

**Ponencia: P\_019**

**Título: Modelo de selección de nanoproductos para proyectos de diseño industrial basado en un método de toma de decisión multicriterio.**

## **Autores**

DI Cyntia Molina Gamonal, [cmolinagamonal@gmail.com](mailto:cmolinagamonal@gmail.com)

Instituto Superior de Diseño, Cuba

M.Sc. Antonio José Berazaín Iturralde, [antonioberazain@gmail.com](mailto:antonioberazain@gmail.com)

Instituto Superior de Diseño, Cuba

## **Resumen**

La elección del material adecuado para la realización de un proyecto de diseño industrial es de suma importancia en tanto puede decidir un mejor o peor resultado del mismo.

En la literatura se refieren métodos de selección de materiales concernientes a proyectos de ingeniería mecánica o de diseño de ingeniería, como son el método gráfico de Ashby o el de base de datos.

Por otra parte, una tendencia más actual y creciente considera la aplicación de los métodos de toma de decisión multicriterio a la selección de materiales. Estos métodos permiten al decisor elegir entre varias alternativas, teniendo en cuenta los diferentes criterios o atributos que cumplen tales alternativas y los pesos estadísticos correspondientes.

En el trabajo se presenta un modelo para la selección de nanoproductos para proyectos de diseño industrial, en particular, nanocompuestos y nanorecubrimientos, utilizando un método de toma de decisión multiatributo. Este modelo contribuye a discernir cuál es la mejor alternativa de nanoproductos para el proyecto en cuestión.

## **Introducción**

La selección de un material para un proyecto de diseño es de suma importancia. Una mala elección puede provocar que un producto tenga deficiencias en su

funcionamiento, lo cual implica consecuencias económicas negativas y de pérdida de confiabilidad por parte del público hacia la marca o empresa que lo produce. De ahí que se hayan desarrollado diferentes métodos para determinar el material óptimo para cumplir la función que el proyecto requiere.

Con la aparición hace apenas unas décadas de la nanotecnología, han surgido nuevos materiales con prestaciones que superan a los materiales tradicionales, y que ofrecen nuevas potencialidades al diseño industrial.

Existen en el mercado nanoproductos que los diseñadores deben considerar por sus posibilidades, ya sea como materiales estructurales o funcionales. Estos deben competir con productos establecidos en una selección en la que intervienen diversos criterios, como la disponibilidad, los costos o la efectividad en sus funciones. Se impone disponer de métodos que permitan al decisor elegir el óptimo.

Se propone un modelo que permita al equipo de diseño en cuestión, seleccionar el nanoproducto que cumpla las mejores condiciones basado en los llamados métodos multicriterio. Estos métodos descansan en una matriz de decisión en la que se tienen las alternativas a escoger y los criterios o atributos que permiten compararlas. Integran además la matriz los pesos o ponderaciones de los criterios y el comportamiento de cada alternativa respecto a cada criterio.

Se trata de un primer acercamiento a la propuesta del modelo, puesto que la investigación prevé continuar considerando otros métodos multicriterio además de los expuestos, factibles para el caso concreto de los nanoproductos. De modo que un paso del procedimiento sea, precisamente, seleccionar el método multicriterio más conveniente para el problema dado.

## **Desarrollo**

### **I Nanotecnología, nanomateriales y nanoproductos.**

Considerada como una verdadera revolución científica contemporánea, la nanotecnología está llamada a resolver los problemas sociales más urgentes con especial influencia en las áreas de informática, las telecomunicaciones, la industria médica y farmacéutica, la automotriz, la biotecnología, mecánica, aeroespacial, la

---

textil, construcción, cosmética, el deporte, la energía y la electrónica (Quispe 2012, Barrueta N. y Berazaín A. (2016).

En pocos años, ha pasado de ser un asunto de laboratorio a conformar una parte cada vez más significativa en la vida cotidiana, desde un nanoelemento en la electrónica de nuestra laptop o conformar el fármaco que puede librarnos de una enfermedad. El presente trabajo aborda los avances relacionados con la actividad profesional del diseño industrial.

La nanotecnología trata del diseño, caracterización, producción y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas mediante el control de las dimensiones y la forma a escala nanométrica (The Royal Society & The Royal Academy of Engineering 2004). O sea, el desarrollo y producción de artefactos en cuyo funcionamiento resulta crucial una dimensión de menos de 100 nanómetros.

El término nanomaterial agrupa una amplia variedad de materiales de composición y propiedades muy diferentes, pero con la característica común de que al menos una dimensión externa de todas o parte de las partículas que los constituyen sea inferior a 100 nanómetros (Vollath 2013).

Ya sea como nanopartículas, nanofibras, nanohilos, o nanotubos, los nanomateriales permiten modificar propiedades de materiales establecidos, propiciando estructuras más fuertes y ligeras, superficies resistentes al agua, al rayado o a la radiación UV.

Son de destacar las distintas formas alotrópicas del carbono, que conforman una familia de nanomateriales extraordinarios, entre los que se encuentran los fullerenos, los nanotubos de carbonos y el grafeno. Éste último, descubierto hace apenas 20 años, dadas sus propiedades mecánicas, eléctricas y térmicas, está llamado a ser el material del futuro.

Los nanoproductos son productos a los cuales se le incorporan nanomateriales durante su fabricación (Mendoza y Meraz 2012). Sus aplicaciones pueden ser como materiales estructurales (nanocompuestos) o funcionales (nanorecubrimientos).

Existen en el mercado nanoproductos con potencialidades para ser incorporados en los proyectos de diseño industrial, que van desde nanorecubrimientos (anticorrosivo, hidrófobo, autolimpiable, antibacteriano, antideslizante, ignífugo, etc.) para la

terminación o acabado de productos; hasta nanocompuestos con propiedades mecánicas sobresalientes (resistencia mecánica, ligereza, anti impacto, flexibilidad) u otras (aislante térmico y acústico) (Findik 2021).

Ante estas posibilidades de aplicaciones, se impone disponer de un método de selección que permita escoger un nanoproducto para asumir las funciones antes descritas.

## **II La selección de materiales.**

La interrogante respecto a cuál será el material a emplear en un proyecto es recurrente en el trabajo de un diseñador. A partir del conocimiento de las propiedades físicas, mecánicas, químicas, ecológicas, de manufactura, económicas y otras de los candidatos posibles, se debe proceder a seleccionar el óptimo con las prestaciones requeridas. La tarea resulta compleja puesto que en ocasiones el número de materiales disponible es grande, y todos presentan ventajas y desventajas (Dorta 2017).

La selección del material óptimo y adecuado es un proceso importante y que encierra una alta responsabilidad. Una elección deficiente puede provocar fallas en el funcionamiento de un producto o en su durabilidad. Esto puede acarrear consecuencias económicas por la pérdida de mercado, además del detrimento de la confiabilidad por parte del público hacia la marca o la empresa en cuestión (Maleque & Sapuan 2013).

Existe consenso en que la selección de materiales tiene como punto de partida considerar las condiciones del proyecto. Es una etapa presente en la conceptualización del producto. Esto implica precisar (Farag 2014):

- Las restricciones del proyecto que son negociables y cuáles no. Esto incluye desde cuestiones de costo, problemas de seguridad e incluso legales si se tiene en cuenta el impacto ambiental.
- La función que debe cumplir el material. Se refiere a si se trata de cumplir una misión estructural o funcional.
- Las formas requeridas y los procesos tecnológicos asociados.

Visto esto, se tienen los siguientes pasos (Farag 2014, Maleque&Sapuan2013):

- Selección inicial o filtrado. Se trata de una primera preselección, teniendo en cuenta las características generales que se sabe de los materiales (propiedades físicas, costos, disponibilidad, aspectos ecológicos y otros).
- Clasificación y comparación de alternativas. Una vez reducido el número de posibles materiales, se clasifican teniendo en cuenta los requerimientos y las restricciones del proyecto.
- Determinación de la mejor solución.

Para este último paso se debe disponer de un método de selección adecuado, por lo que es necesario hacer un breve recuento de aquellos más utilizados.

### **III Métodos convencionales de selección de materiales.**

En este epígrafe destacaremos tres métodos que podemos catalogar como los más convencionales (González y Mesa 2004). Entre estos se tiene el método tradicional, que se basa en la experiencia de utilización del material en otros proyectos similares y que consta que ofrece buenos resultados. Posee buena aceptación debido a que brinda la seguridad propia de un material ya usado y ensayado. Sin embargo, puede conducir a una rutina en la que, al no hacer un estudio profundo de los materiales posibles, no permita avanzar en la introducción de nuevos materiales.

Otro método es el establecido por el profesor Michael Ashby, de la Universidad de Cambridge, que tiene su punto culminante en las llamadas cartas, mapas o diagramas de Ashby (Ashby 2011). En estos gráficos, los ejes de coordenadas corresponden a dos magnitudes que conviene tener en cuenta a los efectos de la aplicación en cuestión. Se reflejan los valores de dichas magnitudes para los distintos materiales y van quedando agrupados de acuerdo a familias de materiales (metales, polímeros, cerámicas, etc.). Esta representación visual permite el análisis de selección del material, que se ve facilitado por un software llamado EduPack, utilizado en muchas universidades.

A los efectos del diseño industrial nacional, este método ofrece varias dificultades. Por un lado, la no disponibilidad del software con la base de datos correspondientes. Por otro, si bien contempla otras propiedades, está concebido básicamente para

propiedades mecánicas. Para el trabajo de un diseñador resulta complicado y engorroso.

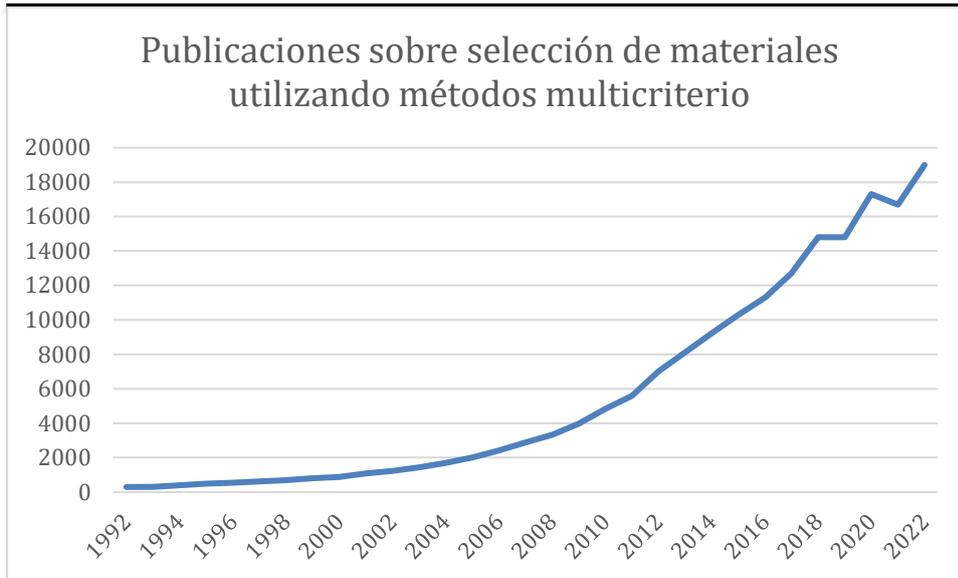
Podría agregarse que para el caso de los nanoproductos sería excesivo, puesto que las alternativas a seleccionar constituyen un número mucho menor que en los grandes proyectos de ingeniería de diseño. A esto se le suma que los nanoproductos tienen una dinámica de aparición en el mercado que supera la posible actualización del software.

El método de bases de datos (González y Mesa 2004) se apoya en la utilización de bases de datos sobre materiales, algunos de carácter libre o distribuidas por proveedores de materiales. Este método presenta los mismos inconvenientes de la accesibilidad a tales programas y su actualización.

#### **IV Métodos multicriterio para la selección de materiales.**

En las últimas décadas se observa un incremento de publicaciones científicas que reportan la aplicación de los métodos de decisión multicriterio (o de análisis multicriterio) en la selección de materiales (Jeea & Kangb 2000, Shanian & Savadogo 2006, Kadhim et al 2011, Jahanet al 2012, Anojkumar et al 2014, Rajnish et al 2014, Babanli et al 2018, Yazdani 2018, Emovon & Oghenenyero who 2020, Yang et al 2022).

En la Figura No. 1 se muestra la tendencia creciente de la producción de trabajos relacionados con la selección de materiales basados en métodos multicriterios a lo largo de los últimos 30 años, entre 1992 hasta 2022.



**Figura 1. Número de publicaciones sobre selección de materiales utilizando métodos multicriterio entre los años 1992 y 2022.**

Resulta evidente el marcado interés por parte de la comunidad científica respecto a la aplicación de los métodos multicriterio a la selección de materiales. Por tal razón, basaremos la propuesta de selección de nanoproductos en tales métodos.

Los métodos de decisión multicriterio facilitan la toma de decisión en un problema en el que hay que determinar la opción óptima entre varias alternativas. Su origen se remonta a los primeros años del siglo XX, con las aportaciones de científicos de diversas ramas, como economistas, estadísticos y matemáticos. Sus principios se consolidaron en los años 50 y 60, al nutrirse de las teorías de la optimización y la evaluación, las ciencias económicas, las probabilidades, la estadística, la teoría de juegos y otros saberes afines (Azhar et al 2021, Eltarabishi et al 2020).

Se aplican en diversos ámbitos, como pueden ser en trabajos relacionados con el medio ambiente vinculados a la determinación de impacto ambiental, en la mejor ubicación de plantas industriales, en la selección de personal para la ocupación de puestos de trabajo, en la planificación estratégica de empresas y otras (Dammak 2016).

Los problemas de toma de decisión multicriterio (MCDM Multi Criterion Decision Making) pueden ser divididos en dos categorías: toma de decisiones de atributos

múltiples (MADM, Multiple Attribute Decision Making) y toma de decisiones de objetivos múltiples (MODM, Multiple Objective Decision Making) (Rao 2007, Jahan& Edwards2013).

Los métodos MODM tienen valores de variables de decisión que se determinan en un dominio continuo, con un gran número de opciones (o infinito).

En cambio, los métodos MADM, son generalmente discretos, con un número limitado de alternativas predeterminadas. Es un enfoque empleado para resolver problemas que involucran la selección entre un número finito de alternativas, especificando cómo se procesará la información de los atributos para llegar a una elección. Estos son los métodos que se ajustan al problema de selección de materiales.

La base de estos métodos es la matriz de decisión o matriz de ponderación. Para construir esta matriz hay que identificar las alternativas, o sea, las opciones similares entre las que hay que decidir (Rao 2007).

Posteriormente, es preciso establecer las consideraciones que afectan la decisión, o sea, los criterios o atributos más importantes que caracterizan a las distintas alternativas.

De esa manera comienza a construirse la matriz de decisión, colocando en la columna de la izquierda las alternativas, ocupando las filas correspondientes; mientras que en las columnas se ubican los diferentes criterios o atributos.

Al hacer una caracterización de las alternativas, esto posibilita establecer los criterios que permitirán la comparación entre las mismas.

Dado que no todos los criterios tienen la misma importancia (por ejemplo, el costo respecto a alguna magnitud física) es necesario establecer valores relativos entre los mismos, es decir, establecer pesos o ponderaciones que caractericen una jerarquía entre los criterios.

El paso siguiente es ajustar para cada alternativa una calificación respecto a cada criterio, es decir, una valoración de su comportamiento frente a cada criterio, pues son precisamente esas diferencias lo que origina la necesidad de seleccionar la mejor opción. Para el caso que se tengan M alternativas y N criterios o atributos, la matriz de decisión adquiere la forma que muestra la tabla No. 1.

Se ha designado por  $w_j$  el peso correspondiente al criterio  $J$ -ésimo y  $m_{ij}$  a la calificación de la alternativa  $i$ -ésima respecto al criterio  $j$ -ésimo. En principio estas magnitudes deben estar normalizadas. Esto significa que se cumple que:

$$\sum_{j=1}^N w_j = 1$$

La normalización de las calificaciones  $m_{ij}$  depende del método multicriterio que se utilice.

Para llegar a la decisión final, hay que hallar la puntuación para cada alternativa. La puntuación  $P_M$  de la alternativa  $M$  viene dada por la expresión:

$$P_M = \sum_{j=1}^N m_{Mj} w_j$$

La alternativa que obtenga la mayor puntuación será la mejor opción. Para ello es necesario que los criterios se consideren siempre como beneficiosos, en el sentido que resulte más conveniente un valor mayor. Si existe uno como el costo, en que el menor valor es el mejor, pues se utiliza el inverso de ese valor.

Nótese que esa expresión matemática contiene dos elementos que determinan la selección: la importancia relativa de cada criterio (reflejada en los pesos) y el comportamiento de las alternativas respecto a cada criterio (reflejada en los valores  $m_{ij}$ ).

Alternativas	Criterios				Puntuación
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	...	C <sub>N</sub>	
	w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	...	w <sub>N</sub>	
A <sub>1</sub>	m <sub>11</sub>	m <sub>12</sub>	...	m <sub>1N</sub>	$\sum_{j=1}^N m_{1j}w_j$
A <sub>2</sub>	m <sub>21</sub>	m <sub>22</sub>	...	m <sub>2N</sub>	$\sum_{j=1}^N m_{2j}w_j$
...	...	...	...	...	...
A <sub>M</sub>	m <sub>M1</sub>	m <sub>M2</sub>	...	m <sub>MN</sub>	$\sum_{j=1}^N m_{Mj}w_j$

**Tabla No. 1. Matriz de decisión para el caso de M alternativas y N criterios.**

Sea, por ejemplo, un caso en que se requiere un recubrimiento hidrofóbico para la terminación de un determinado proyecto, y hay que seleccionar entre varias alternativas. En principio no todas tendrían que corresponder a nanoproduitos, ya que hay productos tradicionales que tienen esa función. En esta situación, cuatro criterios posibles pudieran ser disponibilidad, accesibilidad, grado de hidrofobicidad y otro atributo que mida si el producto puede además proporcionar otra protección como puede ser a la radiación ultravioleta o que tenga carácter bactericida.

Una vez descritos los elementos que componen la matriz de decisión, corresponde establecer el procedimiento para encontrar sus respectivos valores.

**V Procedimientos para resolver la matriz de decisión.**

Existen numerosos métodos multicriterio que permiten la selección de materiales. Cada uno de ellos trata de buscar un procedimiento para encontrar los pesos y las

calificaciones de las alternativas, tratando de salvar la subjetividad que pueda haber por parte del decisor o seleccionador (o grupos de decisores) que obviamente debe ser un experto (o grupo de expertos) en el campo, en este caso, de los nanoproductos a utilizar en un proyecto dado de diseño industrial.

Para elaborar las calificaciones de las alternativas respecto a cada criterio, o sea, el conjunto de las  $m_{ij}$ , se procede a evaluar su comportamiento frente a cada criterio de acuerdo a una escala de muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

A cada evaluación se le asigna un valor del 1 al 5, éste último coincidiendo con la categoría de muy alto. Estos valores, que llamaremos  $a_{ij}$ , se deben normalizar para ser colocados en la tabla. En correspondencia con los métodos que se manejan en el presente trabajo, se normaliza de acuerdo a la expresión:

$$m_{ij} = \frac{a_{ij}}{a_{\max j}}$$

Donde  $a_{\max j}$  es la evaluación de la alternativa que obtuvo el valor máximo respecto al criterio  $j$ -ésimo.

A fin de establecer los pesos o ponderaciones de los criterios, existen varios procedimientos. El más sencillo, para el caso que el decisor no pueda establecer una importancia de un criterio sobre otro, es otorgar el mismo peso a cada uno de los criterios con valor  $1/N$ , o sea, un valor medio e igual para cada criterio (Jahan et al 2012). Otra manera es que el decisor pueda, de acuerdo a su experiencia, asignarle a cada uno un peso en dependencia de la importancia. Esto se conoce como el método de ponderación aditiva simple (SAW, por sus siglas en inglés: Simple Additive Weighting) (Rao 2007).

Está claro que en lo anterior el factor subjetivo juega un papel significativo. Un procedimiento mejorado consiste en ordenar los criterios por orden de importancia y utilizar una de estas fórmulas (Romero 1996):

$$w_j = \frac{1/r_j}{\sum_{j=1}^N 1/r_j} ; w_j = \frac{(n+r_j+1)}{\sum_{j=1}^N (n+r_j+1)}$$

Donde  $r_j$  es el lugar o posición que ocupa el criterio  $j$ -ésimo en la clasificación establecida.

Ante la dificultad que puede entrañar el ordenar por importancia los diferentes criterios existe lo que se han dado a llamar los métodos de comparación por pares. La esencia es comparar cada criterio con los demás, pero de dos en dos, bajo el supuesto que siempre es más factible y objetivo comparar dos cosas al mismo tiempo.

Uno de esos métodos es conocido como enfoque de lógica digital (DL por sus siglas en inglés: Digital Logic) (Farag 2014, Anojkumar 2014). Sin embargo, este método presenta limitaciones ya que al comparar dos criterios se asigna el valor 1 al más y 0 al menos importante. Esto propicia que el criterio menos importante obtenga un valor nulo en todas las comparaciones de modo que su peso relativo se anula y queda excluido automáticamente de la selección (Kadhim et al 2011).

Por tal motivo, se ha hecho una modificación a este método (Dehghan-Manshadi et al 2007, Kadhim et al 2011, Anojkumar 2014) que supera esa desventaja y que se conoce como enfoque de lógica digital modificado (DLM por sus siglas en inglés: Digital Logic Modified).

Abordaremos este método para su aplicación al proceso de selección de nanoproductos.

## **VI Selección de nanoproductos utilizando el enfoque de lógica digital modificado (DLM).**

El DLM consiste en comparar cada criterio respecto a cada uno de los restantes. Se le asigna el valor 3 al más importante y 1 al menos importante. En caso que sea difícil determinar uno por encima del otro, o se consideren de igual importancia, ambos toman el valor 2 (Dehghan-Manshadi 2007).

Consideremos un ejemplo en el que se tienen 4 criterios:  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  y  $C_4$ . Se comienza comparando al criterio  $C_1$  con  $C_2$ , luego con  $C_3$  y con  $C_4$ . Después  $C_2$  con  $C_3$  y con  $C_4$ . La comparación termina con  $C_3$  frente a  $C_4$ .

Se le llama decisión positiva al valor que corresponde al criterio que supera al otro. Las decisiones positivas se suman para cada criterio. El peso o ponderación correspondiente a un criterio se obtiene dividiendo la suma de las decisiones positivas para ese criterio entre el número total de decisiones positivas. La tabla No. 2 muestra un posible ejemplo hipotético con 4 criterios (Anojkumar 2014). Nótese que los pesos están normalizados.

Criterios	Decisiones posibles						Decisiones positivas	Pesos w
	1	2	3	4	5	6		
C <sub>1</sub>	2	3	1				6	0.25
C <sub>2</sub>	2			2	3		7	0.29
C <sub>3</sub>		1		2		2	5	0.21
C <sub>4</sub>			3		1	2	6	0.25
Número total de decisiones positivas							24	

**Tabla No. 2. Ejemplo de aplicación del DLM para el caso de 4criterios.**

Esta propuesta de la utilización del enfoque de lógica digital modificado para la selección de nanoproductos es un resultado parcial. Se trata de una primera etapa de una investigación que continúa a fin de establecer un modelo que incluya la selección del método multicriterio más apropiado para el problema en cuestión. Esto conlleva a considerar en trabajos venideros otros métodos reportados en la literatura como el Analytic Hierarchy Process (AHP), TOPSIS, VIKOR, ELECTRE y PROMETHE. (Dammak 2016, Babanli 2018, Eltarabishi 2020, Emovon & Oghenenyero 2020, Azhar 2021).

---

## Conclusiones

Luego de la revisión bibliográfica realizada, se concluye que el modelo de selección de nanoproductos para proyectos de diseño industrial en el contexto nacional debe estar basado en un método multicriterio, y no por los otros métodos de selección de materiales al uso.

En el caso de los nanoproductos, el decisor se encuentra frente a un número de alternativas mucho menor que en el caso de otros materiales, y con todas las condiciones para su evaluación de acuerdo a los criterios o atributos que pueda establecer.

Los métodos multicriterio no requieren de un software específico con bases de datos, que en muchos casos no son libres. Las operaciones matemáticas que implican pueden ser programadas con relativa sencillez en un programa de hojas de cálculo. De hecho, un reflejo de sus ventajas es el creciente número de publicaciones al respecto y la versatilidad de sus diferentes técnicas.

En este reporte se ha propuesto la utilización del enfoque de lógica digital modificado para la selección de nanoproductos como un resultado parcial de la investigación destinada a establecer un modelo que incluya la selección del método multicriterio más apropiado para el problema en cuestión. Esto conduce a considerar otros métodos reportados en la literatura.

## Bibliografía

- 1) Anojkumar L., Ilangkumaran M., Kirubakaran B., Arulmurugan L., Hassan S. M. & Lokesh S., (2014). A novel method for material selection in industrial applications. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, (3), 11 pp.41 – 46.
- 2) Ashby M., (2011). *Materials Selection in Mechanical Design (Fourth Edition)*. EEUU: ELSEVIER.
- 3) Azhar N. A., Radzi N. A. M. & Ahmad W. S. H. M. W., (2021). Multi-criteria Decision Making: A Systematic Review, *Recent Advances in Electrical & Electronic Engineering*, 14, pp.779 – 801.

- 4) Babanli M. B., Prima F., Vermaut P., Demchenko L. D., Titenko A. N., Huseynov S. S., Hajiyev R.J., & Huseynov V.M., (2018). *Material Selection Methods: A Review*, en: 13th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing — ICAFS, pp.929 - 936.
- 5) Barrueta N. y Berazaín A. (2016). Una revolución en el diseño y la ingeniería: nanomateriales. *A3manos.Revista de la Universidad Cubana de Diseño*, 05, pp.74 –90.
- 6) Dammak F, Baccour L. &Alimi A. M., (2016).Crisp Multi-criteria Decision Making Methods: State of the art, *International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS)*, (14), 8, pp.252 – 264.
- 7) Dehghan-Manshadi B., Mahmudi H., Abedian A. & Mahmudi R., (2007). A novel method for materials selection in mechanical design: Combination of non-linear normalization and a modified digital logic method, *Materials and Design*, 28, pp.8 – 15.
- 8) Dorta E. (2017). Selección de materiales para el Diseño Industrial en Cuba. *A3manos. Revista de la Universidad Cubana de Diseño* (7), pp.55 – 66.
- 9) Farag M. M., (2014). *Materials and process selection for engineering design. Third Edition*. EEUU: Taylor & Francis Group.
- 10) Findik F., (2021). Nanomaterials and their applications. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences* (9), 3, pp.62 – 75.
- 11) González H. A. y Mesa D. H., (2004). La importancia del método en la selección de materiales. *Scientia et Technica, Año X*, (24), pp.175 - 180.
- 12) Eltarabishi F., Omar O. H., Alsyoufi. &Bettayeb M., (2020). Multi-Criteria Decision Making Methods And Their Applications– A Literature Review, *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Dubai, UAE*.
- 13) Emovon K. &Oghenenyero vwho O. S., (2020). Application of MCDM method in material selection for optimal design: A review, *Results in Materials* 7, pp.1- 21.
- 14) Jahan A. & Edwards K.L., (2013). *Multi-criteria Decision Analysis for Supporting the Selection of Engineering Materials in Product Design*. ELSEVIER.
- 15) Jahan A, Mustapha F., Sapuan S. M., Ismail Y. &Bahraminasab M., (2012). A framework for weighting of criteria in ranking stage of material selection process,

---

*The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 58, pp.411 – 420.

- 16) Jeea D. & Kangb K., (2000). A method for optimal material selection aided with decision making theory, *Materials and Design* 21, pp.199 – 206.
- 17) Kadhim M. J., Al-Bassam M. A. & Abdas S. H., (2011). Materials Selection in Conceptual Design using Weighting Property Method, *Eng. & Tech. Journal*, (29), 1, pp.82 – 95.
- 18) Kumar R., Jagadish & Amitava R., (2014). Selection of Material for Optimal Design using Multi-Criteria, *Procedia Materials Science*, 6, pp.590 – 596.
- 19) Maleque M. A & Sapuan M., (2013). *Materials Selection and Design*. Springer.
- 20) Mendoza C. F. y Meraz L., (2012). Hacia la nanociencia verde: nanomateriales, nanoproducos y nanorresiduos. *Materiales Avanzados*, 19, pp.39 – 41.
- 21) Quispe V. H. (2012). Aplicaciones industriales de la nanotecnología. *Revista de información tecnología y sociedad*, pp.58 – 61.
- 22) Rao R. V., (2007). *Decision making in the manufacturing environment: using graph theory and fuzzy multiple attribute decision making methods*. London: Springer-Verlag.
- 23) Romero C. (1996). *Análisis de las decisiones multicriterio*. Madrid: Isdefe.
- 24) Shanian A. & Savadogo O., (2006). A material selection model based on the concept of multiple attribute decision making, *Materials and Design* 27, pp.329 – 337.
- 25) The Royal Society & The Royal Academy of Engineering, (2004). *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*. London: The Royal Society.
- 26) Vollath D., (2013). *Nanomaterials. An Introduction to Synthesis, Properties, and Applications (Second Edition)*. Weinheim: Wiley-VCH.
- 27) Yang W., Ri W., Yang J. & Choe Ch., (2022). A new material selection method based on weighted mean values of overall performance scores from different multicriteria decision-making methods. *Advances in Materials Science and Engineering*, pp. 1 – 9.
- 28) Yazdani M., (2018). New approach to select materials using MADM tools, *Int. J. Business and Systems Research*, (12), 1, pp. 25 – 42.