo a lo expuesto.

Se puede observar que para todos los expertos excepto para el 5, el 7 y el 13 las comparaciones pareadas son consistentes dados los coeficientes $CR < 0,1$. Por ello fue necesario consultar a estos expertos para que arreglaran sus comparaciones. Las nuevas matrices proporcionadas por los expertos se muestran en la tabla 3.

Tabla 3: Matrices de comparación arregladas por los expertos.

Experto	Matriz de comparación pareada						Consistencia (CR)	
	Criterios	1	2	3	4	5	6	
5	1	Ig	P					0,067
	2		Ig					
	3	M	M	Ig	P	P	P	
	4	M	M		Ig	P	P	
	5	P	P			Ig	P	
	6	Ig	P				Ig	

Experto		Matriz de comparación pareada						Consistencia (CR)	
	Criterios	1	2	3	4	5	6		
7	1	Ig	M	M	I	MI	MI	0,082	
	2		Ig	P	M	M	I		
	3			Ig	P	M	M		
	4				Ig	P	M		
	5					Ig	Ig		
	6						Ig		
13	Criterios	1	2	3	4	5	6		
	1	Ig	P	M	M	I	RM	0,095	
	2		Ig	P	M	I	I		
	3			Ig	M	P	M		
	4				Ig	M	P		
	5					Ig	Ig		
	6						Ig		

Fuente: elaboración propia.

Al lograr la consistencia en las matrices de comparación de todos los expertos se calcula el peso de los criterios. En la Tabla 4 se muestra los pesos de los criterios.

Tabla 4. Peso de los criterios mediante el método de Mikhailov.

Número	Criterio	Peso
1	costo de la inversión	0,2015
2	período de retorno de la inversión	0,1571
3	consumo de electricidad	0,3241
4	consumo de agua	0,1758
5	recuperación de materiales	0,0857
6	emisiones de aguas residuales al medio ambiente	0,0559

Fuente: elaboración propia.

Determinación del orden de las alternativas

El desempeño de las alternativas respecto a los criterios seleccionados es elaborada a partir de investigaciones previas en la entidad entre las que se destaca las de Torres (2010). En el caso de la variante 1 obtenida de Torres (2010) es necesario actualizar los valores económicos debido a la desvalorización del dinero en el tiempo para lo que se usa el índice de costo de la revista Chemical Engineering y la variante 3 constituye una estimación a partir de los datos de todos los estudios. La Tabla 5 muestra el desempeño de las alternativas y las unidades en las que estos son expresados.

De acuerdo a los objetivos de los decisores todos los criterios excepto el 5 deben ser minimizados. Se puede observar que ninguna de las alternativas es dominante por lo que no pueden ser descartadas. Posteriormente se emplea el código en Python para la determinación de los vectores S, R y Q.

Tabla 5: Desempeño de las alternativas respecto a los criterios de evaluación.

	Criterios					
	1	2	3	4	5	6
Variantes	Pesos	Meses	kWh/ m ³ de arena beneficiada	m ³ /m ³ de arena beneficiada	m ³ arena/m ³ de arena beneficiada	m ³ agua residual/ m ³ de arena beneficiada
0	0	0	2,7	3,64	0	2,910
1	368 556	7	2,04	1,18	0,22	0,944

2	1 487 150	18	2,02	0,65	0	0,033
3	1 855 706	26	1,54	0,60	0,22	0,020

Fuente: elaboración propia.

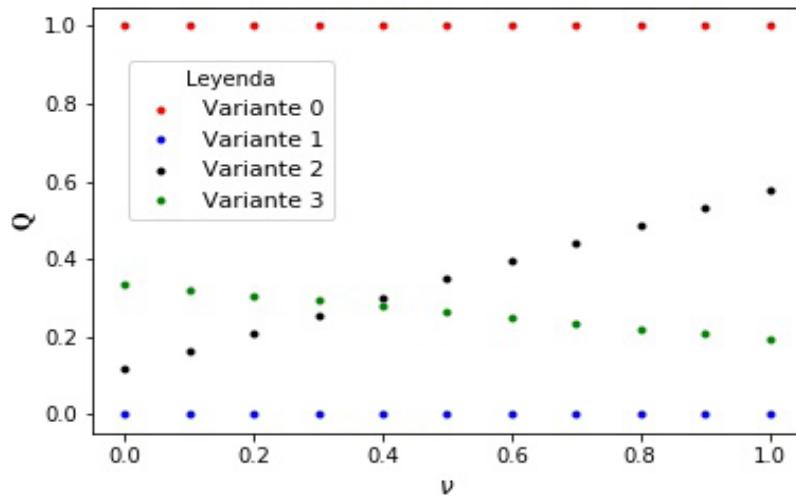
En la Tabla 6 se muestran estos resultados y en la Figura 2 el comportamiento de los vectores Q respecto a la estrategia v. Se observa que para la estrategia de consenso entre la mayoría de los criterios ($v=0,5$) la alternativa preferida es la variante 1 sin embargo no presenta una ventaja aceptable respecto a la variante 3. Esto es así para los valores de v excepto para la estrategia de voto ($v=0$). En este punto entonces la variante 1 es preferible a la 3 sin embargo no presenta una ventaja aceptable a la variante 2 por lo que existe cierta inestabilidad en el proceso de decisión (Figura 2). Si se adopta la estrategia de consenso se eligen como conjunto de solución las variantes 1 y 3, de lo contrario si se acepta la estrategia de voto ($v<0$) haría que incluir la variante 2 también.

Tabla .6 Resultados del método VIKOR.

Variante	0	1	2	3
Vector S	0.642	0.292	0.493	0.359
Vector R	0.324	0.14	0.161	0.202
D(Q)=0.3333		Vector Q		
v=0.00	1	0	0.118	0.335
v=0.10	1	0	0.164	0.321
v=0.20	1	0	0.210	0.306
v=0.30	1	0	0.256	0.292
v=0.40	1	0	0.301	0.278
v=0.50	1	0	0.347	0.263
v=0.60	1	0	0.393	0.249
v=0.70	1	0	0.439	0.235
v=0.80	1	0	0.485	0.220
v=0.90	1	0	0.530	0.206
v=1.00	1	0	0.576	0.192

Fuente: elaboración propia.

Fig 2: Dinámica del vector Q frente a v para las alternativas.



Fuente: elaboración propia.

En este trabajo se considera la perspectiva de consenso. Luego, al tener que elegir entre dos alternativas se lleva a cabo el proceso de votación entre los expertos arribándose a que la variante 1 es la preferida con nueve votos a favor. El 60 % de los expertos considera que la sustitución del clasificador de tornillo sinfín por un clasificador centrífugo es la mejor alternativa, influenciado posiblemente por el considerable costo de la tecnología de filtración. Aunque la variante 3 constituye el cierre del ciclo de materiales en la tecnología de beneficio de arena se pudo comprobar que para los pesos de los criterios analizados no presenta una ventaja significativa respecto a la variante 1. En este contexto se justifica la posición conservadora de los expertos, aunque este autor señala que en el futuro debe analizarse la posibilidad de la implementación de la tecnología de filtración por sus beneficios medioambientales, los que por su naturaleza no son adecuadamente descritos mediante indicadores económicos.

CONCLUSIONES

Se propone una serie de metodologías basada en herramientas de análisis multicriterio que permite evaluar la sostenibilidad de los procesos industriales y de servicio, y su exposición en artículos científicos utilizando El método Delphi, el Proceso de Jerarquización Analítica y el método VIKOR

Se logra la implementación mediante un software de estas metodologías lo facilita automatizar todos los cálculos de las diferentes etapas del proceso de decisión fundamentado en un componente matemático lo que contribuye a la reducción de la subjetividad.

Las metodologías propuestas fueron aplicadas en diferentes estudios de casos de valoración de procesos industriales en la agricultura, la industria azucarera, recursos hidráulicos y la industria alimenticia. Ello permitió la integración de factores ecológicos, económicos, técnicos y sociales en el proceso de decisión tributando a seleccionar en cada caso la alternativa de compromiso más adecuada desde la visión de la sostenibilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berbel, T. Bournaris, B. Manos, N. Matsatsinis & D. Viaggi (2018), *Multicriteria Analysis in Agriculture* (pp. 43-68): Springer. <https://es.scribd.com/document/485155887/multicriteria-analysis-in-agriculture-2018-pdf>
- De Almeida, A. T., Cavalcante, C. A. V., Alencar, M. H., Ferreira, R. J. P., de Almeida-Filho, A. T., & Garcez, T. V. (2016). *Multicriteria and multiobjective models for risk, reliability and maintenance decision analysis*. In C. rice (Series Ed.) International Series in Operations Research & Management Science, Vol. 231.
- Chang, C. L., & Hsu, C. H. (2009). Multi-criteria analysis via the VIKOR method for prioritizing land-use restraint strategies in the Tseng-Wen reservoir watershed. *Journal of environmental management*, 90(11), 3226-3230. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479709001315>
- Chang, C. L., & Hsu, C. H. (2010). Applying a modified VIKOR method to classify land subdivisions according to watershed vulnerability. *Water Resources Management*, 25(1), 301-309. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-010-9700-2>
- Espinosa, A. (2023). Economía circular: una aproximación a su origen, evolución e importancia como modelo de desarrollo sostenible. *Revista de economía institucional*, 25(49), 109-134. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-59962023000200109&script=sci_arttext
- Gehringer, A., & Kowalski, S. (2024). From Economic Welfare Through a Broader Well-being to Sustainability. In *Mapping Sustainability Measurement: A Review of the Approaches, Methods, and Literature* (pp. 7-14). Cham: Springer Nature Switzerland. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-47382-1_2
- Jiménez Fontana, R., & García González, E. M. (2017). Visibilidad de la Educación Ambiental y la Educación para la Sostenibilidad en las publicaciones españolas sobre educación científica. <https://rodin.uca.es/handle/10498/18861>
- López-Bastida, E. J., & Fernández-Álvarez, D. (2023). Estudio bibliométrico sobre la relación publicaciones-desarrollo sostenible. Estudio de caso revista Universidad y Sociedad. *Universidad Y Sociedad*, 15(S2), 10-19. Recuperado a partir de <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/3858>
- Más Basnuevo, A., Ramos Morales, L., González Pérez, F., Piloto Farrucha, M., Sánchez Sánchez, M., & Orozco Silva, E. (2014). Decisión multicriterio para la evaluación y selección de proyectos de ciencia e innovación. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, 25(2), 249-256. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2307-21132014000200009&script=sci_arttext
- Ramírez, C. D. M., Rodríguez, D. T. G., Pérez, E. M. B., & Avellaneda, Z. J. A. (2024). Tendencias emergentes: diálogos entre la sostenibilidad ambiental en la gestión de proyectos de innovación social para un futuro sostenible. *Ciencia y Sociedad: República Dominicana*, 49(2), 77-87. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9701713>
- Recchia, L., Boncinelli, P., Cini, E., Vieri, M., Pegna, F. G., & Sarri, D. (2011). *Multicriteria analysis and LCA techniques: With applications to agro-engineering problems*: Springer Science & Business Media.

Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2012). Models, Methods, Concepts Applications of the Analytic Hierarchy Process. In F. S. Hillier (Series Ed.) International Series in Operations Research Management 17(4), B-141-B-164. <https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/mnsc.17.4.b141>

Saavedra Maturana, R., Arancibia Flores, M., & Chacana Ojeda, M. (2025). Los objetivos de desarrollo sostenible y la economía circular en las PYMES de región de Tarapacá Chile. *Revista Investigación y Negocios*, 18(31), 5-12. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2521-27372025000100005&script=sci_arttext

Schwartz, R., Jesse Dodge, N. A., Smith, O. E., (2019) *Communications of the ACM* (2020) / arXiv (2019). <https://arxiv.org/abs/1907.10597>

Sengupta, R. N. (2017). Other Decision-Making Models. In R. N. Sengupta, A. Gupta & J. Dutta (Eds.), *Decision Sciences. Theory and Practice* (pp. 233-285). United States of America: CRC Press.

Torres, O. (2010). *Evaluación de Producciones más Limpia en la planta de beneficio de arena “El Canal”*. (Tesis en opción al nivel académico Master en Producción Más Limpia), Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.

Vessuri, H., & de Montevideo, U. O. (2016). La ciencia para el desarrollo sostenible (Agenda 2030).