Ayudando a elegir una alternativa robusta: análisis de sensibilidad y software para la toma de decisiones multicriterio

Pavel Novoa-Hernández[1], David A. Pelta[2], and Carlos Cruz Corona[2]

[1] Dept. de Ingeniería Informática y de Sistemas, Universidad de La Laguna, España.
pnovoahe@ull.edu.es
[2] Dept. de Ciencias de la Computación e IA, Universidad de Granada, España
{dpelta,carloscruzcorona}@ugr.es

Resumen Esta contribución se basa en el artículo *Helping to choose a robust alternative: A sensitivity analysis and a software tool for multi-criteria decision-making. Expert Systems 42(4)* , donde donde se extiende el enfoque WIBA con un análisis de sensibilidad local, y se introduce WIBApp, una herramienta interactiva de ayuda a la decisión que facilita la aplicación e interpretación del enfoque. WIBA permite abordar problemas de toma de decisión multicriterio (MCDM), sin tener que definir la importancia de los criterios mediante pesos. En su lugar, se utiliza un orden de relevancia de los mismos. Se presentan aquí los aspectos básicos del análisis de sensibilidad propuesto, así como de la herramienta desarrollada.

Keywords: Toma de Decisiones Multicriterio · Análisis de Sensibilidad · WIBA · Sistemas de Soporte a la Decisión · Clasificación Robusta

1. Introducción

Los métodos de resolución de problemas de decisión multicriterio (MCDM) *clásicos* suelen representar la importancia de cada criterio mediante un valor numérico preciso, un peso. Sin embargo, a los decisores les resulta más sencillo proporcionar una ordenación de los criterios en función de su relevancia [2]. El Enfoque Basado en Intervalos sin Pesos (WIBA) [5] se propuso para abordar esta situación, sustituyendo la definición de los pesos por un orden de preferencia/relevancia de los criterios. Posteriormente, en lugar de asignar un valor preciso de calidad (score) a cada alternativa, se calcula la calidad mediante un intervalo. Desarrollado originalmente para filtrar y seleccionar soluciones en optimización multiobjetivo, WIBA también puede ordenar alternativas.

Aunque WIBA reduce la carga cognitiva, persisten dos desafíos: (i) cómo evaluar la robustez de un ranking cuando no existen pesos explícitos (el análisis de sensibilidad está ampliamente reconocido como un componente fundamental de MCDM [1], pero los enfoques convencionales basados en perturbaciones de pesos no son aplicables directamente), y (ii) cómo facilitar su aplicación práctica.

2. Perspectiva general del enfoque WIBA

WIBA parte de: 1) una matriz de evaluación $E_{M\times N} = (e_{ij})$, donde cada e_{ij} representa el rendimiento de la alternativa i en el criterio j, y 2) una ordenación de los criterios π que representa la importancia relativa de los mismos.

En lugar de utilizar valores explícitos para los pesos, WIBA considera el conjunto convexo de vectores de pesos W compatibles con el orden π. Es decir $w_{\pi(1)} \geq w_{\pi(2)} \geq \ldots \geq w_{\pi(n)} \geq 0$, con $\sum w_j = 1$. Los puntos extremos de este conjunto son [3]: $V = \{(1, 0, \ldots, 0),\ (1/2, 1/2, 0, \ldots, 0), \ldots,\ (1/n, \ldots, 1/n)\}$.

Para un vector de pesos w, se define el score de una alternativa i como $S_i(w) = \sum_{j=1}^{n} w_j e_{ij}$. Finalmente, considerando todos los vectores extremos de pesos, se construye un intervalo de valoración de la siguiente manera:

$$I_i = [\, s_i^-,\, s_i^+ \,], \quad s_i^- = \min_{w\in W} S_i(w), \quad s_i^+ = \max_{w\in W} S_i(w). \tag{1}$$

Este enfoque ofrece varias ventajas: evita definir pesos precisos, captura la imprecisión/incertidumbre, permite la comparación bajo una familia de órdenes de preferencia y soporta tareas tanto de filtrado como de ordenación.

3. Análisis de sensibilidad para WIBA

El análisis de sensibilidad tradicional en MCDM estudia el impacto de perturbar los pesos numéricos. Dado que WIBA no se basa en pesos explícitos, la principal contribución teórica de [4] es una metodología de análisis de sensibilidad local basada en perturbaciones de la propia ordenación de preferencias. El enfoque propuesto explora pequeños cambios (perturbaciones) en las posiciones relativas de los criterios dentro del orden facilitado por el decisor, utilizando el concepto de *fuerza de intercambio* (swap strength).

Para cada perturbación, se recalculan las evaluaciones de las alternativas y se compara con ranking original. Se incorporan diversas medidas de similitud entre rankings (como Spearman, Kendall o coeficientes ponderados), lo que permite un estudio sistemático de la estabilidad del ranking. El análisis permite: identificar alternativas estables, detectar las sensibles, cuantificar la robustez del ranking y mejorar la confianza en la recomendación final. Los resultados experimentales presentados en [4] demuestran que la metodología aporta información útil que no se puede obtener a partir de un único ranking.

4. El software WIBApp

Para facilitar el uso de WIBA y la aplicación del análisis de sensibilidad, se desarrolló *WIBApp*, un entorno gráfico de ayuda a la decisión que está disponible en `http://modougr.shinyapps.io/WIBApp/`. WIBApp integra el flujo de trabajo completo de WIBA, incluyendo la importación y el preprocesamiento de datos, la especificación de las ordenaciones de criterios, el cálculo de las puntuaciones de intervalo, la generación de clasificaciones, la ejecución del análisis de sensibilidad y la visualización de los resultados (ver Fig. 1).

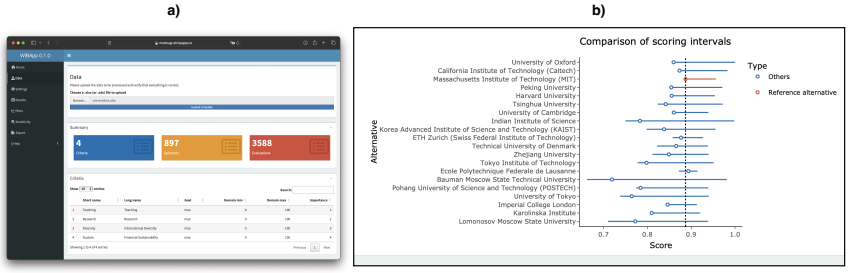


Figura 1. Capturas de pantalla de *WIBApp*. En a) se despliega la información del problema recopilada a partir del archivo de entrada, detallando el número de alternativas y criterios, así como el orden de importancia de estos. En la b) las puntuaciones (en forma de intervalos) para cada alternativa. A través de visualizaciones interactivas, los usuarios pueden explorar cómo cambian los rankings bajo diferentes supuestos de preferencia e identificar alternativas robustas.

5. Caso de estudio

Como caso de estudio, se usó a WIBApp para resolver un problema de selección de universidades técnicas utilizando información de los rankings RUR (`https://roundranking.com/ranking/subject-rankings.html`). Se consideraron múltiples indicadores de rendimiento (como investigación, docencia, diversidad, etc.), generando un escenario MCDM realista, tal y como se resume en la Fig. 1-a).

La Fig. 2 muestra la ventana para el análisis de sensibilidad. Tras decidir el indicador de ranking y el *swap strength*, el sistema muestra la magnitud de los cambios en el ranking respecto al original. El número de intercambios potenciales depende del número de criterios. Se muestran tanto el impacto de los cambios individuales como los valores agregados.

6. Conclusiones

Esta contribución resume las principales aportaciones del estudio publicado en [4]. El trabajo extendió WIBA mediante una nueva metodología de análisis de sensibilidad diseñada específicamente para modelos de decisión basados en el orden de preferencias de los criterios, y proporciona una implementación de software práctica a través de WIBApp. La investigación utiliza ideas de MCDM, optimización lineal, aritmética de intervalos, funciones de distribución de posibilidad, medidas de comparación de clasificaciones, así como ingeniería de software y programación.

Las líneas de investigación futuras incluyen extender la metodología a estructuras de preferencia más complejas, incorporar indicadores de robustez adicionales y explorar aplicaciones en otros dominios que requieran soporte a la decisión bajo incertidumbre.

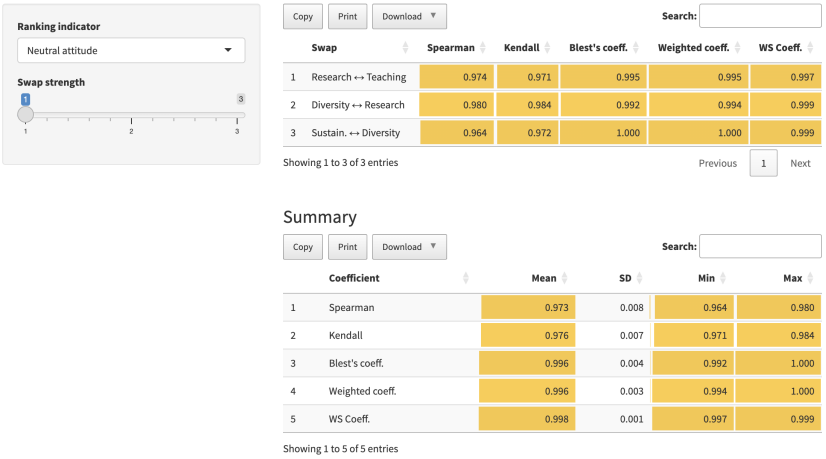


Figura 2. Interfaz para el análisis de sensibilidad evaluando la robustez del ranking ante perturbaciones en la ordenación de preferencias de los criterios.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Proyecto PID2023-146575NB-I00, financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033, FEDER, UE.

Referencias

1. Demir, G., Chatterjee, P., Pamucar, D.: Sensitivity analysis in multi-criteria decision making: A state-of-the-art research perspective using bibliometric analysis. Expert Systems with Applications **237**, 121660 (2024). https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121660
2. Liu, D., Li, T., Liang, D.: An integrated approach towards modeling ranked weights. Computers & Industrial Engineering **147**, 106629 (sep 2020). https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106629
3. Mármol, A.M., Puerto, J., Fernández, F.R.: The use of partial information on weights in multicriteria decision problems. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis **7**(6), 322–329 (Nov 1998)
4. Novoa-Hernández, P., Pelta, D.A., Corona, C.C.: Helping to choose a robust alternative: A sensitivity analysis and a software tool for multi-criteria decision-making. Expert Systems **42**(4), e70031 (2025). https://doi.org/10.1111/exsy.70031
5. Torres, M., Pelta, D.A., Lamata, M.T., Yager, R.R.: An approach to identify solutions of interest from multi and many-objective optimization problems. Neural Computing and Applications **33**(7), 2471–2481 (2021). https://doi.org/10.1007/s00521-020-05140-x