

03-032

MULTICRITERIA VALUE ANALYSIS FOR POLYMER COMPOSITES SELECTION IN AUTOMOTIVE APPLICATIONS.

Carod de Arriba, Xavier ¹; González Benítez, María Margarita ²

¹ Universitat Politècnica de Catalunya, ² Universitat Politècnica de Catalunya

This study presents a tool for decision making called Multicriteria Value Analysis, used for selection of polymeric materials applied in automotive parts and components. The tool is built from the methodological framework of Analytical Hierarchy Process (AHP), to define a hierarchical structure of criteria based on the concept of value, and then establish the existing preferences among alternatives. Assuming that all possible alternatives should be polymers and composites which meet the preset quality specifications, sure there are differences between these alternatives, like: the rate of weight reduction, mechanical properties, costs material, environmental impacts, etc. Certainly, Multicriteria Decision Analysis methods are the most suitable in this case, because they provide us a holistic point of view of the decision problem. In the present study the methodological framework of Multicriteria Value Analysis is presented. The proposed criteria structure is validated by weighting them for a hypothetical case study.

Keywords: *Multi-Criteria Analysis; Value Analysis; Automotive; Composites; Light weighting.*

ANÁLISIS DE VALOR MULTICRITERIO PARA LA SELECCIÓN DE COMPUESTOS POLIMÉRICOS EN APLICACIONES DE AUTOMOCIÓN.

En este estudio se plantea una herramienta de ayuda a la toma de decisión a la que denominamos Análisis de Valor Multicriterio, que sirve para la selección de materiales poliméricos aplicados en componentes de automoción. La herramienta aprovecha el marco metodológico del Proceso de Jerarquías Analíticas (AHP) para establecer una estructura de criterios basada en el concepto de valor, y así establecer preferencias existentes entre las distintas alternativas. Partiendo de la base que todas las posibles alternativas deben ser materiales y compuestos poliméricos que cumplan con las especificaciones de calidad mínimas preestablecidas, seguro que existen diferencias entre dichas alternativas, en cuanto a: la tasa de reducción de peso, sus propiedades mecánicas, los costes del material, los impactos ambientales, etc. Sin duda, los métodos de Análisis Multicriterio son muy indicados, ya que nos proporcionan una visión holística del problema de decisión. En el presente estudio se presenta el marco metodológico de la herramienta de Análisis de Valor Multicriterio. Se procede a la validación de la estructura de criterios mediante la ponderación de los mismos para un hipotético caso de estudio.

Palabras clave: *Análisis Multicriterio; Análisis de Valor; Automoción; Compuestos; Reducción de peso*

Correspondencia: Xavier Carod de Arriba xavier.carod@upc.edu

1. Introducción

La industria de la automoción está dedicando muchos esfuerzos a la reducción de peso en los componentes de sus futuros modelos, siempre tratando de mantener (y, si se puede) mejorar las prestaciones y la calidad de los mismos. Reducir peso es una estrategia de diseño que aporta claramente beneficios en el ciclo de vida del producto (Sharma & Agarwal, 2011; Viñoles Cebolla, et al. 2003), básicamente porque un menor peso significa menos consumo del vehículo y por tanto menores emisiones en la etapa de uso. Actualmente existen varias estrategias para la reducción de peso usando compuestos poliméricos, como pueden ser: la adición de nanopartículas (Wallner et al., 2010), el espumado de las piezas (Hayashi et al, 2010), el uso de mezclas de polímeros (Phiriyawirut, Limwongwatthananan, & Kaemram, 2013), entre otras.

Pese a que todas las posibles soluciones deben satisfacer las especificaciones mínimas marcadas por el decisor para poder ser definidas como alternativas reales, existen diferencias desde un punto de vista funcional entre alternativas, cuando unas satisfacen mejor algunas necesidades que otras y /o aportan algún tipo de valor añadido.

La investigación en nuevos compuestos poliméricos es incesante, y en la actualidad existe un gran sector de crecimiento en el ámbito de la nanotecnología: los denominados nanocompuestos, que son materiales de matriz polimérica que incorporan nanopartículas embebidas en su interior. Según la agencia de estudios de mercado MarketsandMarkets (2015), se estima que el volumen de mercado para los nanocompuestos sea de unos 5.100 millones de dólares en 2020. Por otro lado, la agencia Transparency Markets Research (2013) proyectó unos números similares y además remarcó que, ya en 2011, el 12,8% del mercado de nanocompuestos tenía como uso final la industria de la automoción, y las previsiones apuntan a un crecimiento del uso de nanocompuestos en este sector.

Usar un nuevo compuesto o nanocompuesto en piezas del automóvil puede traducirse en reducciones de peso más o menos importantes, pero no siempre conlleva beneficios desde el punto de vista económico. Medioambientalmente, la reducción de peso suele ser favorable, pero hay que ponderar los otros aspectos que afectan al impacto ambiental de cada alternativa en todo su ciclo de vida, y por lo tanto, en toda su cadena de valor. Particularmente, los nanocompuestos poliméricos presentan un elevado grado de incertidumbre en este sentido, ya sea por falta de datos o incluso por el desconocimiento del metabolismo de las nanopartículas en los seres vivos y su entorno (Luther & Zweck, 2013).

Ante dicha incertidumbre, y con la necesidad de ponderar los aspectos económicos, funcionales y ambientales de cada alternativa, usar métodos de análisis multi-criterio (en adelante MCDA, por sus siglas en inglés) es, a priori, una buena manera de afrontar este problema, ya que en el fondo es un problema de toma de decisión. Se han usado métodos MCDA para propósitos muy distintos dentro del sector de la automoción, incluso se han desarrollado herramientas para la toma de decisión en la adquisición de vehículos (Byun, 2001). También se han desarrollado aplicaciones de métodos MCDA para lo que aquí concierne, que es la selección de materiales (Jeya Girubha & Vinodh, 2012). Justifican el uso de herramientas MCDA para esta finalidad debido a su mayor alcance sobre otros métodos de selección de materiales, como el conocido método Ashby o herramientas como el ACV.

La aproximación preferencial es uno de los métodos MCDA más usados actualmente (Giner-Santonja, Aragonés-Beltrán, & Niclós-Ferragut, 2012) y constituye la base del presente estudio. No obstante, los estudios existentes que usan AHP para la selección de materiales en automoción tienen un marco de actuación muy específico (Hambali et al., 2010; Mansor et al., 2013), y lo que se desarrolla en el presente estudio pretende ser una herramienta con una aplicación más amplia dentro del sector.

2. Objetivos y alcance del estudio

El objetivo principal es el desarrollo de una herramienta de ayuda a la toma de decisión que sea de utilidad para priorizar nuevas alternativas/soluciones que se plantean para futuros proyectos de automoción. En concreto, para priorizar entre distintos compuestos y nanocompuestos poliméricos para su aplicación en alguna pieza o componente del vehículo. Se pretende desarrollar una herramienta suficientemente abierta para que pueda ser aplicada en la toma de decisión de distintas piezas o conjuntos, siempre que se trate de materiales poliméricos, compuestos o nanocompuestos.

Poner en la balanza, además de la reducción de peso, los otros criterios funcionales, ambientales y económicos, es crucial para entender de manera holística las repercusiones que puede tener la selección de un compuesto u otro. Cabe destacar que la finalidad de esta herramienta no es tomar una decisión, sino ordenar toda la información y el “know-how” para ayudar a que el individuo o grupo decisor la tome. La herramienta presentada pretende a su vez concienciar al decisor de aspectos determinantes en otros eslabones de la cadena de valor, donde el decisor no interviene directamente, pero donde sus decisiones pueden tener consecuencias para otros actores.

En el presente trabajo se elabora un marco metodológico para el desarrollo de la herramienta, basado en métodos de análisis multicriterio de tipo preferencial e incorporando aspectos relacionados con el valor. Una vez el marco metodológico está establecido, se estructuran y definen los criterios, así como la manera de valorar las alternativas en relación a dichos criterios. Posteriormente se valida la estructura de criterios mediante su ponderación para un caso de estudio hipotético, en el que se quiere comparar entre varios compuestos poliméricos para su aplicación en paneles de puerta. No se analizan alternativas, simplemente se ponderan los criterios para tal fin. El ejercicio de ponderación de criterios permite darse cuenta de deficiencias o incongruencias en la estructuración de criterios y también permite matizar más detalladamente los aspectos que debe contemplar cada criterio definido. Mediante la práctica iterativa de este ejercicio se llega a consensuar la estructura de criterios definitiva, que es la que se presenta en los resultados de este trabajo.

Los actores que toman parte en este análisis son expertos del sector del automóvil, concretamente ingenieros e ingenieras en áreas como calidad, acabados internos y medio ambiente de producto. Dichos actores han participado de la definición y estructuración de criterios, pero sobre todo han contribuido a la validación final de los mismos.

3. Metodología propuesta

La metodología que se presenta se define como Análisis de Valor Multicriterio (en adelante AVM), ya que se trata en realidad de un método de análisis multicriterio que incorpora en su estructura el concepto de valor, como veremos más adelante.

Cabe empezar diciendo que el AVM, tiene sus raíces en la metodología preferencial de Proceso de Jerarquías Analíticas (AHP), desarrollada y evolucionada por T. Saaty (1990) Así que los criterios para la evaluación de alternativas se estructuran jerárquicamente en consecutivos niveles dónde los criterios de nivel inferior dependen de criterios definidos en un nivel superior. Tanto la priorización de los criterios como la evaluación de alternativas se establecen mediante comparación por pares, usando la escala de preferencias propuesta por el mismo Saaty y representada en la figura 1.

Se justifica el uso de la metodología AHP por varios motivos. En primer lugar porque las matrices de comparación por pares se consideran la forma más parecida a como las personas tomamos decisiones en la realidad (Parodi, 2013). Además, la estructuración jerárquica de los criterios permite una fácil comprensión de los aspectos asociados al problema planteado y de las relaciones que existen entre dichos aspectos o criterios.

Figura 1: Escala de preferencia propuesta por T.Saaty (elaboración propia)

Igual de preferente		moderadamente más preferente		Fuertemente más preferente		Muy fuertemente más preferente		Extremadamente más preferente
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Nota: Escala usada en la comparación por pares: entre criterios para valorar su importancia relativa respecto al criterio superior, y entre alternativas para valorar la preferencia sobre un criterio concreto.

Posiblemente, el uso del método de Proceso de Redes Analíticas (ANP), también desarrollado por Thomas Saaty (2004), podría ser una buena alternativa al AHP y ayudar aún más a la comprensión del problema de decisión. No obstante, en este caso se ha desestimado por el contexto en el que se realiza el estudio. Los profesionales del sector de la automoción que han tomado parte en la definición y validación de criterios y que harán uso de la herramienta para la ayuda a la toma de decisiones, no son expertos en métodos de análisis multicriterio. En este contexto el ANP puede resultar bastante complejo, haciendo que la herramienta sea menos atractiva y funcional.

También se ha constatado en estos últimos años, que las metodologías de jerarquías y redes analíticas son las más usadas en problemas de análisis multicriterio. Estudios como el publicado por Kabir, Sadiq, & Tesfamariam (2013), muestran claramente que la publicación de estudios basados en AHP y ANP es muy superior desde inicios del presente siglo, en comparación con otros métodos, como los multiobjetivo o los de sobrecalificación.

La estructuración de criterios presentada en este estudio no es cerrada para una toma de decisión concreta. Los criterios definidos pueden adaptarse al análisis de alternativas para cualquier pieza/conjunto cuya composición sea de naturaleza polimérica. Simplemente, en cada caso variará la priorización de criterios debido a la naturaleza del problema y al contexto en el que se tome la decisión, pero en cualquier caso, la definición de los criterios se puede considerar independiente a las alternativas.

Como se indica al inicio del apartado, la metodología propuesta se define como Análisis de Valor Multicriterio debido a la consideración del concepto de valor en dos etapas clave del análisis:

- **En la definición de los criterios de nivel más bajo**, que se realiza teniendo en cuenta los aspectos asociados a lo largo de la cadena de valor del producto, dando lugar, en algunos casos, a criterios compuestos de varios términos, que se valorarán

mediante calificaciones. Esto permite al decisor comprender las consecuencias que su decisión pueda tener sobre otros actores de la cadena de valor.

- En la matriz de ponderación referente al primer nivel de criterios, donde se ponderan los criterios funcionales respecto a los económicos y los ambientales. En este punto se están confrontando los tres términos de la ecuación de valor, mediante los conceptos de valor (función/coste) y de valor ambiental (función/coste + Imp. Ambiental).

Esta perspectiva de cadena de valor del producto ayuda a entender, de forma general, si el valor de una alternativa se transmite y es aceptada por los distintos actores que la componen. Esto se considera crucial para la entrada al mercado de los compuestos y nanocompuestos funcionales de última generación (Wang & Guan, 2012).

4. Definición de criterios

La estructura de criterios aquí presentada es la versión final acordada después de contrastar y refinar con los expertos varias versiones previas de dicha estructuración. A continuación se definen los criterios siguiendo el orden jerárquico, empezando por los del primer nivel, posteriormente los del segundo y finalmente los de tercer nivel. Para los criterios de éste último nivel también se detallará el método de valoración, ya que sobre ellos se van a priorizar las alternativas.

En la figura 2 se puede apreciar la estructura jerárquica de los criterios, en forma de “clusters” y nodos tal y como se ha introducido en el software SuperDecisions®, comúnmente usado para las metodologías AHP y ANP y perfectamente útil en nuestro caso para el AVM. En el escalón más alto de la jerarquía se encuentra el objetivo principal. En nuestro caso se trata de la selección de un compuesto polimérico para paneles puerta de automóvil. Tal como se ha indicado en el apartado anterior, los criterios de primer nivel son tres, y conforman lo que denominamos *matriz de priorización del valor*. Definido de forma más concreta tenemos:

- Criterios Ambientales (A): Grupo de criterios para valorar los efectos sobre el medio ambiente atribuibles a cada alternativa.
- Criterios Económicos (E): Grupo de criterios que contempla todo lo referente al precio de la alternativa y otros aspectos económicos que se pueden ver afectados por la toma de decisión.
- Criterios Funcionales (F): Grupo de criterios cuyo objetivo es sobrevalorar los aspectos funcionales de cada alternativa, tratando de plasmar el valor añadido que puede aportar cada una de ellas.

A partir de aquí, los criterios y subcriterios que forman cada uno de estos grupos de criterios han sido definidos con la colaboración de ingenieros del Centro Técnico de SEAT y apelando al conocimiento intercambiado con expertos profesionales de empresas proveedoras, como FAURECIA Automotive Systems o RAVAGO Plásticos, predecesoras en la cadena de valor del producto.

CRITERIOS AMBIENTALES (A)

A-1: Efectos sobre la salud de los usuarios: criterio que valora el posible efecto sobre los usuarios de sustancias nocivas.

Especial énfasis en el caso de nanopartículas y sustancias cuya toxicidad presente algún grado de incertidumbre o falten datos empíricos contrastados al respecto. Todo el peso de este criterio se aplica a un único sub-criterio en el tercer nivel:

Figura 2: Estructuración de criterios del Análisis de Valor Multi-criterio.



Nota: Esta es la estructura jerárquica tal como se ha introducido en el software Superdecisions®, en forma de nodos y “clusters”, para su posterior ejercicio de ponderación.

- *A-1.1: Efectos sobre la salud de los usuarios:* La valoración de alternativas respecto a este criterio, es uno de los puntos más críticos por su incertidumbre. Es posible que para compuestos comúnmente usados en el sector se puedan conocer datos concretos sobre su composición y la toxicidad de los componentes, pero no es así para los materiales de nueva generación entre ellos los nanocompuestos. Por este motivo se propone hacer uso de herramientas de Prevención de Riesgos Laborales (PRL), de tipo cualitativo cuando estos datos no se conozcan o no sean contrastados. Las herramientas desarrolladas estos últimos años como “Stoffenmanager” (Duuren-Stuurman et al., 2012), o “Control Banding Nano-tool” (Zalk, Paik, & Swuste, 2009), pueden ser de gran ayuda para clasificar las alternativas en distintos niveles de riesgo.

A-2: Efectos sobre el Medio Ambiente: Criterio que valora de forma global los efectos ambientales derivados de la aplicación de una alternativa u otra. En este criterio se definen dos subcriterios:

- *A-2.1: Impactos en la producción de materiales y piezas:* valoración de impactos ambientales de las etapas previas a la fase de uso. En caso no disponer de datos fiables para la evaluación, se puede comparar el potencial de reducción del consumo energético en fases productivas debido a los requisitos de procesado propios de cada compuesto.
- *A-2.2: Emisiones de CO2:* Comparativa de las emisiones de CO2 en la vida útil del vehículo (150.000 km) atribuibles al peso de la pieza/conjunto, en función del compuesto del que esté formado.

A-3: Uso de recursos Naturales: conjunto de criterios que valoran el origen y el destino de la materia usada.

- *A-3.1: Origen del material matriz:* Valora positivamente aquellos compuestos cuya matriz se compone (parcial o totalmente) de algún polímero de origen renovable o bien sea de polímero reciclado
- *A-3.2: Posibilidad de Reciclaje del compuesto:* Valora positivamente aquellos compuestos cuya matriz es reciclable, así como la facilidad de separación de la pieza para su procesado en los VFU.

CRITERIOS ECONÓMICOS (E)

E-1: Coste de la pieza / conjunto: Grupo de criterios que valora los costes directos asociados a la pieza /conjunto. Obviamente, se priorizan las alterativas que minimicen los costes.

- *E-1.1: Coste del material:* Coste (€/kg) del material.
- *E-1.2: Coste de fabricación:* Coste atribuible a los procesos de transformación por kg producido o por pieza. Uno de los parámetros que puede ayudar en la comparación de alternativas es el tiempo del ciclo de inyección de la pieza. Considerar también el coste del procesado / reciclado al final de la vida útil.

E-2: Nivel de inversión requerido: Grupo de criterios que valora el nivel de inversión requerido para la obtención de la Pieza / conjunto

- *E-2.1: Inversiones en el proceso:* Necesidad de inversiones en equipos nuevos o modificaciones de los procesos productivos (nuevos procesos, aplicación de medidas

de PRL,...) para garantizar: la correcta producción del compuesto, la correcta producción de piezas y el correcto procesado al fin de su vida útil.

- *E-2.2: Costes de Validación del material:* Inversión requeridas para la realización de ensayos de caracterización, validación y liberación del material por parte del departamento de calidad del fabricante.

E-3: Bonificaciones y penalizaciones: Grupo de criterios que valora los aspectos económicos asociados al cumplimiento o al incumplimiento de estándares legales y/o normativas internas. Todo el peso de este criterio se aplica a un único sub-criterio en el tercer nivel:

- *E-3.1: Bonificaciones y penalizaciones:* Si los hay, hay que contemplar posibles costes de sanciones por el incumplimiento de normativas. Del mismo modo que, si existen, los ingresos adicionales por el cumplimiento de objetivos u otro tipo de bonificaciones pueden jugar un papel importante a la hora de preferir una alternativa a otra.

CRITERIOS FUNCIONALES (F)

Para la valoración de alternativas respecto los criterios funcionales, habrá que pensar en la pregunta: ¿cuánto mejor son las prestaciones respecto al mínimo establecido por el decisor? En el sector de la automoción, como en muchos otros, una posible solución debe cumplir unas especificaciones mínimas de funcionalidad para que se pueda considerar una alternativa real. Por tanto todas las alternativas a comparar responden a estas necesidades mínimas establecidas por el decisor, de modo que se tratará de sobrevalorar las alternativas respecto a los criterios que se describen a continuación.

F-1: Calidad percibida: Grupo de criterios para priorizar por sobrevaloración lo relacionado con la percepción de calidad de la pieza / conjunto, y que se deba a la naturaleza del propio material. Se pueden relacionar fácilmente los términos que componen estos criterios con propiedades y características medibles del material, cosa que podría llevarnos a asumir una preferencia lineal de las alternativas en función del valor medido de las propiedades físico-químicas. No obstante, como los criterios se componen de más de una característica, se recomienda usar calificaciones para la comparación.

- *F-1.1: Aspecto:* Calidad aparente del producto entregado en cada eslabón de la cadena de valor. Eso incluye: calidad de la grana del compuesto (especialmente en temas de ajustes de color) y la calidad aparente de las piezas inyectadas con el compuesto (concordancia en color, brillo y grabado respecto lo deseado). También contempla la aparición de deformaciones, errores de franquicias y tolerancias durante la fase de montaje.
- *F-1.2: Desgaste:* Resistencia al desgaste y a la abrasión producida por fricciones, así como la resistencia a sustancias químicas.
- *F-1.3: Envejecimiento:* Este criterio valora la correcta estabilización del compuesto en su síntesis, cosa que previene el envejecimiento prematuro y las degradaciones del material debido a los procesos transformación. Otro aspecto muy importante que incluye este criterio es el envejecimiento del material por acción de la humedad, la temperatura y la radiación solar, que en algunos casos puede provocar la pérdida de calidad percibida o funcionalidad con el tiempo.

F-2: Funcionalidad: Grupo de criterios que sobrevalora la funcionalidad de cada alternativa. Partiendo de la base que todas las alternativas bajo estudio cumplen las prestaciones

mínimas establecidas por el decisor, cabe priorizar las alternativas respecto al sobrecumplimiento de los siguientes criterios:

- *F-2.1: Sobrecumplimiento de funciones principales / estructurales:* Satisfacción de necesidades estructurales y mecánicas de la alternativa. Se priorizarán las alternativas con mejores propiedades mecánicas.
- *F-2.2: Integración de funciones:* Satisfacción de funciones secundarias o complementarias por parte de cada alternativa. Existen muchas funciones, como puedan ser: confort, aislamiento, elegancia, mayor usabilidad,... que aportan valor añadido a una alternativa. Por tanto se priorizarán aquellos compuestos que integren mayor cantidad de funciones en su aplicación.
- *F-2.3: Sobrecumplimiento de requisitos de seguridad:* Se valoran las aportaciones de cada alternativa en aspectos de seguridad (activa o pasiva), más allá del mínimo obligado por ley. Se priorizarán aquellos compuestos con mejores propiedades de resistencia a impacto. Otro aspecto que se debe tener en cuenta al hablar de seguridad y compuestos poliméricos es su capacidad de resistencia a la combustión, medible mediante ensayos específicos. En este sentido, una menor propagación de llama se traduce en una mayor prioridad.
- *F-2.4: Procesabilidad y Mantenimiento:* Este criterio valora, por un lado, la amabilidad del compuesto con el método de fabricación. Esto se estipula considerando la complejidad que ofrece cada compuesto para un mismo proceso de transformación en la producción de piezas. Por otro lado, el mantenimiento juega un papel importante a lo largo de la cadena de valor. Cabe considerar la influencia de cada material en la degradación de moldes u otros equipos. Pero también las necesidades de mantenimiento, recambio e incluso la facilidad de limpieza durante el uso del vehículo.

F-3: Reducción de peso: Criterio establecido para valorar la reducción de peso de la pieza o conjunto para cada alternativa. Todo el peso de este criterio se aplica a un único sub-criterio en el tercer nivel:

- *F-3.1: Reducción de peso:* Reducción de peso de la alternativa (masa reducida o % de reducción de peso) respecto a la solución análoga aplicada en el último modelo en producción. Este criterio sí se puede valorar de una forma directa, ya sea mediante la masa reducida por pieza o bien comparando las densidades de cada compuesto polimérico.

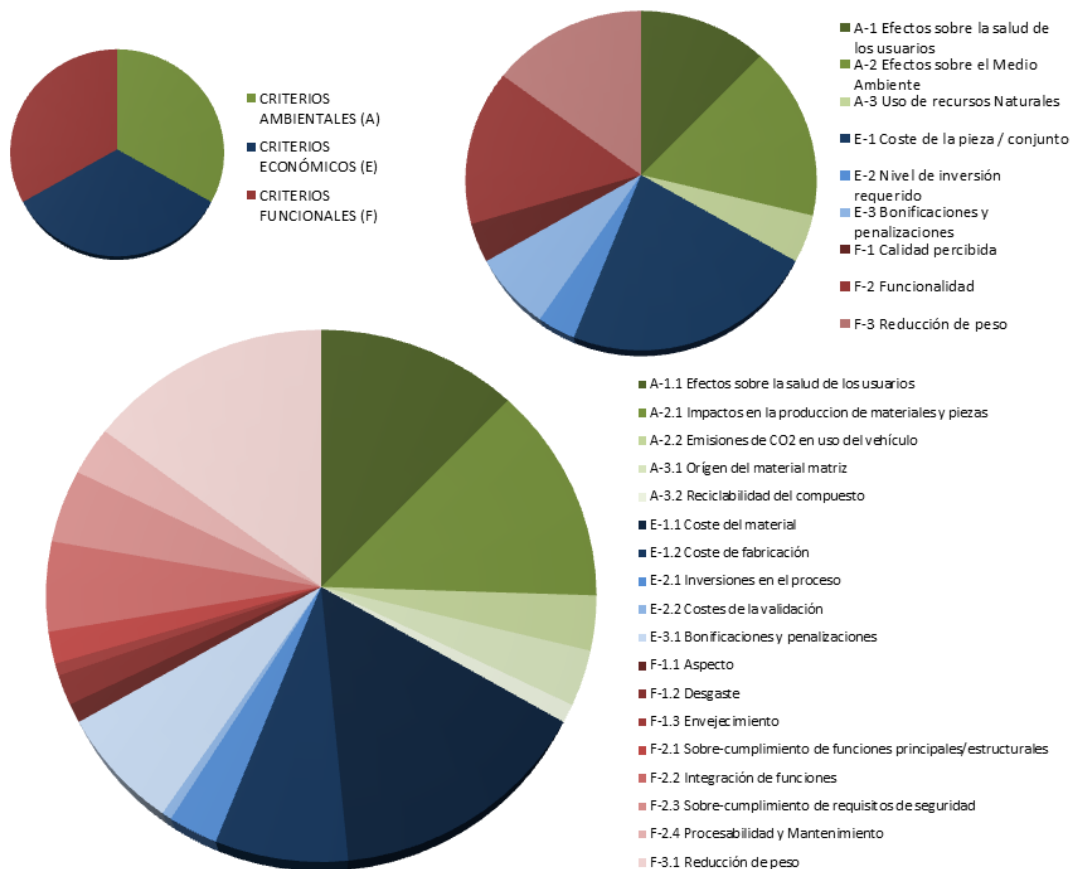
5. Validación y ponderación de criterios

Como se ha indicado en el alcance de este estudio, la estructura de criterios presentada en el apartado anterior ha sido validada por un grupo de expertos del sector de la automoción. Para tal fin, se ha procedido a la ponderación de los criterios para la selección de compuesto polimérico en paneles puerta del vehículo. El procedimiento seguido ha sido el de decisión por consenso, realizando el ejercicio de ponderación con todos los actores presentes, discutiendo y argumentado cada opinión personal para llegar a consensuar las preferencias del grupo. Las preferencias consensuadas se han introducido en el software SuperDecisions®, usando la estructura de criterios presentada en la figura 2, y los resultados de la ponderación se presentan gráficamente en la figura 3.

Se puede observar que, en este caso, el grupo decisor ha optado por dar la misma preferencia a los tres componentes de la matriz de priorización del valor (criterios de primer nivel). De modo que los aspectos funcionales, los ambientales y los económicos tienen el

mismo peso. Dentro de cada grupo, el reparto de pesos en los criterios del segundo y el tercer nivel jerárquico sigue una cierta lógica teniendo en cuenta que el caso hipotético de estudio es la selección de compuesto polimérico para la producción de paneles puerta. Dado que los paneles puerta son piezas grandes y, en la actualidad, con un peso superior a los 2 kg, tanto el potencial de reducción de peso (fruto de la densidad del compuesto alternativa) como el precio del material son los dos criterios que más peso tienen.

Figura 3: Resultado de ponderación de la estructura de criterios AVM para la selección de un compuesto para su aplicación en paneles puerta de vehículos.



Nota: Arriba a la izquierda, preferencias en la matriz de valor. Arriba a la derecha, ponderación de criterios del segundo nivel. Abajo, ponderación de criterios del tercer nivel. Todos ponderados respecto al objetivo principal.

En lo referente a criterios funcionales, después de la reducción de peso, el criterio que tiene más preferencia es el de integración de funciones, ya que es lo que históricamente ha aportado valor añadido al uso de compuestos poliméricos en automoción. Con las actuales y avanzadas técnicas de transformación y con el uso creciente de nanopartículas, todavía se prevé que dicha integración de funciones siga siendo un pilar fundamental en el crecimiento de mercado de materiales poliméricos. Por contrapartida, este uso de nuevos aditivos poco conocidos y cuya toxicidad todavía está en proceso de estudio, hace que desde una perspectiva ambiental, criterios como los efectos sobre la salud de los usuarios y los efectos sobre el medio ambiente en general, asuman un peso importante (28,8% del total).

En este caso de estudio, otros criterios, como los referentes al sobrecumplimiento de funciones o a los procesos de fabricación no tienen tanto peso, dado que la diferencia entre las posibles alternativas en este sentido tampoco es muy determinante.

6. Conclusiones y trabajos futuros.

El marco metodológico del Análisis de Valor Multicriterio presentado en este trabajo es exactamente el mismo que en el caso de la metodología preferencial del proceso de jerarquías analíticas (AHP). La incorporación del concepto de valor en el análisis tal como se ha descrito permite, por un lado, la comprensión holística de los efectos que puede tener la decisión a tomar sobre los actores decisores pero también sobre otros actores de la cadena de valor. Por otro lado, el decisor puede aportar su subjetividad a la hora de entender el valor, jugando con la preferencia de sus tres componentes (función, coste y medio ambiente), cuando tiene que ponderar los criterios del primer nivel.

La estructura de criterios propuesta ha sido finalmente validada por expertos cuyos puntos de vista han sido consensuados durante varios encuentros. Esto da valor a la herramienta, que ha resultado interesante para los propios expertos, que aseguran que es la manera cómo deberían decidirse las cosas. Decir también que los objetivos iniciales contemplaban el desarrollo de una herramienta abierta que pudiera ser aplicable a la selección de materiales en distintas piezas o componentes, y realmente es así. La estructura propuesta es válida para cualquier aplicación, simplemente hay que realizar la ponderación de criterios que sea oportuna en cada caso. Es más, posiblemente la herramienta pueda ser extrapolable a otro tipo de materiales no poliméricos, simplemente modificando ligeramente la definición de algunos criterios.

Para concluir la validación de la herramienta AVM, ésta debe aplicarse a un caso de estudio real. Esto significa aplicar el AVM para la comparación de distintos compuestos poliméricos para una pieza concreta, y que la herramienta sea usada por el Set de ingenieros responsables de dicha pieza. Este trabajo ya se está planificando con los grupos de ingenieros en el departamento de Acabados Internos del Centro Técnico de SEAT, y se espera tener los resultados y la validación final en los próximos meses.

7. Agradecimientos

Agradecer a todos los ingenieros e ingenieras del Centro Técnico de SEAT y del departamento de Calidad de SEAT que han contribuido con sus conocimientos y valoraciones al desarrollo de este estudio, y por consecuencia a la validación de la herramienta de Análisis de Valor Multicriterio aquí presentada.

8. Referencias

- Byun, D. H. (2001). The AHP approach for selecting an automobile purchase model. *Information and Management*, 38, 289–297. doi:10.1016/S0378-7206(00)00071-9
- Duuren-Stuurman, B. Van, Vink, S. R., Verbist, K. J. M., Heussen, H. G. a, Brouwer, D. H., Kroese, D. E. D., ... Fransman, W. (2012). Stoffenmanager nano version 1.0: Aweb-based tool for risk prioritization of airborne manufactured nano objects. In *Annals of Occupational Hygiene* (Vol. 56, pp. 525–541). doi:10.1093/annhyg/mer113
- Giner-Santonja, G., Aragonés-Beltrán, P., & Niclós-Ferragut, J. (2012). The application of the analytic network process to the assessment of best available techniques. *Journal of Cleaner Production*, 25, 86–95. doi:10.1016/j.jclepro.2011.12.012

- Hambali, A., Sapuan, S. M., Ismail, N., & Nukman, Y. (2010). Material selection of polymeric composite automotive bumper beam using analytical hierarchy process. *Journal of Central South University of Technology*. doi:10.1007/s11771-010-0038-y
- Hayashi, H., Mori, T., Okamoto, M., Yamasaki, S., & Hayami, H. (2010). Polyethylene ionomer-based nano-composite foams prepared by a batch process and MuCell® injection molding. *Materials Science and Engineering C*, 30(1), 62–70. doi:10.1016/j.msec.2009.08.009
- Jeya Girubha, R., & Vinodh, S. (2012). Application of fuzzy VIKOR and environmental impact analysis for material selection of an automotive component. *Materials and Design*, 37, 478–486. doi:10.1016/j.matdes.2012.01.022
- Kabir, G., Sadiq, R., & Tesfamariam, S. (2013). A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management. *Structure and Infrastructure Engineering*, 10(November), 1176–1210. doi:10.1080/15732479.2013.795978
- Luther, W., & Zweck, A. (2013). *Safety Aspects of Engineered Nanomaterials*. Pan Stanford. Retrieved from <http://books.google.es/books?id=FZsAAAAAQBAJ>
- Mansor, M. R., Sapuan, S. M., Zainudin, E. S., Nuraini, a. a., & Hambali, a. (2013). Hybrid natural and glass fibers reinforced polymer composites material selection using Analytical Hierarchy Process for automotive brake lever design. *Materials and Design*, 51, 484–492. doi:10.1016/j.matdes.2013.04.072
- MarketsandMarkets. (2015). Polymer Nanocomposites Market by Type, by Application, and by Region - Trends. Retrieved from <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/polymer-nanocomposites-market-228956069.html>
- Parodi, V. (2013). *Propuesta metodológica para la evaluación integral de proyectos del sector energético*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Phiriyawirut, M., Limwongwatthananan, T., & Kaemram, S. (2013). Natural Rubber / Fluoro Elastomer Blends: Effect of Third Component on Cure Characteristics , Morphology , Mechanical Properties , and Automotive Fuel Swelling, 2013(November), 79–85.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26. doi:10.1016/0377-2217(90)90057-I
- Saaty, T. L. (2004). Fundamentals of the analytic network process — multiple networks with benefits, costs, opportunities and risks. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*. doi:10.1007/s11518-006-0171-1
- Sharma, V., & Agarwal, V. (2011). Polymer composites sustainability: environmental perspective, future trends and minimization of health risk. In IPCBEE vol.4 (Ed.), *2nd International Conference on Environmental Science and Development* (Vol. 4, pp. 259–261). Singapore: IACSIT Press, Singapore. Retrieved from <http://www.ipcbee.com/vol4/56-ICESD2011D30009.pdf>
- Transparency Markets Research. (2013). Nanocomposites (Carbon Nanotubes, Polymer Metal Fiber, Nanofibers, Graphene, Nanoplatelet and Others) Market for Automotive, Aviation, Electronics, Energy, Construction, Healthcare, Plastics, Military, Consumer Goods and Other Applications - Global Indust. Retrieved from <http://www.transparencymarketresearch.com/nanocomposites-market.html>
- Viñoles Cebolla, R., Bastante Ceca, M. J., López García, R., Vivancos Bono, J. L., & Capuz Rizo, S. (2003). ANÁLISIS DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE UN AUTOMÓVIL, A LO LARGO DE SU CICLO DE VIDA. In AEIPRO (Ed.), *International congres on Project Engineering* (pp. 557–565). Pamplona: AEIPRO. Retrieved from http://aeipro.com/files/congresos/2003pamplona/ciip03_0557_0565.2207.pdf
- Wallner, E., Sarma, D. H. R., Myers, B., Shah, S., Ihms, D., Chengalva, S., ... Dykstra, C. (2010). Nanotechnology Applications in Future Automobiles. *SAE International*. doi:10.4271/2010-01-1149
- Wang, G., & Guan, J. (2012). Value chain of nanotechnology: a comparative study of some major players. *Journal of Nanoparticle Research*, 14(2), 702. doi:10.1007/s11051-011-0702-7
- Zalk, D. M., Paik, S. Y., & Swuste, P. (2009). Evaluating the Control Banding Nanotool: A qualitative risk assessment method for controlling nanoparticle exposures. *Journal of Nanoparticle Research*, 11(7), 1685–1704. doi:10.1007/s11051-009-9678-y