



An Automation Model for Consensus Applied to the Trip Selection Problem with an Interval Approach

Manuel Barrón Santiago, Nelson Rangel Valdez,
Claudia Gómez Santillán, María Lucila Morales Rodríguez,
Laura Cruz Reyes and Hector J. Fraire Huacuja

EasyChair preprints are intended for rapid
dissemination of research results and are
integrated with the rest of EasyChair.

July 16, 2021

Un modelo de automatización para el consenso aplicado al problema de selección de viajes con un enfoque de intervalos

Manuel Barrón-Santiago*, Nelson Rangel-Valdez**, Claudia Gómez-Santillán*, Ma. Lucila Morales-Rodríguez*, Laura Cruz-Reyes*, Héctor J. Fraire-Huacuja*

* *Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Av. 1o. de Mayo s/No esq. Sor Juana Inés de la Cruz, C.P., Cd. Madero, Tam. 89440, México (Tel: 833-357-4820; e-mails: manuelbns60@gmail.com, claudia.gs, lucila.mr, laura.cr, [@cdmadero.tecnm.mx](mailto:hector.fh)).*

** *Cátedras CONACyT – Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Av. 1o. de Mayo s/No esq. Sor Juana Inés de la Cruz, C.P., Cd. Madero, Tam. 89440, México (e-mail: nrangelva@conacyt.mx)*

Resumen: El consenso es un proceso presente en la toma de decisiones grupales (GDM, Group Decision Making), en donde un grupo de expertos busca una solución que satisfaga los intereses de todo el grupo. Durante el proceso de consenso se busca resolver un problema en específico, para este artículo el problema que se busca resolver es el problema de selección de viajes, donde la solución a encontrar es una cartera formada por un conjunto de destinos, además otros factores a tomar en cuenta son días de viaje, el costo del viaje, los lugares a visitar. Este caso de estudio usa un enfoque de intervalos basado en superación para integrar las preferencias. Las principales contribuciones son un nuevo modelo para la automatización del consenso durante el proceso de toma de decisión grupal, así como también un mecanismo automático que apoyará a los expertos a realizar un ajuste en las preferencias que permita alcanzar el consenso.

Keywords: Real-time algorithms, scheduling, and programming; Decision making and cognitive processes; Modeling of human performance; Evolutionary algorithms; Modelling and decision making in complex systems.

1. INTRODUCCIÓN

El problema de toma de decisión grupal (GDMP por el vocablo en inglés *Group Decision Making Problem*) busca alcanzar el consenso de un grupo de expertos $E = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$ en relación a la selección de la mejor alternativa de entre un conjunto factible $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ para un problema dado, considerando los criterios individuales de cada experto. Cuando el grupo de expertos encuentra una solución en la que todos están en común acuerdo o ha alcanzado el mayor grado de aceptación, se dice que los expertos han llegado a un consenso.

En la literatura hay múltiples trabajos que han diseñado modelos de consenso a diferentes casos de estudio, solucionando con ello el problema de GDMP. La Tabla 1 resume las principales características observados dentro de los trabajos de investigación analizados, estas características son: A) requerir o no la intervención de un moderador; B) contener una estrategia para el modelado de preferencias; C) tener la capacidad para manejo de incertidumbre; D) contar con una técnica utilizada para lograr el consenso; E) definir un mecanismo de ajuste de parámetros; F) incorporar el uso de intervalos en su modelado; y G) desarrollar automáticamente el procesos de consenso sin requerir intervención humana. Es

importante notar que las técnicas para lograr consenso son: 1) valores máximos/mínimos; 2) valores de dominancia estricta/débil; 3) medida de consenso y coherencia; 4) medida de consenso y proximidad; y, 5) regresión a la media.

En la Tabla 1, se pueden observar el uso recurrente de relaciones difusas para modelar las preferencias, o de medidas de consenso como técnicas para lograr consenso. Sin embargo, también se puede observar que pocos trabajos han utilizado intervalos como parte de la estrategia para solucionar GDMP. Considerando estas circunstancias, el presente trabajo de investigación propone una nueva estrategia de solución a GDMP a través de un mecanismo automático que permita eventualmente lograr el consenso. El mecanismo propuesto considera el uso de intervalos tanto para la definición de las relaciones de preferencia, como para el manejo de la incertidumbre existente en el problema. Adicionalmente, esta investigación aborda el Problema de Selección de Viajes (PSV), una variante minimalista del Problema de Optimización de Carteras de Proyectos poco estudiado en el área de GDM. Finalmente, una característica distintiva de la propuesta es el uso de la regresión a la media como técnica de consenso.

En resumen, el objetivo principal de la investigación es el desarrollo de un modelo que permita automatizar el consenso durante el proceso de toma de decisiones grupales en el caso de estudio conscerniente a el PSV.

Tabla 1. Trabajos del estado de arte

Autor	A	B	C	D	E	F	G
Soung-Hie et al. (1997)	No	Difuso	Si	1, 2	No	No	No
Herrera-Viedma, et al. (2007)	Si	Difuso	Si	3	Si	No	Si
Alonso et al. (2010)	Si	Difuso, lingüístico,	Si	3	Si	No	Si
Tapia García et al. (2012)	Si	Difuso, lingüístico	Si	4	Si	Si	Si
Singh & Benyoucef (2013)	Si	Difuso	Si	4	Si	No	Si
Herrera-Viedma et al. (2002)	Si	Múltiples tipos	No	4	Si	No	Si
Mata et al. (2006)	Si	Lingüístico Multigranular	No	4	Si	No	Si
Mata F. (2006)	Si	Linguístico Multigranular	Si	4	Si	No	Si
This work	Si	Difuso	Si	5	Si	Si	Si

El resto de este manuscrito se organiza de la siguiente manera. La Sección 2 describe los principales conceptos relacionados con la investigación. La Sección 3 presenta la propuesta como modelo de automatización de consenso para abordar el GDMP, que el objetivo de la investigación es el desarrollo de un modelo de automatización para el consenso. La Sección 4 resume el experimento y los resultados obtenidos. La Sección 5 muestra las conclusiones.

2. MARCO TEÓRICO EL PROBLEMA DE SELECCIÓN DE VIAJES CON UN ENFOQUE DE INTERVALOS

2.1 El problema de selección de viajes con un enfoque de intervalos

El Problema de Selección de Viajes (PSV) es una variante del Problema de Selección de Cartera de Proyectos. Este problema se puede entender como un grupo de personas (familia, empresarios, amigos, etc.) que desean escoger un conjunto de destinos. Sin embargo, dado que los recursos disponibles son limitados, se desea encontrar una colección de destinos que satisfaga al grupo de manera consensuada.

La evaluación de un conjunto de destinos seleccionados será mediante los atributos particulares del PSV que son: número de destinos (di), el número de atracciones total (ai), la calificación del lugar (ci), y la duración en días de la estancia (ei). La selección de los destinos no deberá exceder el presupuesto establecido (P), considerando que cada destino tiene un precio(pi). Formalmente PSV se define en la Ecuación 1.

$$Z = \text{Max } di(S), ai(S), ci(S), ei(S)$$

Sujeto a: (1)

$$pi(S) \leq P$$

La solución del problema será dada por el vector $S = \{x_1, x_2, \dots, x_i\}$ donde $x_i=1$ indica que el destino i fue seleccionado, y $x_i=0$ que no.

En general PSV busca viajar a la mayor cantidad de destinos posible maximizando el número de atracciones a las que se tendrá acceso, con la mejor calificación posible por los usuarios, y pasando el mayor número de días en ellos. Considerando que es un grupo de personas involucrado en la solución de PSV, entonces se puede decir que éste representa un caso particular de GDMP, cuya solución se puede dar a través del modelo de automatización propuesto en la sección 5. Dato que la propuesta de integración requiere el manejo de intervalos, la siguiente sección resume los conceptos más relevantes al respecto.

2.2 Matemática de intervalos

Un número representado como intervalo es un concepto de los números reales del sistema numérico común. Balderas et al. (2019) menciona a que un número de intervalo se describe en términos de rango $E = [\underline{E}, \overline{E}]$, donde \underline{E} representa el límite inferior y \overline{E} representa el límite superior del número de intervalo. Una representación gráfica de número de intervalo se puede ver en la figura 1, la cual muestra un intervalo donde el límite inferior es $\underline{E} = 55$ y el límite superior es $\overline{E} = 65$ sobre una recta, donde la recta representa el sistema de números reales.

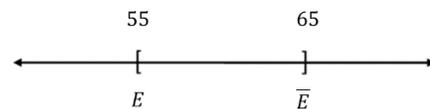


Figura 1. Representación de E

Para operaciones básicas con intervalos consideremos dos números de intervalo $D = [\underline{D}, \overline{D}]$ Y $E = [\underline{E}, \overline{E}]$, entonces las operaciones aritméticas básicas se pueden definir para estos como:

$$D + E = [\underline{D} + \underline{E}, \overline{D} + \overline{E}], \quad (2)$$

$$D - E = [\underline{D} - \underline{E}, \overline{D} - \overline{E}], \quad (3)$$

$$D \cdot E = [\min\{\underline{D} \cdot \underline{E}, \underline{D} \cdot \bar{E}, \bar{D} \cdot \underline{E}, \bar{D} \cdot \bar{E}\}, \max\{\underline{D} \cdot \underline{E}, \underline{D} \cdot \bar{E}, \bar{D} \cdot \underline{E}, \bar{D} \cdot \bar{E}\}], \quad (4)$$

Si E es un número real:

$$D \cdot E = \underline{D} \cdot E, \bar{D} \cdot E \quad (5)$$

Balderas et al. (2019) y Yao et al. (2011) definen reglas de relación de orden sobre los números de intervalo. Estas reglas se basan en $P(E \geq D)$ que es una medida de la posibilidad de que la relación de orden $E \geq D$ sea cierta. Es fácil probar que esta medida de posibilidad es equivalente a la Ecuación 6.

$$P(E \geq D) = \begin{cases} 1 & \text{si } P_{ED} \geq 1, \\ P_{ED} & \text{si } 0 \leq P_{ED} \leq 1, \\ 0 & \text{si } P_{ED} \leq 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{Donde } P_{ED} = \frac{\bar{E} - \underline{D}}{(\bar{E} - \underline{E}) + (\bar{D} - \underline{D})}$$

Cuando los intervalos $E = [\underline{E}, \bar{E}]$ y $D = [\underline{D}, \bar{D}]$ cumplen que $e = \underline{E} = \bar{E}$ y $d = \underline{D} = \bar{D}$ entonces el valor de $P(E \geq D)$ se calcula como en la Ecuación 7. En otras palabras, satisfacen la relación de orden establecida como si fueran no intervalos.

$$P(E \geq D) = \begin{cases} 1 & \text{si } e \geq d \\ 0 & \text{si no} \end{cases} \quad (7)$$

De acuerdo a Balderas et al. (2019) y Fliedner y Liesio (2016), una *realización* es un número real e que cae en los límites de un intervalo $E = [\underline{E}, \bar{E}]$. Tomando en consideración lo anterior, Balderas et al. (2019) menciona que se define como grado de credibilidad α a la medida de posibilidad $P(E \geq D)$ mínima que se debe satisfacer para considerar que un intervalo E es mayor o igual que otro intervalo D . Alternativamente, está el grado de credibilidad representa la posibilidad de que dadas dos realizaciones e y d de dos intervalos distintos E y D , la primera realización sea mayor o igual que la segunda.

Análogamente, a partir de $P(E \geq D) = \alpha$, se puede definir su negación que es la posibilidad de que el intervalo D sea mayor o igual al intervalo E de acuerdo a la Ecuación 8.

$$P(E \geq D) = \alpha \Rightarrow P(D \geq E) = 1 - \alpha \quad (8)$$

La relación de igualdad entre dos intervalos existe solamente cuando ambos intervalos coinciden tanto en límite superior como límite inferior. Finalmente, la combinación de la Ecuación 9 con la relación de igualdad permiten definir la relación de orden *mayor que* entre intervalos, quedando como resultado la Ecuación 8. Con esto termina la definición del conjunto básico de relaciones de orden entre intervalos (que son $>$, $<$, $=$, \geq , \leq).

$$E > D \Leftrightarrow P(E \geq D) > 0.5 \quad (9)$$

Por último, la Tabla 2 muestra ejemplos de comparaciones de intervalos de acuerdo a diferentes relaciones de orden.

Tabla 2. Comparación de relaciones de orden entre intervalos

E	D	Operación	Resultado	P_{ED}
[0,5]	[0,5]	=	True	0.5
[5,10]	[15,20]	<	True	0
[5,15]	[5,10]	>	True	0.66
[5,15]	[10,20]	\leq	True	0.25
[20,30]	[15,25]	\geq	True	0.75

3. EL MODELO DE AUTOMATIZACIÓN DEL CONSENSO

Esta sección presenta el nuevo modelo propuesto para automatizar el proceso de consenso que ocurre en GDMP. El modelo evita la necesidad de contar con un moderador, y aproxima el consenso siguiendo una estrategia de regresión a la media.

El desarrollo del modelo considera como caso de estudio al PSV descrito en la Sección 2.1. El modelo propuesto define las siguientes tres etapas: 1) etapa de obtención automática de la solución para el consenso; 2) etapa de evaluación del nivel de satisfacción consensual sobre la solución elegida; 3) etapa de retroalimentación del sistema mediante ajuste de parámetros preferenciales para un mejor consenso. La Figura 2 muestra la arquitectura de implementación del modelo propuesto. En esta figura se observa la relación entre el PSV y el modelo de automatización propuesto, donde PSV es el caso de estudio en la propuesta.

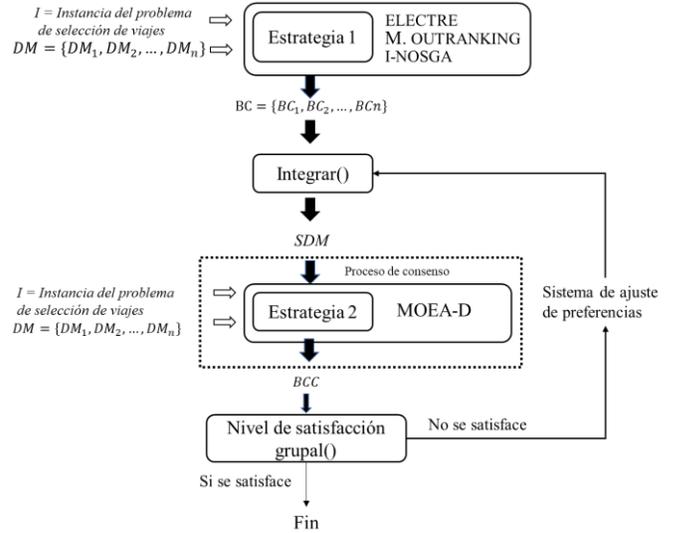


Figura 2. Arquitectura de implementación del modelo de automatización para el consenso.

Cada una de las etapas del modelo propuesto son detalladas en el resto de esta sección.

3.1 Etapa 1: obtención automática de la solución

La etapa de obtención automática de una solución consensuada consiste en utilizar metaheurísticas que permitan construir una solución a PSV, a partir de la información preferencial actual de los DMs involucrados. Esta etapa consta de 3 pasos reflejados en la arquitectura de la Figura 2 en los procesos denominados *Estrategia 1, Integrar, y Estrategia 2*.

La *Estrategia 1* tiene como objetivo obtener el mejor compromiso (o BC por el vocablo inglés *Best Compromise*) para cada DM. El BC será la solución a PSV que satisfaga las preferencias del decisor. El modelo plantea el uso de I-NOSGA como estrategia de búsqueda de dicha solución, apoyándose en las relaciones de superación definidas por ELECTRE III para ajustarla a las preferencias de un DM en concreto. La entrada requerida es la instancia de PSV, y la información preferencial de cada DM. La salida será un BC por DM.

El paso *Integrar* tiene como objetivo integrar las preferencias en un moderador simulado denominado, el cuál será el encargado de supervisar el consenso. Actualmente dicha integración se realiza simplemente mediante la unión de todos y cada uno de los BCs de los DM como parte de la instancia del PSV, dicha integración se refiere como *SDM* (o *Supra Decision Maker*).

Finalmente, la *Estrategia 2* plantea realizar el proceso de consenso, para ello se propone usar el Problema de Optimización Subrogado de PSV (POSPSV) que considera dos objetivos maximizar el número de decisores satisfechos y de minimizar el número de decisores insatisfechos a partir de la instancia de PSV y un SDM asociado. Con lo anterior se define el mejor compromiso consensual (BCC, *Best Consensual Compromise*), que son las soluciones en el frente óptimo de Pareto del POSPSV. La *Estrategia 2* indica el uso de MOEA/D como algoritmo de optimización para la obtención del BCC. La entrada en de la *Estrategia 2* es la instancia redefinida en el paso *Integrar*, y la salida será el BCC. Para este trabajo en particular se considera un orden léxicográfico en los objetivos, considerando como mejor la maximización de los DMs satisfechos.

Con lo descrito anteriormente se puede observar que la solución consensual se puede obtener automáticamente mediante la implementación de los 3 pasos, como se sugiere en este documento. En la siguiente Etapa del modelo de automatización se plantea el seguimiento cuando el consenso no es adecuado.

3.2 Etapa 2: Evaluación del Nivel de Satisfacción Consensual

Una vez que el BCC se ha identificado, el siguiente paso es verificar que se alcance el nivel de satisfacción mínimo estipulado por el grupo de DMs. La arquitectura lo implementa en el proceso *Nivel Satisfacción Grupal*. Para ello, se hace uso de un indicador de satisfacción medible que determine si una solución satisface o no a un grupo de personas. Este trabajo propone el uso de la regla definida en la Ecuación 10 como el umbral de satisfacción que cubre este propósito.

$$DM_{SAT} > DM_{DIS} \text{ y } DM_{SAT} > DMs/2 \text{ y } DM_{DIS} \leq 20 \% DMs \quad (10)$$

donde DM_{SAT} representa el número de DMs satisfechos, DM_{DIS} es la cantidad de DMs insatisfechos, y DMs es el total de tomadores de decisiones. Cada vez que el umbral de satisfacción no es alcanzado, el modelo de automatización entrará en una etapa de ajuste de preferencias hasta llegar a un consenso; esto se detalla mejor en la siguiente sección.

3.3 Etapa 3: Retroalimentación del Sistema

Esta etapa aplica un mecanismo de ajuste de preferencias cuando el umbral de satisfacción deseado para el consenso no es alcanzado. Se implementa en el proceso *Sistema de Ajuste de Preferencias* dentro de la arquitectura propuesta.

Dado que los parámetros, dentro del sistema preferencial de cada DM, son expresados mediante intervalos $E = [E, \bar{E}]$, se propone como mecanismo de ajuste basado en la regresión hacia la media. La estrategia se resume a continuación.

Primero, se obtiene $Avg(U_i)$ que es el promedio de cada parámetro preferencial i obtenido de entre los DMs. Segundo, se actualiza el valor de U_{ij} correspondiente a cada parámetro preferencial i de cada DM j usando las siguiente reglas: 1) si $U_i \geq U_{ij}$ entonces aumenta en 1% el valor de U_{ij} ; 2) si $U_i \leq U_{ij}$ entonces disminuir en 1% el valor de U_{ij} ; y, 3) si $U_i = U_{ij}$ entonces modificar U_{ij} aumentando en 1% el límite superior y disminuyendo en 1% el límite inferior.

Lo anterior simbolizan reflexiones de los decisores en favor de un consenso, eventualmente se alcanzará ya que a través de las reglas en algún punto los intervalos se interconectarán. Una vez realizado el ajuste, se busca nuevamente el BCC con el objetivo de corroborar que las nuevas preferencias permiten mejorar el nivel de satisfacción.

4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

4.1 Diseño Experimental

El modelo de automatización propuesto se validó resolviendo 30 instancias del PSV. Las instancias se componen por un presupuesto máximo, un número de objetivos, un número de decisores en el grupo, un número de destinos, y la información respectiva de cada destino incluyendo (precio, número de atracciones, calificación del destino, y estancia en días). El número de destinos fue 100, el número de objetivos fue 4, y el número de decisores considerados fue de 5. Los valores del resto de los parámetros de cada instancia fueron generados aleatoriamente en los rangos [0, 10000] para el presupuesto, [1, 9] para el número de atracciones, [0, 99] para la calificación y [1,9] para el número de días en la estancia.

La información preferencial de los DMs se caracterizó por el conjunto de parámetros $\{W, V, \beta, \gamma, \lambda\}$ que representan los pesos de los atributos, los vetos, y los umbrales de credibilidad, mayoría, y de recursos, contemplados en el modelo de

superación basado en ELECTRE III. Los DMs fueron simulados, contemplado fijos los umbrales en $\beta=\{[0.51, 0.67], [0.51, 0.67], [0.51, 0.67], [0.51, 0.67], [0.51, 0.67]\}$, $\gamma=[0.51, 0.67]$, $\lambda=[0.51, 0.67]$, variando aleatoriamente los pesos en el rango $[0,1]$ considerando la suma de los mismos menor a 1 en los límite inferiores y mayor a 1 en los superiores, y variando aleatoriamente los vetos en los extremos mínimo y máximo obtenidos por el acumulado de los destinos.

La experimentación con I-NOSGA consideró como parámetros el uso de 30 repeticiones por instancia, cada repetición constó de 1000 evaluaciones. Los operadores genéticos fueron selección por torneo, cruza simple en un punto, y mutación simple, utilizando 0.02 como probabilidad de muta. El tamaño de la población empleado fue de 100. Se reporta un tiempo de 1 minuto con 13 segundos por repetición por instancia.

La experimentación con MOEA/D también consideró 30 repeticiones por instancia, cada repetición constó de 1000 evaluaciones. Se empleó selección aleatoria y como operadores genéticos cruza simple en un punto, y mutación simple, utilizando 0.02 como probabilidad de muta. El tamaño de la población empleado fue de 100. Se reporta un tiempo de 10 minutos con 35 segundos por repetición por instancia.

La instancia empleada por MOEA/D integra los BC para resolver POSPSV.

4.2 Resultados

En la Tabla 5, se da a conocer el número de DMs satisfechos y DMs insatisfechos para la mejor solución de cada instancia. A cada solución se le aplicó la métrica del umbral de satisfacción y se muestra si satisface o no satisface el nivel de satisfacción impuesto por la métrica.

Tabla 5. Resultados para el primer experimento

Instancia	DMs-SAT	DMs-InSAT	SATISFACE
i01	5	0	Si
i02	5	0	Si
i03	5	0	Si
i04	5	0	Si
i05	5	0	Si
i06	5	0	Si
i07	5	0	Si
i08	5	0	Si
i09	5	0	Si
i10	5	0	Si
i11	5	0	Si

i12	5	0	Si
i13	5	0	Si
i14	5	0	Si
i15	5	0	Si
i16	5	0	Si
i17	5	0	Si
i18	5	0	Si
i19	5	0	Si
i20	5	0	Si
i21	5	0	Si
i22	5	0	Si
i23	5	0	Si
i24	5	0	Si
i25	5	0	Si
i26	5	0	Si
i27	5	0	Si
i28	5	0	Si
i29	5	0	Si
i30	5	0	Si

En los resultados mostrados en la Tabla 5, se puede observar que, de acuerdo a la métrica de satisfacción, la mejor solución compromiso para cada instancia si satisface el nivel de satisfacción necesario para que haya un consenso entre todos los DMs, por lo que no fue necesario el apoyo del mecanismo de ajuste de parámetros y esto no ayuda a probar que el modelo realmente funcione. A partir de estos resultados se puede concluir que se requiere diseñar otro experimento con instancias más difíciles de resolver, con el propósito de encontrar soluciones que no puedan satisfacer la métrica de satisfacción, con el fin de que el mecanismo de ajuste pueda apoyar realizando ajustes en las preferencias de los DMs y el proceso de consenso se realice nuevamente o las veces necesarias hasta que el modelo pueda ser capaz de resolver el problema.

5. CONCLUSIONES

El modelo de automatización puede tener diferentes posibles alcances en su aplicación. Por ejemplo, los principales que se deben lograr, son la solución al Problema de Selección de Viajes (o PSV), así como principalmente el lograr automatizar el consenso, con automatizar se refiere que cuando una solución no cumple con el nivel de satisfacción requerido el programa termina (sin el modelo de automatización), esto requiere que se una persona intervenga para realizar ajustes en las preferencias y tenga que ejecutar el programa nuevamente.

Con el modelo se busca realizar este paso automáticamente sin que alguna persona intervenga, logrando así la automatización.

Para lograr resolver el problema el modelo se apoya de técnicas como el Modelo Electre III, un Modelo de Superación y los algoritmos I-NOSGA y MOEA-D y con el sistema de ajuste de preferencias y la métrica del umbral de satisfacción.

En el estado del arte ya existen múltiples modelos de consenso, pero es importante mencionar que lo que diferencia a la presente propuesta es que hasta ahora no se tiene un modelo de automatización aplicado al problema de cartera de proyectos bajo un enfoque de intervalos. Por lo tanto, los aportes más importantes que se puede observar son: 1) Nuevo modelo de automatización para el proceso de Consenso en la toma de decisiones grupales; 2) Una nueva métrica para medir el nivel de satisfacción grupal. 3) Un mecanismo de ajuste de preferencias para el enfoque de intervalos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de proyectos CONACYT 3085 Cátedras CONACyT 2014 y A1-S11012 Ciencia Básica 2017-2018. También agradecer el apoyo del Laboratorio Nacional de Tecnología de Información (LaNTI) del TecNM/Campus ITCM.

REFERENCIAS

- Alonso, S., Herrera-Viedma, E., Chiclana, F., & Herrera, F. (2010). A web based consensus support system for group decision making problems and incomplete preferences. *Information Sciences*, 180(23), 4477–4495. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.08.005>
- Balderas, F., Fernandez, E., Gomez-Santillan, C., Rangel-Valdez, N., & Cruz, L. (2019). An Interval-Based Approach for Evolutionary Multi-Objective Optimization of Project Portfolios. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 18(04), 1317–1358. <https://doi.org/10.1142/S021962201950024X>
- Flidner, T., & Liesiö, J. (2016). Adjustable robustness for multi-attribute project portfolio selection. *European Journal of Operational Research*, 252(3), 931–946. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.01.058>
- Herrera-Viedma, E., Alonso, S., Chiclana, F., & Herrera, F. (2007). A Consensus Model for Group Decision Making With Incomplete Fuzzy Preference Relations. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(5), 863–877. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2006.889952>
- Herrera-Viedma, E., Herrera, F., & Chiclana, F. (2002). A consensus model for multiperson decision making with different preference structures. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 32(3), 394–402. <https://doi.org/10.1109/TSMCA.2002.802821>
- Mata, F. (2006). Modelos para sistemas de apoyo al consenso en problemas de toma de decisión en grupo definidos en contextos lingüísticos multigranulares. *Universidad de Jaén, Doctoral Thesis Jaén*.
- Mata, F., Martínez, L., & Herrera-Viedma, E. (2009). An Adaptive Consensus Support Model for Group Decision-Making Problems in a Multigranular Fuzzy Linguistic Context. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 17(2), 279–290. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2009.2013457>
- Mata, F., Martínez, L., Martínez, J. C., & Herrera-Viedma, E. (2008). An adaptive consensus support system for gdm problems with heterogeneous information. En *Computational Intelligence in Decision and Control: Vol. Volume 1* (pp. 835–840). WORLD SCIENTIFIC. https://doi.org/10.1142/9789812799470_0137
- Singh, R. K., & Benyoucef, L. (2013). A consensus based group decision making methodology for strategic selection problems of supply chain coordination. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(1), 122–134. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2012.03.013>
- Soung-Hie Kim & Byeong-Seok Ahn. (1997). Group decision making procedure considering preference strength under incomplete information. *Computers & Operations Research*, 24(12), 1101–1112. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(97\)00037-3](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(97)00037-3)
- Tapia García, J. M., Tapia García, C., Martínez, M. Á., Amor Pulido, R., & Moral Ávila, M. J. D. (2012). Un modelo de consenso para problemas de toma de decisiones multicriterio en grupo mediante relaciones de preferencia intervalares difusas lingüísticas. *Revista de métodos cuantitativos para la economía y la empresa*, 14, 36–53.
- Yao, S., Jiang, Z., Li, N., Zhang, H., & Geng, N. (2011). A multi-objective dynamic scheduling approach using multiple attribute decision making in semiconductor manufacturing. *International Journal of Production Economics*, 130(1), 125–133. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.12.014>